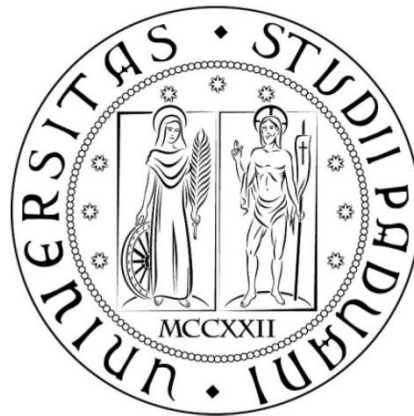


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA



Dipartimento di Ingegneria Civile,
Edile e Ambientale
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile

Tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile
**SVILUPPO DI UN SISTEMA ESPERTO
BASATO SULLA LOGICA "FUZZY"
PER L'IDENTIFICAZIONE DI INCIDENTI
IN PROSSIMITÀ DI RAMPE AUTOSTRADALI**

Relatore: Ch.mo Prof. Ing. Riccardo Rossi
Correlatore: Ing. Gregorio Gecchele

Laureando: Filippo Rizzo
Matricola: 1058648

Anno accademico 2014-2015

Indice

Ringraziamenti.....	5
Introduzione.....	7
1 Inquadramento del problema.....	9
1.1 Definizioni.....	9
1.1.1 Concetti base.....	9
1.1.2 Grandezze fondamentali.....	10
1.2 Equazione fondamentale del deflusso.....	14
1.2.1 Le ipotesi.....	14
1.2.2 L'equazione fondamentale e il suo campo di validità.....	14
1.2.3 Diagrammi fondamentali o curve di deflusso.....	15
1.3 ITS.....	20
1.3.1 Generalità.....	20
1.3.2 Introduzione ai sistemi di rilevazione e gestione automatica degli incidenti stradali.....	21
1.3.3 Osservazioni.....	23
1.4 Sistemi di rilevazione e gestione automatica degli incidenti.....	23
1.4.1 Utilità della gestione degli incidenti.....	23
1.4.2 Architettura dei sistemi.....	24
1.4.3 Sensori.....	26
1.4.4 Algoritmi.....	32
1.5 Una applicazione di sistemi di rilevazione e gestione automatica degli incidenti nella realtà italiana.....	38
1.5.1 Generalità.....	38
1.5.2 La rete dei sensori.....	39
1.5.3 Software.....	39
1.5.4 Analisi dell'incidentalità.....	40
1.5.5 Risultati operativi.....	41

1.6	Generalità sul problema trattato.....	41
2	Modellazione.....	45
2.1	Oggetto della modellazione	45
2.2	Strumenti per l'analisi dei sistemi di trasporto	46
2.2.1	Definizione e ruolo degli strumenti di analisi	46
2.2.2	Selezione del tipo di strumento di analisi.....	46
2.3	Processo di sviluppo e applicazione dei modelli microscopici.....	48
2.3.1	Procedura	48
2.4	Individuazione/delimitazione dell'area di studio in relazione agli obiettivi dell'attività di analisi	49
2.5	Raccolta e organizzazione dei dati.....	49
2.6	Sviluppo del modello base.....	49
2.6.1	Procedura	49
2.6.2	Costruzione dell'intero modello	50
2.7	Ulteriori aspetti: spire	55
2.8	Assegnazione	56
2.9	Scenari	57
2.9.1	Simulazione dell'incidente	60
2.10	Controllo degli errori di codifica	62
2.11	Calibrazione del modello	62
2.12	Rapporto finale e documentazione tecnica	64
3	Curve e punti sperimentali	65
3.1	Curve di deflusso (caso senza incidente).....	65
3.1.1	Curve di deflusso a monte del punto di innesto della rampa.....	66
3.1.2	Curve di deflusso sulla rampa	70
3.1.3	Curve di deflusso a valle del punto di innesto della rampa.....	75
3.1.4	Riepilogo dei valori dedotti dalle curve di deflusso	79
3.2	Punti sperimentali (caso con incidente)	79
3.2.1	Scenari	79
3.2.2	Aggiornamento anomalie spire virtuali	80
3.2.3	Andamenti spaziali delle grandezze fondamentali durante l'incidente	81
3.3	Calcolo delle distanze minime tra i punti sperimentali e le curve di deflusso	104
4	Identificazione dell'incidente con logica fuzzy	107

4.1	Sistemi fuzzy	107
4.1.1	Introduzione	107
4.1.2	Insiemi fuzzy	108
4.1.3	Regole	110
4.1.4	Fuzzy inference system	112
4.2	Costruzione dei FIS per identificare la presenza di un incidente	114
4.2.1	Illustrazione dei sistemi realizzati	114
4.2.2	Procedura generale di sviluppo del singolo FIS	116
4.2.3	FIS globale a 5	126
4.2.4	FIS globale a 3	141
4.3	Confronto tra FIS globale a 5 e FIS globale a 3	166
5	Confronto con l' algoritmo California #7	169
5.1	Scenari e simulazioni	169
5.2	Algoritmo California #7	169
5.2.1	Introduzione	169
5.2.2	Principio di funzionamento	170
5.2.3	Ipotesi semplificative	171
5.2.4	Misure di prestazione	172
5.3	Confronto tra California #7 e FIS	175
	Conclusioni	183
	Appendice: il caso del segmento base	187
	Scenari e simulazioni	187
	Algoritmo California #7	188
	Ipotesi semplificative	188
	Misure di prestazione	189
	Bibliografia	193

*Tra vent'anni sarete più delusi per le cose che non avete fatto che per quelle che avete fatto.
Quindi mollate le cime. Allontanatevi dal porto sicuro. Prendete con le vostre vele i venti.
Esplorate. Sognate. Scoprite.*

Mark Twain

Ringraziamenti

Ringrazio l'Ing. Consuelo Bolzonella, l'Ing. Massimiliano Gastaldi, l'Ing. Gregorio Gecchele, e il Prof. Ing. Riccardo Rossi, per il contributo alla realizzazione di questa tesi.

Ringrazio i compagni di università Riccardo Ceccato, Davide Fasan, Alessandra Grigoletto, Michele Menini e Andrea Zampiron, per avermi rallegrato le giornate più brutte.

Ringrazio la mia famiglia, per il sostegno durante gli anni dell'università e in particolare mio fratello e i miei nonni.

Ringrazio gli amici, in particolare Alessandro Chiti, Alessandra Canella, Francesca Frison, Emanuele Lunardi, Anna Maria Prendin, Maria Giovanna Rigato, Alessio Righele, Diego Righele e Giulia Rinaldo, per il loro affetto e la loro presenza.

Ringrazio Vida Zobot, per avermi aiutato a liberare la mente.

Ringrazio me stesso, per non aver mollato mai.

Ringrazio la mia compagnia teatrale, per la passione e l'amicizia che mi dà motivazione e coraggio.

Ringrazio Chiara Canella, per il suo starmi accanto con amore e dolcezza negli ultimi cinque anni.

Introduzione

Gli incidenti in ambito stradale, ancorché di limitata gravità, sono eventi che riducono la capacità della strada, causando spesso congestione e perditempo per gli utenti.

Nei paesi più sviluppati, gli incidenti causano tra il 12 e il 33% della congestione (Luk, Han, & Chin, 2010), e, a questo proposito, l'ente americano FHWA stima che, approssimativamente il 60% del tempo di viaggio perso nella congestione è dovuta agli incidenti (Klein, Mills, & Gibson, 2006).

L'impatto degli incidenti sul traffico dipende dalla frequenza degli incidenti, dalla loro localizzazione, dalla loro tipologia, dalla loro severità e dalla loro durata, dalla domanda di traffico, dalla capacità della strada e dalla disponibilità di sistemi di gestione degli incidenti (Skabardonis & et al., 1997).

Con il presente lavoro di tesi, si è sviluppato un sistema esperto basato sulla logica fuzzy per l'identificazione di incidenti in prossimità di rampe autostradali (in particolare rampe d'ingresso).

Il capitolo 1 illustra alcuni concetti base relativi al deflusso veicolare, le principali grandezze che lo descrivono, e contiene una rassegna critica dei principali sistemi di rilevazione automatica degli incidenti proposti in letteratura.

Nel capitolo 2 viene presentato l'approccio adottato per la simulazione delle condizioni di traffico (ordinarie ed in presenza di incidente) nel caso di studio specificatamente analizzato.

Il capitolo 3 contiene la descrizione delle curve di deflusso ottenute per via simulativa in condizioni ordinarie di traffico, i punti sperimentali ottenuti nel caso di incidenti. Sono inoltre proposte le metriche adottate per l'identificazione degli stati anomali.

Il capitolo 4 illustra i sistemi fuzzy, la logica fuzzy e i relativi sistemi di inferenza, nonché lo sviluppo di due sistemi esperti atti a identificare l'incidente in termini spaziali (localizzazione dell'incidente) e temporali (intervallo temporale che va dall'istante in cui si verifica l'incidente all'istante in cui esso viene rimosso dal sistema).

Il capitolo 5 presenta l'analisi comparativa tra i sistemi proposti ed un algoritmo noto in letteratura (California #7) già impiegato come riferimento per la valutazione di sistemi automatici di identificazione degli incidenti.

1 Inquadramento del problema

Il seguente capitolo illustra alcuni concetti base relativi al deflusso veicolare, le principali grandezze che lo descrivono, e contiene una rassegna critica dei principali sistemi di rilevazione automatica degli incidenti proposti in letteratura.

1.1 Definizioni

1.1.1 Concetti base

Fenomeno circolatorio: insieme di *movimenti di persone, merci e veicoli*, su *strada, ferrovia, via aerea o via d'acqua*, che si manifesta *nel tempo e nello spazio* con caratteristiche *qualitative e quantitative* in parte *similari* e in parte *differenziali*, per ogni settore (strada, ferrovia, ...), coinvolgendo, in maniera più o meno marcata, varie componenti fisiche, sociali, economiche e ambientali.

Circolazione stradale: fenomeno appariscente, che si manifesta quotidianamente su aree urbane ed extraurbane, inteso come espressione dell'interazione di *domanda di mobilità* (o di spostamento) e di *offerta di trasporto* (presenza d'infrastrutture) dall'altra.

Si distinguono due particolari condizioni di flusso definite di seguito.

- i. **Condizioni di flusso ininterrotto:** condizioni per le quali si esclude, nella circolazione della corrente, la presenza di strumenti atti ad interrompere il deflusso; ciò significa che l'*interruzione* del flusso si verifica solo per cause interne:
 - a. raggiungimento della *capacità*;

b. perturbazione data da *incidente stradale*.

L'elemento di rete in cui sono descritte le suddette condizioni è detto *segmento base*; esso è un segmento composto di una corsia e lungo L , è quindi caratterizzato da una corrente monodirezionale.

- ii. **Condizioni di flusso interrotto:** condizioni per le quali il flusso veicolare è periodicamente interrotto per la presenza di elementi fisici specificatamente introdotti (ad esempio semaforo, passaggio pedonale, segnale di precedenza); ciò significa che l'*interruzione* del flusso è dovuta a cause esterne.

1.1.2 Grandezze fondamentali

Con riferimento alle condizioni di flusso ininterrotto, e quindi al segmento base, saranno definite le grandezze fondamentali. Perciò si precisa quanto segue:

- del segmento base siano L la lunghezza, $z-z$ una generica sezione;
- il fenomeno che si manifesta nel segmento è osservabile durante un periodo T , oppure in un istante t .

1.1.2.1 Flusso

Si definisce flusso (o portata o volume), il numero N di veicoli che transitano nella sezione $z-z$ durante il periodo T :

$$q = \frac{N}{T} \quad [\text{veic}/h] \quad (1)$$

Il flusso è un'osservazione puntuale nello spazio.

1.1.2.2 Headway

Si definisce headway (o intertempo veicolare), l'intervallo di tempo che intercorre tra il passaggio di 2 successivi veicoli in corrispondenza di una certa sezione stradale (ad esempio la sezione $z-z$), misurato in corrispondenza del paraurti anteriore.

Allora bisogna misurare, in una certa sezione, gli intervalli temporali suddetti, ossia osservarli durante il periodo T prefissato.

Perciò anche l'headway è un'osservazione puntuale nello spazio, nonché

$$T = \sum_{i=1}^N h_i \quad (2)$$

Dove h_i è l'headway dell' i -esimo veicolo transitato per la sezione considerata.

1.1.2.3 Velocità media nel tempo

Si definisce velocità media nel tempo la media aritmetica delle velocità dei veicoli transitati nella sezione $z-z$ durante il periodo di osservazione T (cioè le velocità dei veicoli sono quelle osservate nella sezione):

$$\bar{V}_t = \frac{\sum_{i=1}^N V_i}{N} \quad [Km/h] \quad (3)$$

Anche la velocità media nel tempo è un'osservazione puntuale nello spazio.

1.1.2.4 Densità

La grandezza densità è, diversamente dalle precedenti, un'osservazione puntuale nel tempo. In particolare, si immagina di scattare una foto dall'alto al solito segmento base; allora si saranno ottenuti dei dati sul segmento ad un certo istante t (dunque non si fa più riferimento al periodo di osservazione T).

Si definisce densità (o concentrazione nello spazio), il rapporto tra il numero M di veicoli presenti nel segmento all'istante t e la lunghezza L del segmento stesso:

$$K = \frac{M}{L} \quad [veic/Km] \quad (4)$$

1.1.2.5 *Velocità media nello spazio*

Come la densità, anche la velocità media nello spazio è un'osservazione puntuale nel tempo. In particolare, si immagini di scattare una foto dall'alto al solito segmento base ad un certo istante t_1 , e poi un'altra all'istante successivo t_2 , allora, intanto, i veicoli saranno avanzati ognuno con la propria velocità. E se l'intervallo temporale $t_2 - t_1$ è sufficientemente piccolo (per esempio nell'ordine di mezzo secondo), si può parlare di velocità istantanea.

Si definisce velocità media nello spazio la media aritmetica delle velocità degli M veicoli nel segmento all'istante t :

$$\bar{V}_s = \frac{\sum_{j=1}^M V_j}{M} \quad [Km/h] \quad (5)$$

Giacché tale grandezza è difficile da misurare direttamente (e altrettanto dicasi per la densità), la si stima comunemente come media armonica delle velocità misurate in corrispondenza di una sezione trasversale:

$$\bar{V}_s \cong V_s' = \frac{1}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{1}{V_i}} \quad (6)$$

In generale, è riscontrabile una sovra-rappresentazione dei veicoli nel tempo e quindi

$$\bar{V}_t \geq \bar{V}_s \quad (7)$$

A proposito si può dimostrare che

$$\bar{V}_t = \bar{V}_s + \frac{\sigma_s^2}{\bar{V}_s} \quad (8)$$

Dove σ_s^2 è la deviazione standard della grandezza velocità nello spazio.

Sono pure adottabili (nonché utili nei modelli) le seguenti relazioni sperimentali:

$$\bar{V}_s = 1,026 \bar{V}_t - 1,890 \quad [Mi/h] \quad (9)$$

$$\bar{V}_t = 0,966 \bar{V}_t + 3,541 \quad [Km/h] \quad (10)$$

La prima relazione è accreditata a Drake [1967], la seconda a Garber [2002].

1.1.2.6 Occupazione

Detti L_i la lunghezza dell' i -esimo veicolo (sugli N rilevabili nella sezione $z-z$ durante T) e d la lunghezza del sensore (è nell'ordine di $1,5 \div 2 \text{ m}$), si definisce occupazione, il rapporto tra il tempo complessivo in cui i veicoli si trovano sopra al sensore e il tempo totale dell'osservazione T :

$$O = \left[\sum_{i=1}^N \frac{L_i + d}{V_i} \right] \cdot \frac{1}{T} \quad (11)$$

Nuovamente si deve parlare di osservazione puntuale nello spazio.

Si dimostra che l'occupazione è direttamente proporzionale alla densità:

$$O = c_K \cdot K \quad (12)$$

Dove c_K è una costante, il cui valore dipende solo da parametri geometrici. E in particolare, quando i veicoli hanno approssimativamente la stessa lunghezza $L_i \cong L (= 4 \div 4,5 \text{ m})$, tale costante risulta

$$c_K = L + d (= 6 \text{ m}) \quad (13)$$

Allora, dall'ultima relazione con cui si è espressa l'occupazione, è facilmente stimabile la densità, ossia è ricavabile una grandezza, che consegue da un'osservazione puntuale nel tempo, a partire da un'osservazione puntuale nello spazio:

$$K = \frac{O}{c_K} \quad (14)$$

1.2 Equazione fondamentale del deflusso

(Si fa riferimento alle condizioni di flusso ininterrotto).

1.2.1 Le ipotesi

Wardrop [1952] ipotizza che il flusso veicolare possa essere inteso come micro-correnti sussidiarie costituite da veicoli che procedono a *velocità costante e uniforme* ($V_i = cost$), e che ogni micro-corrente può essere considerata come una distribuzione di eventi casuale nel tempo e nello spazio.

Poiché la combinazione di più serie casuali costituisce anch'essa una serie casuale, allora il flusso può essere visto come una serie casuale nel tempo e nello spazio.

Le velocità dei successivi veicoli nello spazio e nel tempo formano una sequenza di variabili casuali, e ciascuna delle velocità è indipendente da quella che la precede nella sequenza.

È opportuno precisare che, implicitamente, Wardrop fa un'altra ipotesi (conseguenza della prima, velocità costante): i veicoli appartenenti alla stessa micro-corrente siano equidistanziati tra loro ($h_i = \bar{h}_i$).

1.2.2 L'equazione fondamentale e il suo campo di validità

Pertanto è possibile arrivare alla seguente *equazione fondamentale del deflusso*:

$$q = K \cdot \bar{V}_s \quad (15)$$

Essa vale sotto le ipotesi suddette, il che significa

- 1) si hanno velocità costanti, quando *il deflusso non è congestionato*, quindi mutuo condizionamento non pesante;
- 2) si hanno spaziatore uguali, quando *il deflusso è condizionato*.

Intersecando questi due domini, si ottiene il *range* in cui vale l'equazione fondamentale (ad esempio, se ad 1) corrispondono $30 \div 1200 \text{ veic/h}$, e a 2) $1000 \div 1300 \text{ veic/h}$, allora il campo di validità dell'equazione fondamentale è $1000 \div 1200 \text{ veic/h}$).

1.2.3 Diagrammi fondamentali o curve di deflusso

1.2.3.1 Forma generale delle relazioni tra coppie di variabili macroscopiche

Le proprietà collettive, osservabili a livello aggregato, dei veicoli, comportano un'analisi macroscopica del fenomeno circolatorio. Le variabili, che compaiono nell'equazione fondamentale, aiutano in tale analisi.

Le relazioni, che legano tra loro, a coppie, le variabili q, K, \bar{V}_s , sono funzioni di derivazione essenzialmente empirica (osservazione diretta del fenomeno del deflusso veicolare). Ciò a meno di alcune semplici situazioni dove le medesime funzioni sono ricavabili per via deduttiva (a partire da ipotesi ragionevoli sui comportamenti di guida).

La forma generale delle relazioni a coppie tra le variabili q, K, \bar{V}_s è rappresentata nelle figure seguenti.

In esse è, anzitutto, possibile osservare che

- 1) in ogni grafico è leggibile la terza variabile;
- 2) la relazione $\bar{V}_s(q)$ non è una funzione (per ogni valore di q corrispondono due possibili valori di \bar{V}_s).

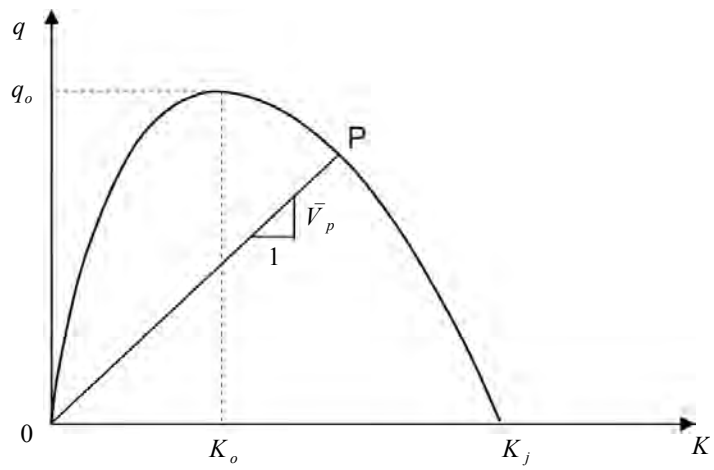


Figura 1 – diagramma $q - K$

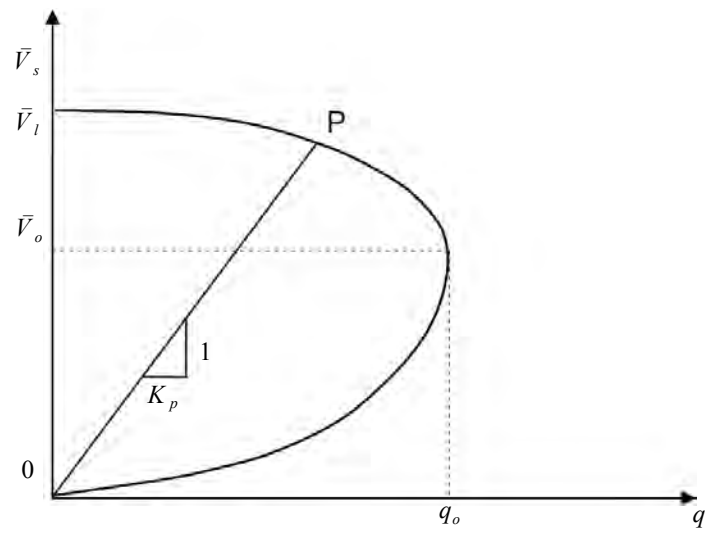


Figura 2 – diagramma $\bar{V}_s - q$

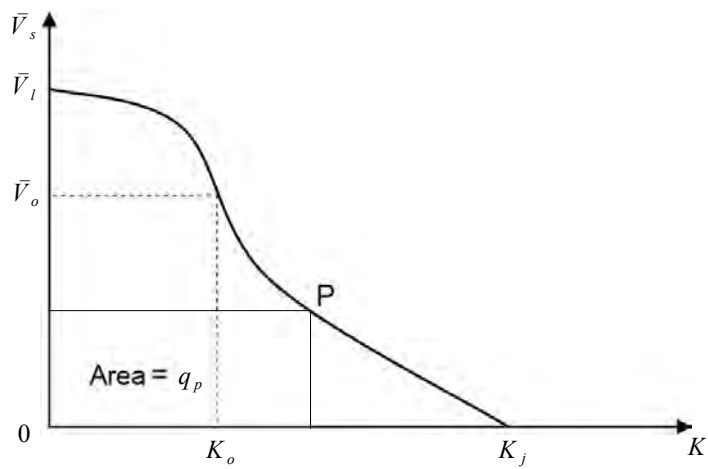


Figura 3 – diagramma $\bar{V}_s - K$

1.2.3.2 Condizioni limite per le curve di deflusso

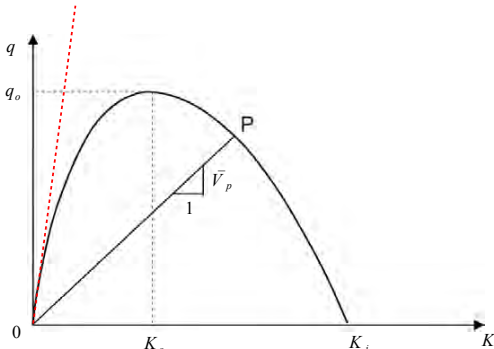
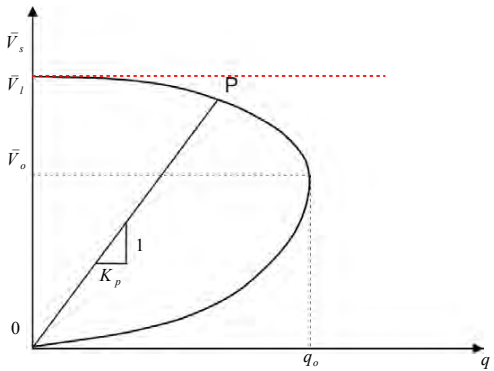
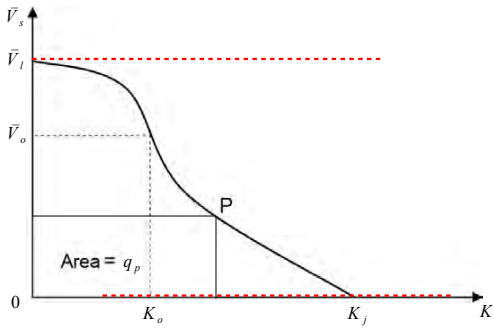
Nei grafici precedenti si individuano tre condizioni di deflusso notevoli o limite o, ancora, tre punti caratteristici:

- a) condizioni “free flow” (pedice l): velocità massima, assenza di interferenze;
- b) condizioni critiche¹ o ottime (pedice o): flusso pari al valore massimo (capacità del tronco);
- c) condizioni di “jam” (ingorgo; pedice j): densità massima, corrente veicolare ferma.

Nella seguente tabella si riportano, in particolare, le condizioni di ogni diagramma, mettendole in luce.

¹ Le condizioni critiche indicano il confine tra regimi di deflusso *stabile* e *instabile*. Il deflusso si definisce instabile quando perturbazioni anche di modesta entità riescono a causare di fenomeni di “stop-and-go”, in grado di portare rapidamente alle condizioni di “jam”.

Tabella 1 – Diagrammi fondamentali e loro caratteristiche

Diagramma fondamentale	Dominio	Condizioni limite
<p style="text-align: center;">$q - K$</p> 	$0 \leq K \leq K_j$ $0 \leq q \leq q_o$	$q(K = 0) = 0$ segmento vuoto (assenza di veicoli) $q(K = K_j) = 0$ corrente ferma (congestione) $\lim_{\bar{v}_s \rightarrow \bar{v}_l} \frac{dq}{dK} = \bar{v}_l$ tangente nell'origine: la tangente alla curva, nell'origine, rappresenta la velocità libera
<p style="text-align: center;">$\bar{V}_s - q$</p> 	$0 \leq q \leq q_o$ $0 \leq \bar{V}_s \leq \bar{V}_l$	$\bar{V}_s(q \cong 0) = \bar{V}_l$ flusso unitario, veicolo isolato, velocità libera $\bar{V}_s(q = 0) = 0$ corrente veicolare ferma/bloccata $\lim_{\bar{v}_s \rightarrow \bar{v}_l} \frac{d\bar{V}_s}{dq} = 0$ tangente orizzontale: situazione che si verifica in ambito autostradale, ma non in strade bidirezionali, quindi è una condizione che non si verifica sempre
<p style="text-align: center;">$\bar{V}_s - K$</p> 	$0 \leq K \leq K_j$ $0 \leq \bar{V}_s \leq \bar{V}_l$	$\bar{V}_s(K \cong 0) = \bar{V}_l$ veicolo isolato $\bar{V}_s(K = K_j) = 0$ corrente ferma $\lim_{K \rightarrow 0} \frac{d\bar{V}_s}{dK} = 0$ tangente orizzontale: veicolo isolato $\lim_{K \rightarrow K_j} \frac{d\bar{V}_s}{dK} = 0$ tangente orizzontale: corrente veicolare ferma/bloccata

1.2.3.3 Costruzione delle curve di deflusso sperimentali

All'interno del periodo di osservazione T , vanno individuati i sotto-intervalli temporali in cui si sono verificate le *condizioni di stazionarietà del deflusso*, ciò significa dividere il periodo di osservazione in tali sotto-intervalli.

Condizioni di stazionarietà del deflusso:

1. se il numero n di veicoli, che transitano attraverso una sezione z-z del segmento base, nel tempo Δt , non varia al variare della posizione della sezione, allora si verifica la condizione di flusso costante nello spazio;
2. se il numero m di veicoli, che sono contenuti nel segmento base lungo L , non varia nel tempo, cioè è indipendente dall'istante di osservazione t , allora si verifica la condizione di densità costante nel tempo.

Di fatto, tali condizioni, rendono valida, e quindi applicabile, l'equazione fondamentale del deflusso.

Aggregando i dati osservati all'interno di ogni sotto-intervallo, si ottengono i valori che identificano i punti sui quali costruire i diagrammi d'interesse (costruzione delle curve per punti).

In genere, in via approssimativa e speditiva, sono adottati sotto-intervalli tutti di uguale ampiezza $\Delta t = 5 \div 15 \text{ min}$ (ciò perché verificare i sotto-intervalli in cui valgono le condizioni di stazionarietà del deflusso è complicato).

Una volta considerati sotto-intervalli tutti di uguale ampiezza $\Delta t = 5 \div 15 \text{ min}$ (p.es. 8:15 – 8:20 A.M.), in genere, con cui scomporre il periodo di osservazione T (p.es. 7:00 – 9:00 A.M.), la procedura per costruire le curve di deflusso è la seguente:

- 1) si considera il primo sotto-intervallo che compone l'intero periodo T ;
- 2) si osserva il numero n di veicoli transitati attraverso la sezione z-z durante Δt , ossia un flusso q^* (p.es. 100 *veic/5'/corsia*), e poi si estende il risultato, calcolando il *flusso equivalente orario* (o *tasso di flusso*) $q = q^* \cdot \frac{60 \text{ min}}{\Delta t (\text{min})}$
(p.es. $100 \cdot \frac{60}{5} = 100 \cdot 12 = 1200 \text{ veic/h/corsia}$);

- 3) si stima \bar{V}_s come media armonica delle velocità V_s' ;
- 4) si stima la densità attraverso l'occupazione $K = O/c_K$;
- 5) si ripete la procedura per ogni sotto-intervallo, partendo dal punto 2).

Si nota che, in generale, qualora non sia possibile rilevare tutte e tre le grandezze presenti nell'equazione fondamentale del deflusso (q, K, \bar{V}_s) , è sufficiente rilevarne due per ottenere la terza mediante l'equazione stessa.

1.3 ITS

1.3.1 Generalità

Gli ITS (*Intelligent Transport System*, o sistemi di trasporto intelligenti) sono interventi di *gestione, regolazione e controllo*. Essi consistono nell'applicazione di tecnologie avanzate dell'informatica e delle telecomunicazioni al fine di aumentare la sicurezza e l'efficienza dei sistemi di trasporto (in particolar modo, di quelli stradali) con anche obiettivi di benefici ambientali (conseguenti alla riduzione della congestione).

Le tecnologie rilevanti per gli ITS. sono quelle

- a) di *rilevamento* (spire, wireless);
- b) di *localizzazione* (gps);
- c) di *tipo informatico* (elaborazione e calcolo);
- d) di *comunicazione* (trasferimento dati tra parti del sistema in modo cablato o wireless).

Si distinguono *i sistemi di informazioni per il traffico privato* (ATIS=Advance Traveller Information Systems, o sistemi avanzati per informazioni ai viaggiatori), dalle *altre applicazioni ITS* (ATMS=Advanced Transportation Management Systems, o sistemi avanzati di gestione dei trasporti).

Gli ATIS hanno lo scopo generale di fornire, agli utenti del sistema di trasporto (in particolare stradale), delle informazioni tali da indurre *scelte di viaggio razionali* il più possibile. Dove con “scelte di viaggio” si intendono le seguenti caratteristiche elementari di uno spostamento:

- 1) il motivo;
- 2) l’origine;
- 3) la frequenza;
- 4) la destinazione;
- 5) il modo;
- 6) l’orario di partenza;
- 7) il percorso.

Gli ATIS influenzano soprattutto le ultime due caratteristiche.

Un esempio di come vengono fornite le informazioni all’utenza sono i PMV (Pannelli a Messaggio Variabile), altresì si può pensare agli smartphone.

Tra le altre applicazioni ITS, invece, si trovano i *sistemi di rilevazione e gestione automatica degli incidenti stradali*.

1.3.2 Introduzione ai sistemi di rilevazione e gestione automatica degli incidenti stradali

Questa tipologia di sistemi avanzati è pensata per il caso autostradale.

Si osserva che, nell’ambito della rilevazione e gestione degli incidenti, s’incontra in due esigenze:

1. riconoscere con una buona attendibilità e in tempi brevi un incidente stradale;
2. mettere in atto azioni una volta riconosciuto l’incidente (misure di risposta alla situazione anomala).

In generale, un incidente è identificato sfruttando le misurazioni di spire e quindi algoritmi che stimano una probabilità d’incidente. Infatti, determinate combinazioni

delle variabili densità, flusso e velocità media nello spazio sono attese, con buona probabilità, quando si verifica un incidente.

Negli algoritmi, di cui sopra, ci sono due parametri fondamentali:

a) *tasso di rilevamento*:

rapporto tra il *numero di incidenti rilevati in automatico dal sistema* e il *numero di incidenti effettivamente accaduti* con riferimento ad un prefissato periodo:

quanto più questo valore numerico tende ad 1 e tanto più il sistema risulta efficace (il valore 1 significa che sono stati rilevati tutti gli incidenti effettivamente accaduti, ma ciò corrisponde ad un caso ideale, quindi si fissa una soglia di accettabilità pari a 0,9);

b) *tasso di falso allarme*²:

rapporto tra il *numero di falsi allarmi*³ e il *numero di incidenti effettivamente accaduti* con riferimento ad un prefissato periodo:

quanto più questo valore numerico tende a 0 e tanto più il sistema risulta efficace (il valore 0 corrisponde ad un caso ideale).

Quando il sistema rileva un incidente, automaticamente seguono delle azioni, quali, ad esempio, l'informazione all'utenza, tramite pannelli a messaggio variabile; informazione che può consistere nel consigliare di uscire dall'autostrada prima di incontrare il blocco o il rallentamento dovuto all'incidente (coordinamento tra la rilevazione degli incidenti e le strategie di diversione del traffico).

² Per questo parametro sono possibili più definizioni.

³ Si definisce *falso allarme*, l'informazione fornita dall'algoritmo recante la presenza di un incidente, quando questo invece è assente.

1.3.3 Osservazioni

In generale, sui sistemi ITS si può affermare quanto segue:

1. le tecnologie sono oggi disponibili e, in alcuni casi, già mature e aventi costi accessibili;
2. esistono forti interessi industriali delle aziende automobilistiche, di telecomunicazioni e di informatica, il che facilita la diffusione su larga scala; d'altra parte...
3. la diffusione di tali tecnologie è rallentata dai costi accollati all'utente a alla gestione del sistema;
4. per gli ITS servono modelli (in particolare, dinamici) e all'oggi non esistono ancora tutti i software per gestirli, costituendo, quindi, un altro limite alla diffusione (in altre parole: a volte è disponibile l'hardware ma non il relativo software)

1.4 Sistemi di rilevazione e gestione automatica degli incidenti⁴

1.4.1 Utilità della gestione degli incidenti

L'incidente fa parte degli eventi "non ricorrenti" legati al traffico, come perdite di carico, detriti, condizioni meteorologiche avverse, manutenzione, ecc...

Durante un incidente, la capacità della strada viene ridotta, ne conseguono code e ritardi. In particolare, diversi studi hanno dimostrato che gli incidenti sono gli eventi che più incidono sulla creazione dei ritardi, aumentando la congestione, l'inquinamento e i tempi di viaggio. Dunque la questione della sicurezza incide sugli aspetti appena detti, oltre che sui danni ai "direttamente" incidentati. Perciò una buona reattività permette di limitare tali conseguenze negative e, potenzialmente, altri incidenti.

⁴ (Parkany & Xie, 2005)

Questo giustifica l'importanza della gestione degli incidenti nel progetto e nello sviluppo di ATMS e ATIS, includendovi il rilevamento degli incidenti, la verifica che questi si siano effettivamente verificati, le modalità di risposta e la risposta con cui è affrontato il problema, considerando in quanto tempo si riesce a ripristinare la situazione standard.

1.4.2 Architettura dei sistemi

Le prestazioni di un sistema di rilevazione incidenti sono determinate su due livelli:

1. tecnologie impiegate per la raccolta dei dati (sensori);
2. algoritmi impiegati per elaborare i dati (rilevazione e classificazione degli incidenti in termini di gravità/severità e localizzazione, analizzando i parametri del traffico forniti dai sensori).

Gli algoritmi assolvono alla loro funzione a partire dalle misurazioni effettuate, generalmente, da spire induttive (ILD=Inductive Loop Detector) o da spire "simulate" (VIP=Video Image Processor), in quanto tali strumenti sono i più usati. Ciò comporta l'impiego di dati puntuali (osservazioni puntuali nello spazio), ma i relativi algoritmi soffrono di un alto tasso di falsi allarmi, infatti uno degli svantaggi di queste tecnologie per la raccolta dati è imputabile ai malfunzionamenti a cui sono soggette. Perciò la corretta calibrazione degli strumenti non è trascurabile.

Dunque, le misurazioni, o gli input per gli algoritmi, generalmente, constano nel numero di passaggi e nelle velocità istantanee registrati presso la sezione dov'è installato il sensore; quindi, facilmente, si calcolano le grandezze flusso, velocità media nello spazio e densità (quest'ultima è legata all'occupazione da una costante).

La successiva tabella riassume gli input di alcuni algoritmi:

Tabella 2 – parametri di traffico usati come variabili di controllo dei data-base da ILD esistenti per gli algoritmi di rilevazione incidenti (Balke, 1993)

<i>Type</i>	<i>Algorithm</i>	<i>Occupancy</i>	<i>Volume</i>	<i>Speed</i>	<i>Other</i>
Comparative	California Basic	√			
	California No. 7	√			
	California No. 8	√			
	APID	√	√	√ ¹	
	PATREG	√			
Statistical	SND	√	√		Energy ²
	Bayesian	√			
Time Series	ARIMA	√	√		
	HIOCC	√			
Smoothing or Filtering	DES	√			Station ³ Discontinuity
	LPF	√			
Traffic Mo- deling	Dynamic	√	√		
	McMaster	√	√	√ ⁴	

¹ derivata da occupazione e volume

² derivata dal quadrato del volume diviso l'occupazione

³ comparazione dell'energia cinetica di ogni corsia

⁴ parametro opzionale

Infine, l'efficacia del sistema è, come sempre avviene, fortemente condizionata dalla qualità e dalla quantità dei dati disponibili.

1.4.3 Sensori

1.4.3.1 Generalità

Ai fini dell'identificazione di un incidente, esiste una buona varietà di tecnologie per raccogliere informazioni sul traffico in tempo reale. Queste tecnologie possono essere divise in 3 categorie:

1. *roadway-based*:

questa tipologia di sensori può essere considerata una parte dell'infrastruttura stradale, e può essere esemplificata dalle spire induttive (ILD) e dalle spire simulate; è installabile direttamente a contatto con il manto stradale oppure ai lati della strada oppure su un portale, a seconda della strumentazione concretamente scelta; poi tali sensori possono essere ulteriormente divisi in tre categorie, considerando come attuano il rilevamento:

- i. sensori di rilevamento magnetico (p.es., ILDs e sensori magnetici);
- ii. sensori di rilevamento di un intervallo (p.es., sensori microonde, infrarossi, a ultrasuoni e acustici);
- iii. sensori di rilevamento di immagini (p.es. VIPs);

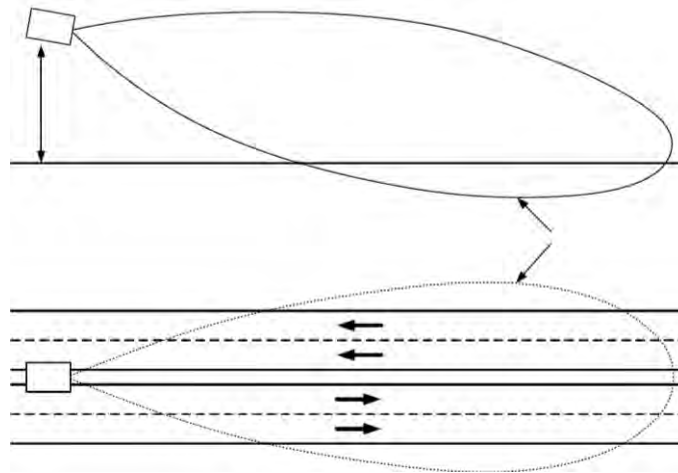


Figura 4 – tipica copertura di un intervallo di strada attraverso un sensore microonde

2. *probe-based*:

a differenza della precedente, questa tipologia di sensori è mobile, infatti ricorre a veicoli, i quali traggono le informazioni sul traffico muovendosi nella sua corrente, e perciò forniscono le variazioni dei parametri di traffico nello spazio in modo continuativo; per contro pochi sono i veicoli che compiono tali misurazioni e quindi le informazioni sono rappresentative di un campione avente ridotta ampiezza; esempio delle tecnologie disponibili è l'AVI (Automatic Vehicle Identification), associato a ETTM (Electronic Toll and Traffic Management) e a AVL (Automatic Vehicle Location);

3. *driver-based*:

queste tecnologie traggono le informazioni sugli incidenti dai guidatori e/o dalle pattuglie in servizio, principalmente tramite chiamate telefoniche, dunque viene meno la parte di rilevamento automatica; un supporto è fornito da CCTV (Closed-Circuit TeleVision monitoring).

A titolo indicativo, poi, si riporta la seguente tassonomia:

Tabella 3 – tassonomia dei sistemi di rilevamento

T e c n o l o g i e d i r i l e v a m e n t o	intrusive	spire induttive	<i>inserite</i> <i>immerse</i> <i>preformate</i>	
		sensori magnetici	<i>a induzione</i> <i>magnetometrici</i>	
		tubi pneumatici		
		piezoelettrici	<i>polimeri</i> <i>ceramici</i> <i>crystalli</i>	
		weigh-in-motion	<i>piani flettenti</i> <i>piezoelettrici</i> <i>celle di carico</i> <i>capacitivi</i> <i>fibre ottiche</i>	
		non intrusive	infrarossi attivi	
			infrarossi passivi	
			radar microonde	<i>presenza</i> <i>doppler</i>
			weigh-in-motion	
			acustici passivi	
	VIP		<i>tripline</i> <i>circuito chiuso</i> <i>associazione dati</i>	
	ambientali	veicoli sonda	<i>GPS</i> <i>telefono cellulare</i> <i>AVL</i> <i>AVI</i>	
		rilevazione remota		
		manuali		

1.4.3.2 Spire induttive

Le ILDs sono i sensori più comunemente adottati, nella sorveglianza e nelle applicazioni di gestione, del traffico; infatti, come già accennato, molti algoritmi di identificazione degli incidenti usano i dati di traffico registrati dalle ILDs.

Tali strumenti sono costituiti da un avvolgimento di 2-3 fili di rame, dal diametro di 2.5 mm^2 , messo su una o più corsie della carreggiata, a seconda del tipo di rilievo, in forma rettangolare o quadrata (lati di 2-3 m).

Installazione:

- 1) è possibile installare le spire in modo *permanente*, posandole in corrispondenza di apposite fessure ricavate nella pavimentazione (spire inserite) oppure direttamente sotto lo strato di usura della pavimentazione (spire immerse); in tal caso, il dispositivo viene prima collocato ad una profondità di 4-10 cm, e poi ricoperto da un agente sigillante, per difenderlo dalle azioni meccaniche causate dal passaggio dei veicoli;
- 2) altresì (dispositivo *non permanente*), è possibile installare le spire sulla superficie stradale (spire preformate), per poi coprirle con teli catramati.

Funzionamento: si fa attraversare una corrente elettrica ad alta frequenza (85-115 kHz) per le spire, e ciò genera un campo magnetico; quindi il passaggio di un veicolo (o di una massa metallica, magnetica) determina una variazione di quel campo magnetico, variazione che può essere osservata, cioè si può capire se un veicolo è transitato sopra alla spira e quanto è durato tale transito.

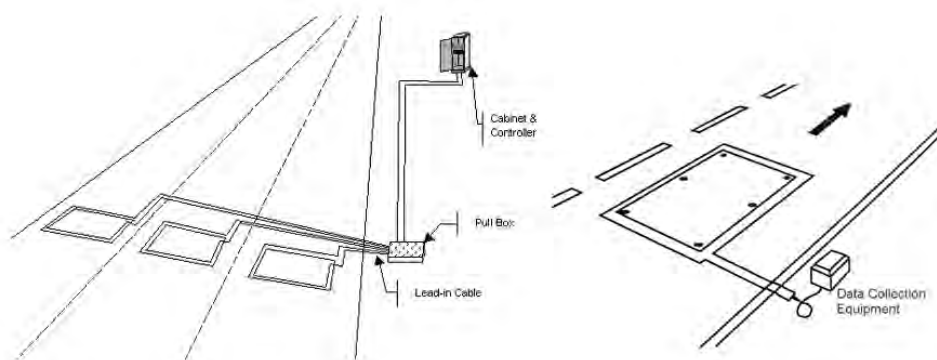


Figura 5 – schemi illustrativi di sistemi di rilevamento realizzati tramite spire induttive

Informazioni sui veicoli:

- 1) se è disposta una *singola spira*, si ottiene quanto segue:
 - a. conteggio;
 - b. tasso di occupazione;
- 2) se è disposta una *doppia spira*, si ottiene quanto segue:
 - a. conteggio;
 - b. tasso di occupazione;
 - c. velocità istantanea;
 - d. lunghezza veicolare;
 - e. headways;
 - f. direzione di marcia.

Vantaggi e svantaggi:

- 1) vantaggi:
 - a. facilità di installazione;
 - b. costo relativamente contenuto (almeno per l'installazione);
 - c. ininfluenza delle condizioni atmosferiche;
 - d. misurazione di molti parametri del traffico;
- 2) svantaggi:
 - a. interruzione della circolazione veicolare durante la fase di installazione;
 - b. errori nella rilevazione per basse velocità e per veicoli in fase di arresto;
 - c. possibile rimozione accidentale delle spire nel rifacimento del manto stradale.

1.4.3.3 Rilievo mediante videocamera (VIP)

La tecnologia VIP permette di analizzare automaticamente i dati sul traffico raccolti tramite sistemi di telecamere a circuito chiuso (CCTV) o altre videocamere.

Complessivamente un sistema VIP consiste in

- 1) una o più videocamere;
- 2) un microprocessore, per la digitalizzazione e l'elaborazione del video;
- 3) un software, per interpretare le immagini e convertirle in informazioni quantitative sul traffico.

Gli algoritmi che trattano la sequenza di immagini considerano la variazione di gruppi di pixel (di loro parametri, quali ad esempio la luminosità).

Dei sistemi VIP, sono disponibili tre classi:

- i. *tripline*: classe di apparecchi più consolidata e adottata dai costruttori; simula la presenza di una spira sulla carreggiata (spire virtuali), selezionando una specifica serie di pixel inquadrati dalla videocamera, dei quali saranno analizzate le variazioni dei livelli di contrasto;
- ii. *closed-loop tracking*: le linee di riferimento, che individuano una specifica serie di pixel, non sono virtuali, ma disegnate fisicamente sulla carreggiata, quindi sarà costruita un'immagine di riferimento da confrontarsi con quella attuale, quindi sarà individuabile il passaggio di un veicolo;
- iii. *data association tracking*: classe più innovativa perché capace di identificare le forme dei veicoli e poi di inseguirli nei fotogrammi successivi, costruendone la traiettoria le caratteristiche del moto.

Le applicazioni di queste tecnologie sono molteplici: analisi del traffico, rilevamento delle anomalie del deflusso, analisi delle traiettorie, identificazioni dei veicoli, misura della lunghezza delle code, lettura automatica delle targhe.

Il principale vantaggio di tale monitoraggio consiste, in primo luogo, nel poter registrare in modo continuo il deflusso, e, in secondo luogo, di poter analizzare più volte lo stesso evento. Ulteriori vantaggi sono i seguenti:

- a) estrazione continua di un'ampia gamma di informazioni che altri strumenti non rilevano;
- b) realizzazione di rilievi puntuali, su tratta breve o estesa;
- c) funzionamento in modo non intrusivo (senza essere in diretto contatto con l'infrastruttura);
- d) minimizzazione degli errori di rilevazione;
- e) funzionamento per fornire informazioni on-line per la regolazione e il controllo della circolazione (gestione del traffico).

Mentre gli svantaggi più rilevanti risultano essere i seguenti:

- a) vincoli di messa in opera, giacché si vuole evitare l'oscuramento dei veicoli e cioè la loro massima visibilità;
- b) sensibilità alle condizioni di luminosità e atmosferiche;
- c) costi elevati, a causa della strumentazione, del software e del tempo di codifica.

Con riferimento al caso dell'incidente, emerge poi un altro svantaggio: qualora la videocamera sia ubicata troppo a monte rispetto al luogo in cui si verifica l'incidente, le code registrate non sono facilmente correlabili all'incidente, complicandone l'identificazione (Nelson, 2000).

1.4.4 Algoritmi

1.4.4.1 Categorie

Gli algoritmi per l'identificazione degli incidenti sono suddivisibili in sette categorie:

1. *algoritmi comparativi* (comparano i valori dei parametri di traffico misurati con delle soglie predefinite (secondo il principio che un incidente causa un significativo incremento dell'occupazione a monte dell'incidente), quindi segnalano il verificarsi di tale evento se i valori eccedono le soglie; di questi algoritmi, il più noto è il cosiddetto "California");

2. *algoritmi statistici* (usano delle tecniche statistiche standard per determinare se i dati osservati differiscono statisticamente da quelli stimati o previsti in condizioni “normali”; tra questi algoritmi si citano il “standard normal deviate” e il “Bayesian”);
3. *algoritmi di serie temporali* (assumono che il traffico normalmente segua un andamento nel tempo prevedibile, quindi segnalano la presenza di incidente se l’andamento rilevato dai sensori differisce da quello previsto; tra questi algoritmi si citano l’ARIMA e l’HIOCC);
4. *algoritmi di livellamento/filtraggio* (rimuovono le disomogeneità nei dati di traffico che causano falsi allarmi, e quindi facilitano la “visibilità”, ossia l’identificazione, dei veri incidenti; dunque consistono nell’applicazione di opportuni filtri; tra questi algoritmi si citano il DES e il DWT-LDA);
5. *algoritmi di modellazione del traffico* (applicano le teorie che descrivono il fenomeno del traffico per predirne il comportamento quando si verifica un incidente, quindi discriminano tale situazione da quella priva di incidente, procedendo all’identificazione dell’evento; tra questi si citano il modello dinamico, il modello della teoria delle catastrofi e il LV);
6. *algoritmi di intelligenza artificiale* (si riferiscono ad un insieme di procedure per attuare un ragionamento approssimato, il cui esito è l’attribuzione di un significato ai dati di input, cioè un incidente o meno; a proposito si citano le reti neurali, la logica fuzzy e la combinazione di queste due tecniche);
7. *algoritmi di elaborazione delle immagini* (a partire dal monitoraggio con videocamere del tratto stradale, interpretano la sequenza di immagini, individuando il moto dei veicoli, le loro traiettorie e le variabili del deflusso; in particolare, è possibile identificare quando i veicoli rallentano e quando si verifica un incidente; tra questi algoritmi si cita l’AIDA).

Si precisa che la maggioranza degli algoritmi sono stati sviluppati per le *freeways* (autostrade senza pedaggio).

1.4.4.1.1 *Introduzione alla logica Fuzzy*

Successivamente, si tratterà in modo approfondito un algoritmo di intelligenza artificiale che ricorre alla logica fuzzy, ci si propone ora solo di introdurre la dinamica, secondo la quale opera tale logica, esaltandone la differenza rispetto agli altri algoritmi.

La logica fuzzy è una tecnica di intelligenza artificiale applicabile ad un insieme di dati difficilmente interpretabili, appoggiandosi su delle regole appositamente definite, per operare le decisioni su soglie “sfocate” e usando funzioni di appartenenza, per rappresentare il grado di probabilità di presenza di un incidente (in questo caso, ma molte altre possono essere le applicazioni). Ciò permette di arrivare alla segnalazione dell’evento anche con alcuni dati inesatti o mancanti, incrementando, in generale, le prestazioni dell’algoritmo.

1.4.4.2 *Misure di prestazione*

Gli AID (Automated Incident Detection systems) vengono valutati, in termini di bontà, attraverso le seguenti misure di prestazione (già presentati precedentemente in termini qualitativi, a meno del terzo indicatore):

1. tasso di rilevamento, o *detection rate* (DR):

$$DR = \frac{n^{\circ} \text{ di incidenti rilevati}}{n^{\circ} \text{ totale di incidenti verificatesi}} \times 100\% \quad (16)$$

2. tasso di falsi allarmi, o *false alarm rate* (FAR), per il quale sono possibili tre definizioni, qui denominate FAR1 (la più comunemente adottata), FAR2 e FAR3:

$$FAR1 = \frac{n^{\circ} \text{ di falsi allarmi}}{n^{\circ} \text{ totale di applicazioni dell'algoritmo}} \times 100\% \quad (17)$$

$$FAR2 = \frac{n^{\circ} \text{ di falsi allarmi}}{n^{\circ} \text{ totale di allarmi dichiarati}} \times 100\% \quad (18)$$

$$FAR3 = \frac{n^{\circ} \text{ di falsi allarmi}}{\text{intervallo temporale}} \quad (19)$$

3. tempo medio di rilevamento, o *avarage time to detect* (ATTD): indicatore che valuta la capacità dell'algorithmo di rilevare un incidente in termini temporali; il mero tempo di rilevamento (TTD) è definito come la differenza, generalmente espressa in minuti, tra l'istante $t_{occurrence}$ in cui un incidente si verifica e l'istante $t_{detection}$ in cui l'algorithmo dichiara la presenza dello stesso incidente; quindi, considerando n incidenti, si definisce il tempo medio di rilevamento:

$$ATTD = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (t_{detection}^i - t_{occurrence}^i) \quad (20)$$

Negli anni, si è notato che il principale problema è l'elevato numero di falsi allarmi quando il traffico si presenta molto congestionato⁵.

Le misure di prestazione dipendono da diversi fattori, tra i quali si riportano i seguenti:

- 1) condizioni operative del traffico (p.es., pesante, medio, leggero, a capacità e sotto il valore di capacità);
- 2) aspetti geometrici (p.es., numero di corsie, presenza di rampe);
- 3) aspetti meteorologici (p.es., asciutto, bagnato, nebbia, neve e ghiaccio);
- 4) durata dell'incidente;
- 5) gravità/severità dell'incidente;
- 6) spazio rilevato dai sensori;
- 7) localizzazione dell'incidente rispetto ai sensori;
- 8) composizione del traffico o sua eterogeneità.

⁵ Da tenere presente è poi un altro aspetto significativo, indicato ancora dalle esperienze: gli algoritmi operano "imperfettamente" in ambiente reale, contrastando con quanto invece fanno in ambiente simulato, e perciò i valori degli indicatori subiranno degli scostamenti, decretando l'importanza della calibrazione del sistema in ambiente reale (tale argomento sarà approfondito nel seguito).

Tali fattori sono molti e complessi tanto da non poter essere tutti considerati in un singolo algoritmo (in particolare nel contesto che esula dalle *freeways*, cioè nelle arterie urbane).

Per fornire degli ordini di grandezza delle misure di prestazioni, si riporta la tabella che segue:

Tabella 4 – Comparazione di algoritmi di rilevazione incidenti basati su ILD e su VIP (Subramaniam, 1991)

<i>Type</i>	<i>Algorithm</i>	<i>Detection Rate</i>	<i>False Alarm Rate</i>	<i>Mean Time to Detect</i>
Pattern Recognition	California Algorithm #7	67%	0.13%	2.91 min
	APID Algorithm	86%	0.05%	2.55 min
Time Series or Statistical Processing	SND Model	92%	1.3%	1.10 min
	Bayesian Algorithm	100%	0%	3.90 min
	ARIMA Model	100%	1.4%-2.6%	0.39 min
	Smoothing Model	92%	1.87%	0.74 min
	DES Model	82%	0.28%	5.05 min
	HIOCC Algorithm	96%		
	Filtering Model	95%	1.5%	0.67 min
	Dynamic Model		Prob. < 0.02%	Short
Catastrophe Theory	McMaster Algorithm	100%	0.04%	1.5 min
Artificial Intelligence	ANN Model	97%	0.21%	2.83 min
Video Image Processing	INVAID-TRISTAR System	90%	1 every 3 hours	0.33 min

Nonché ulteriori studi hanno fornito valori analoghi:

Tabella 5 – report delle migliori prestazioni di algoritmi che usano i data-base ottenuti da ILDs (Balke, 1993)

<i>Type</i>	<i>Algorithm</i>	<i>Detection Rate</i>	<i>False Alarm Rate</i>	<i>Mean Time to Detect</i>
Comparative	California Basic	82%	1.73%	0.85 min
	California No. 7	67%	0.134%	2.91 min
	California No. 8	68%	0.177%	3.04 min
	APID	86%	0.05%	2.5 min
Statistical	SND	92%	1.3%	1.1 min
	Bayesian	100%	0%	3.9 min
Time Series	ARIMA	100%	1.5%	0.4 min
Smoothing or Filtering	DES	92%	1.87%	0.7 min
	LPF	80%	0.3%	4.0 min
Traffic Modeling	McMaster	68%	0.0018%	2.2 min

Per mostrare il rapporto tra il DR e il FAR, si riporta il grafico che segue (nel quale si può notare come, oltre ad un certo valore di DR, il valore del FAR cresce molto velocemente, fissando perciò i limiti prestazionali dell'algoritmo scelto):

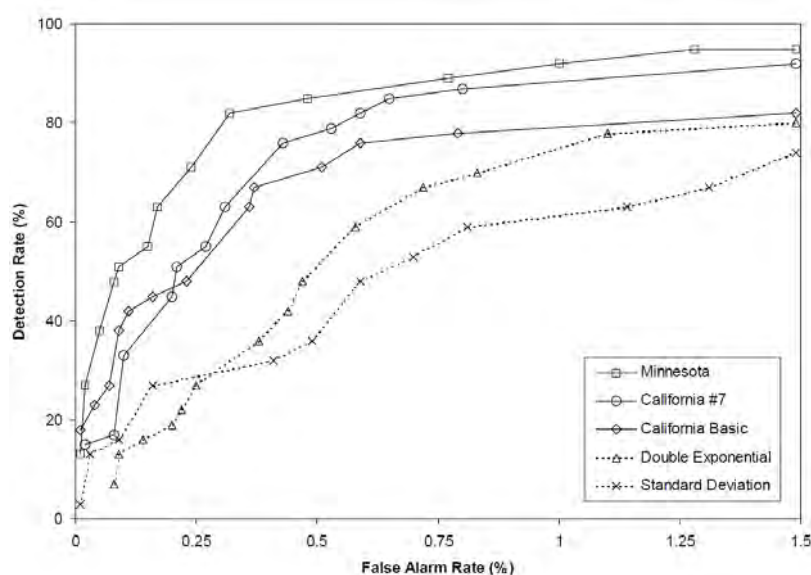


Figura 6 – Comparazione del legame DR-FAR di alcuni algoritmi rappresentativi (Stephanedes, Chassiakos, & Michalopoulos, 1992)

Infine si riportano delle informazioni qualitative sulle difficoltà d'uso di alcuni algoritmi rappresentativi:

Tabella 6 – Intervallo temporale e ciclo di aggiornamento dei parametri di traffico usati nei data-base ottenuti da ILDs per alcuni algoritmi (Balke, 1993)

<i>Type</i>	<i>Algorithm</i>	<i>Degree of Complexity</i>	<i>Ease of Integration</i>
Comparative	California Basic	Low	Easy
	California No. 7	Moderate	Easy
	California No. 8	Moderate	Easy
	APID	Moderate	Easy
	PATREG	Low	Difficult
	SND	Low	Easy
Statistical	Bayesian	High	Moderate
Time Series	ARIMA	High	Difficult
	HIOCC	Low	Difficult
Smoothing or Filtering	DES	Moderate	Moderate
	LPF	Moderate	Easy
Traffic Modeling	Dynamic	Extremely High	Extremely Difficult
	McMaster	Moderate	Moderate

1.5 Una applicazione di sistemi di rilevazione e gestione automatica degli incidenti nella realtà italiana⁶

1.5.1 Generalità

In questa sezione si tratta il sistema nazionale di rilevamento del traffico e dell'incidentalità ANAS.

Tra gli obiettivi, per cui è nato questo apparato, si considera in particolare quello di individuare le tratte potenzialmente più pericolose, sulle quali programmare interventi di manutenzione mirati.

⁶ (ANAS Spa, 2012)

Il risultato operativo dell'applicazione del sistema è la possibilità di gestire in modo completo e scientifico numerose attività legate all'utilizzo dei dati di traffico, p.es. attività di miglioramento dei criteri di calibrazione dei piani e dei progetti di manutenzione per le pavimentazioni stradali, oppure attività di gestione del traffico nei periodi di massimo impegno della strada (esodi, precipitazioni nevose, congestioni da incidente,...).

1.5.2 La rete dei sensori

La rete dei sensori, adottata in questo caso, è composta da due categorie di sensori, intrusivi (in particolare, spire induttive) e non intrusivi (in particolare, microonde), le quali rilevano la stessa tipologia di dati. Complessivamente, si hanno circa 1000 postazioni di misura (approssimativamente, il 75% di queste postazioni sono di nuova realizzazione).

1.5.3 Software

I software con cui gestire ed interpretare i dati raccolti sono degli applicativi specifici (in particolare, con essi è possibile effettuare elaborazioni statistiche, storiche e previsionali).

I risultati ottenuti sono poi condivisi con altre applicazioni aziendali (altrettanto vale da quanto proviene da ulteriori sistemi), e ciò avviene tramite il protocollo internazionale *Datex II*, nonché i risultati ottenuti possono essere pesati con le informazioni provenienti dalle altre fonti.

Si osserva che il modulo di elaborazione dell'incidentalità implementa, in questo caso, tecniche associative e modelli di analisi che permettono, con tempi di risposta eccezionalmente rapidi, di analizzare i dati "dinamicamente" secondo differenti livelli

di aggregazione. Infine, tale modulo fornisce l'archivio di incidentalità virtuale⁷; si precisa allora che la banca dati incidentalità è costituita da

- 1) archivio incidentalità virtuale;
- 2) archivio incidentalità ISTAT ACI;
- 3) archivio incidentalità ANAS.

1.5.4 Analisi dell'incidentalità

La metodologia scelta per individuare l'incidente prevede una catalogazione delle strade in gruppi omogenei per caratteristiche geometriche, fa riferimento alle condizioni di flusso ininterrotto, costruisce le curve di deflusso teoriche (assenza di incidente) per ogni segmento stradale monitorato e, infine, costruisce le curve di deflusso reali sul set di dati realmente osservati nella situazione in atto.

Orbene, si definisce un intervallo di confidenza per le massime variazioni ammissibili dei valori rilevati rispetto a quelli attesi, quindi il sistema classifica *incidente virtuale* ogni perturbazione tale da produrre scostamenti maggiori della tolleranza ammessa (algoritmo comparativo). Poi, per ciascuno incidente si cercano le eventuali correlazioni con eventi e informazioni note (presenza di cantieri, condizioni meteo avverse, manifestazioni,...); solo quando vagliata questa fase, la perturbazione, classificata come incidente virtuale, può essere definita *incidente probabile*. A questo punto, è calcolabile il *Tasso virtuale di Incidentalità Globale* (TIGv) come rapporto tra il numero di incidenti probabili e il flusso di traffico rilevato.

Le valutazioni di tipo probabilistico saranno integrate con altre due fonti dati:

- database della “Localizzazione degli incidenti stradali ACI ISTAT” (regolato da convenzione tra ANAS e ACI);
- database dell'incidentalità rilevata dal personale ANAS.

Così è possibile completare l'informazione sull'incidente in termini di

⁷ L'aggettivo “virtuale” sta ad indicare che è il sistema ad identificare l'incidente, ma a causa dei falsi allarmi, l'incidente può anche essersi verificato solo virtualmente.

- sito (regione, provincia, città, strada, chilometro);
- gruppo di strada, caratteristiche della strada e corsia;
- dimensione temporale (anno, mese, giorno, fascia oraria, ora e minuto) e tipo di giorno (lunedì/martedì/..., feriale/prefestivo/festivo);
- categoria veicolare;
- tipologia di dato di incidentalità (incidenti probabili, circostanza in cui si è verificato l'incidente, incidenti con morti e incidenti con feriti);
- tipologia di dato di traffico (flusso veicolare giornaliero/orario/dell'ora di punta, classi di velocità,...).

Con i dati raccolti si potranno, quindi, aggiornare e approfondire diversi aspetti legati alla rete di monitoraggio, ottenendo, ad esempio, una più ampia caratterizzazione del traffico veicolare e della statistica della circolazione, una avanzata analisi dell'incidentalità e una maggiore disponibilità di informazioni in tempo quasi reale dei traffici insistenti sulla rete.

1.5.5 Risultati operativi

Il risultato operativo, dell'applicazione del sistema descritto, è la gestione completa e scientifica delle molte attività possibili con i dati di traffico raccolti (dall'archiviazione di dati storici, al miglioramento dei criteri di calibrazione dei piani e dei progetti di manutenzione per le pavimentazioni, nonché al miglioramento di attrezzature e procedure legate alla sicurezza). In particolare, è possibile definire tratte omogenee per livelli di traffico, per livelli di incidentalità e per il tipo di traffico supportato (diviso per stagioni e per ore del giorno). Mentre in termini di gestione dell'esercizio dell'infrastruttura si possono mettere in campo sistemi per evitare la congestione altrimenti attesa, come quella causata da un incidente.

1.6 Generalità sul problema trattato

Posto che lo scopo della presente tesi è fornire un sistema con cui identificare gli incidenti in prossimità di una rampa d'ingresso ad un'autostrada, è necessario disporre di dati sperimentali (raccolti dai sensori), da inserire come input, per tale sistema.

Un esempio di questi, per quanto riguarda un mero segmento autostradale, è rappresentato nella successiva figura.

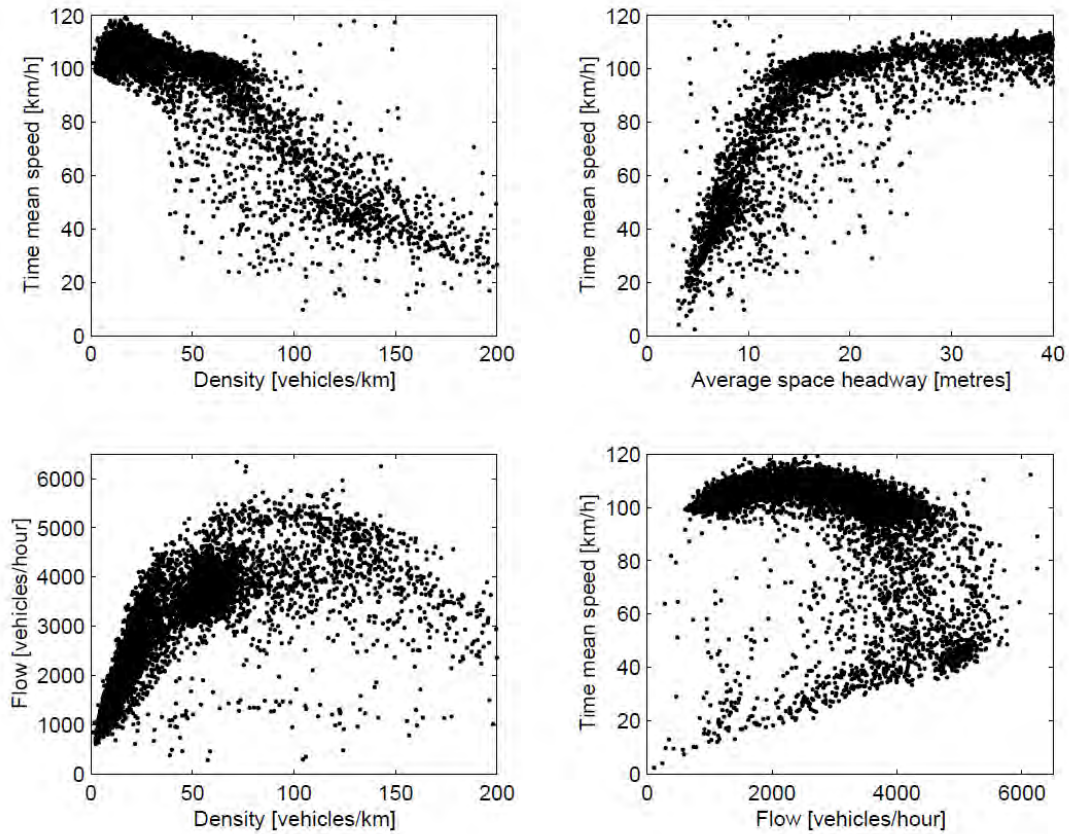


Figura 7 – Relazioni tra parametri del traffico misurati tramite sistemi di videocamere, per un'autostrada a 3 corsie, cioè la E17, nei pressi di Linkeroever, in Belgio (Maerivoet & De Moor, 2008)

Altresì, prima di una rampa d'ingresso si possono riscontrare andamenti come quelli che seguono:

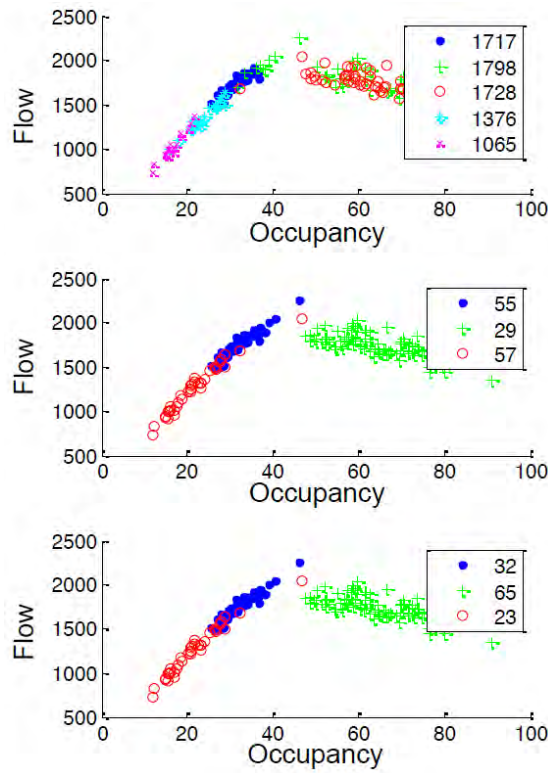


Figura 8 – Relazione tra i parametri *flusso* e *occupazione* (analoga al parametro *densità*), aggregazione sui due minuti, 3:30-6:30pm, 19 novembre 2008, OR-217 SB milepost 2.55, il riferimento geografico è specificato nella Figura 9(Li, 2014)

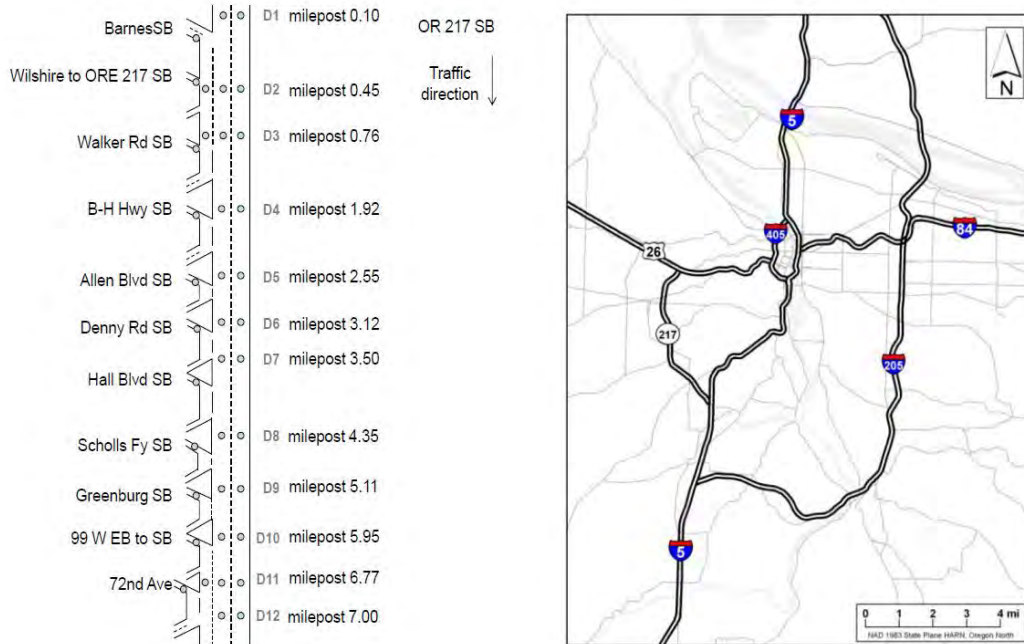


Figura 9 – Schematizzazione della freeway a cui sono riferiti i diagrammi riportati nelle figure adiacenti (Li, 2014)

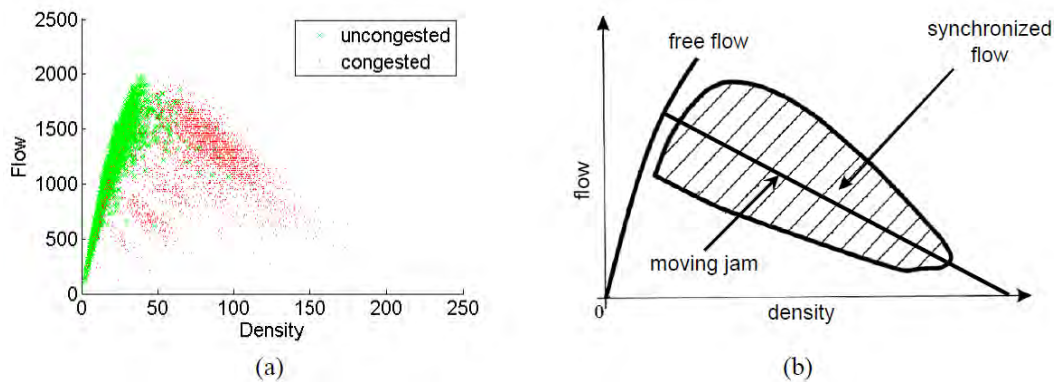


Figura 10 – Risultati di dati flusso-densità relativi a 27 giorni, aggregazione sui 2 minuti, OR-217 SB milepost 1.92, il riferimento geografico è specificato nella Figura 9(Li, 2014)

Si nota che, in condizioni di traffico intenso, avviene un rallentamento del flusso veicolare in corrispondenza delle rampe di ingresso, la cui causa potrebbe essere l'incremento di densità a valle in una rampa di ingresso e sulla stessa. Di fatto, i veicoli accedono all'infrastruttura tramite manovre di cambio corsia, inducendo disturbi al flusso principale tali da diminuire la velocità media (ENEA, 2011).

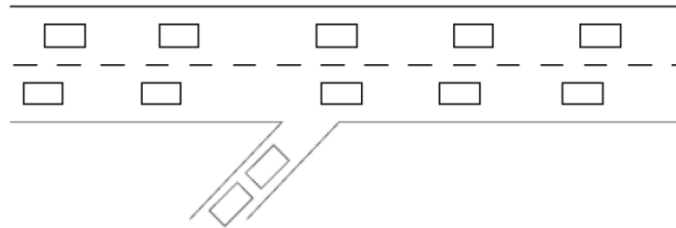


Figura 11 – Flusso proveniente dalla rampa e flusso sulla strada principale

Ciò comporta che i diagrammi fondamentali subiscono alcuni scostamenti secondo quanto appena indicato. Tali scostamenti sono sempre meno evidenti quanto più le sezioni a cui si riferiscono i diagrammi sono lontane dalla rampa d'ingresso.

Dunque, giacché non è stato possibile ottenere i dati dai gestori delle infrastrutture autostradali, si è dovuti ricorrere ad esperimenti in ambiente simulato, cioè a software che realizzano simulazioni del traffico, consci dei limiti di quest'ultimi. Allora, in tal modo, si sono ottenuti gli input (parametri del traffico) sia per il caso senza incidente (situazione indisturbata) sia per il caso con incidente (situazione disturbata).

Quindi i dati sono stati interpretati secondo la logica fuzzy, affinché il sistema sia in grado di riconoscerne il significato di incidente o di non incidente (output).

2 Modellazione

Nel seguente capitolo viene presentato l'approccio adottato per la simulazione delle condizioni di traffico (ordinarie ed in presenza di incidente) nel caso di studio specificatamente analizzato.

2.1 Oggetto della modellazione

Il caso trattato considera un'infrastruttura autostradale, in particolare le sue parti in prossimità di una rampa d'ingresso, cioè *un tronco a monte del punto di innesto della rampa, un tronco a valle del medesimo punto e la rampa*.



Figura 12 – Infrastruttura studiata

Si ricorre al software di microsimulazione del traffico *S-Paramics*, per realizzare virtualmente quanto appena descritto, con i seguenti scopi:

1. costruzione delle curve sperimentali in condizioni senza incidente;
2. rilevamento dei punti sperimentali in condizioni con incidente.

Ciò ha comportato, fondamentalmente, la creazione di due modelli: uno atto a simulare la situazione senza incidente e uno atto a simulare la situazione con incidente.

2.2 Strumenti per l'analisi dei sistemi di trasporto

2.2.1 Definizione e ruolo degli strumenti di analisi

Gli strumenti per l'analisi del traffico, tra i quali c'è il già citato S-Paramics, sono una varietà di software che implementano diverse metodologie e procedure analitiche a supporto delle analisi di molti aspetti del traffico e più in generale del sistema dei trasporti.

Questi strumenti vengono utilizzati per

- a) migliorare il processo decisionale;
- b) fornire previsioni delle future (potenziali) condizioni di traffico;
- c) valutare e ordinare in termini di preferenza/priorità le possibili alternative d'intervento;
- d) promuovere/presentare strategie al pubblico/decisori;
- e) monitorare, gestire e controllare le prestazioni dei sistemi di trasporto.

Quest'ultima possibilità, in particolare, riguarda la situazione esaminata in questa sede. Infatti, oltre a simulare l'infrastruttura e il suo funzionamento in diverse condizioni di traffico, si è simulata la presenza di spire induttive, atte a fornire i dati necessari alla costruzione delle curve di deflusso e atte a fornire i punti sperimentali nel caso con incidente.

2.2.2 Selezione del tipo di strumento di analisi

Per scegliere lo strumento più adeguato, è possibile ricorrere ai criteri proposti da FHWA (Jeannotte, Chandra, Alexiadis, & Skabardonis, 2003), e così si è scelto di fare.

Risultando adeguati i modelli di simulazione microscopica⁸, tra questi si opta per S-Paramics.

Di seguito vengono riportate le potenzialità del software in esame, limitatamente alle principali, rispetto a ogni criterio, al fine di giustificare la scelta dello strumento:

- 1) *identificazione del contesto di analisi:*
gestione/esercizio;
- 2) *capacità di “trattare” l’estensione geografica o area di studio appropriata per l’analisi:*
corridoi/reti di piccole dimensioni (con una o poche intersezioni);
- 3) *capacità di modellizzare il funzionamento delle varie tipologie di elementi che costituiscono il sistema:*
intersezione singola, rotatoria, viabilità ordinaria, rete stradale di grande comunicazione, autostrade, corsie riservate bus, caselli/barriere autostradali, rampe;
- 4) *capacità di analizzare vari modi di trasporto:*
mezzi privati (SOV), mezzi privati (HOV)⁹, bus, mezzi trasporto merci, pedoni;
- 5) *capacità di analizzare varie strategie di gestione/controllo e applicazioni/interventi:*
gestione rete autostradale, gestione intersezioni stradali, gestione incidenti, presenza cantieri stradali, sistemi avanzati d’informazione all’utenza, sistemi elettronici di pagamento;
- 6) *capacità di stimare le risposte degli utenti del sistema alle strategie d’intervento:*

⁸ I modelli di simulazione microscopica simulano il movimento dei singoli veicoli basandosi su modelli comportamentali (car-following, gap acceptance, lane-changing). In generale, viene utilizzato un processo stocastico per l’inserimento dei veicoli in rete (distribuzione stocastica degli arrivi), le cui condizioni di moto in rete vengono aggiornate a intervalli anche inferiori al secondo. All’atto dell’ingresso in rete, a ogni veicolo vengono assegnate una destinazione, una tipologia veicolare e una tipologia di utente (comportamento). I dati richiesti sono molti e molto dettagliati, considerevoli sono anche i tempi computazionali, ciò limita sia la dimensione del sistema analizzabile (dimensione della rete) sia il numero di simulazioni effettuabili.

⁹ Veicoli privati ad alta occupazione. Questi giocano un ruolo negli U.S.A. (per esempio tali veicoli godono di corsie riservate).

scelta di percorso di tipo preventivo e di tipo adattivo;

7) *capacità di produrre direttamente misure di prestazione*

LOS (livello di servizio), velocità, tempo di percorrenza, volume di traffico, lunghezza percorsa, rapporto V/C^{10} , densità, $VxKM^{11}$, VxH^{12} , ritardo, lunghezza code, numero incidenti.

Si nota che emergono proprio le caratteristiche d'interesse.

2.3 Processo di sviluppo e applicazione dei modelli microscopici

2.3.1 Procedura

È possibile fare riferimento ad un altro documento prodotto da FHWA (Dowling, Skabardonis, & Alexiadis, 2004), per definire la *procedura standard* di sviluppo e applicazione di modelli di micro simulazione nelle analisi trasportistiche.

Si sceglie di adottare tale procedura, la quale è costituita da sette passi:

- 1) *individuazione/delimitazione dell'area di studio in relazione agli obiettivi dell'attività di analisi;*
- 2) *raccolta e organizzazione dei dati;*
- 3) *sviluppo del modello base;*
- 4) *controllo degli errori;*
- 5) *calibrazione;*
- 6) *analisi degli scenari alternativi;*
- 7) *produzione di report e documenti tecnici contenenti i risultati dell'analisi.*

¹⁰ Livello di saturazione.

¹¹ Totale dei chilometri percorsi dai veicoli in rete.

¹² Tempo totale speso dai veicoli in rete.

2.4 Individuazione/delimitazione dell'area di studio in relazione agli obiettivi dell'attività di analisi

Si è inquadrata l'attività di analisi al fine di definirne gli obiettivi, l'area di studio, il riferimento temporale (e quindi l'approccio al problema), gli strumenti, le risorse.

Si sono adottate dimensioni spazio-temporali (specificate nella fase di sviluppo del modello base), cui riferire il modello di simulazione, ritenute sufficientemente ampie da permettere di considerare nell'analisi tutti i fenomeni di congestione del traffico che caratterizzano l'area d'influenza del progetto/intervento da valutare, durante il periodo di riferimento, e per i vari scenari considerati.

2.5 Raccolta e organizzazione dei dati

Se il sistema di trasporto simulato esiste nella realtà, è necessario pianificare la raccolta dei dati per la codifica della rete (caratteristiche fisiche e funzionali della rete stradale), della domanda e anche per le fasi di controllo degli errori di schematizzazione e di calibrazione del modello. Ma qui il sistema di trasporto simulato non esiste nella realtà, quindi ci si è limitati a scegliere valori realistici per le caratteristiche fisiche e funzionali della rete stradale e per la domanda di trasporto atta a sfruttare la rete.

2.6 Sviluppo del modello base

2.6.1 Procedura

I passi compiuti, per sviluppare il modello base, sono specifici del software utilizzato (S-Paramics).

- I. definizione dell'ora d'inizio simulazione: 7:00 A.M.;
- II. durata della simulazione: 1 ora, 3 ore (rispettivamente per il caso senza incidente e per il caso con incidente);
- III. caricamento della base planimetrica: giacché il sistema di trasporto simulato nella realtà non esiste, si è disegnata una planimetria fittizia per facilitare poi la costruzione virtuale della rete;

- IV. definizione delle tipologie d'arco: Highway Major (per la strada principale) e Highway Minor (per la rampa);
- V. costruzione dell'intero modello (rete stradale):
 - 1. *modello dell'offerta*;
 - 2. *modello della domanda*.

2.6.2 Costruzione dell'intero modello

2.6.2.1 Operazioni preliminari

Nel software, si è creato un nuovo modello di simulazione, impostando inizialmente la guida a destra e il nome del modello stesso. Una volta aperto tale modello, tramite *model settings* è stata inserita la mappa. Si sono settate le unità di misura su *metric*.

2.6.2.2 Modello dell'offerta

Si è proceduto come segue:

1) *inserimento dei nodi e definizione delle loro caratteristiche:*

si sono disposti meno nodi possibili poiché ogni nodo corrisponde a un punto di decisione del conducente/veicolo e quindi ne si è cercata una buona e realistica rappresentatività, in particolare operando sull'attributo *signposting*, il quale dice quanti metri prima del punto di decisione i veicoli/guidatori prendono coscienza di esso e quindi viene influenzata la probabilità che cambino corsia;

2) *inserimento degli archi e definizione delle loro caratteristiche, definizione dei "contorni" degli stessi e posizionamento delle linee di arresto che condizionano la traiettoria dei veicoli, classificazione funzionale degli archi (utile alla determinazione dei costi d'uso percepiti e in grado di influenzare il comportamento di guida dei veicoli in transito):*

per gli archi, oltre a definirne le tipologie (le quali vengono precisate al termine di questi punti procedurali), si sono modificati i kerbs cercando di metterli, il più possibile, simili alla mappa, mentre si sono si-

stemate le stop line in modo tale da definire traiettorie dei veicoli corrette e realistiche;

3) *definizione della tipologia dei nodi intersezione e descrizione del funzionamento/controllo:*

nel nodo 3 è posta un'intersezione a priorità tra la strada principale e la secondaria (la rampa d'ingresso), dove la priorità maggiore è detenuta dalla strada principale;

4) *definizione delle zone¹³ di traffico e dei relativi connettori:*

si sono inseriti i connettori fuori dalla mappa e create le zone ricoprendoli per più del 50%;

la lunghezza dei connettori è stata scelta considerando che ognuno di questi riesca a contenere il veicolo più lungo da caricare nella rete;

5) *codifica delle eventuali linee di trasporto pubblico¹⁴:*

in generale, si possono aggiungere informazioni legate al trasporto pubblico, cioè, per esempio, fermate, linee, frequenze, avendo a monte già definito, sempre per esempio, corsie preferenziali;

6) *definizione dei sotto periodi in cui si ritiene opportuno suddividere l'intero periodo di simulazione;*

7) *codifica delle differenze della rete fra i diversi sottoperiodi.*

In generale, è possibile considerare variazioni della domanda e dell'offerta, quindi è suddivisibile il periodo in sottoperiodi, e in ognuno di questi è modificabile il modello di offerta (per esempio si può intervenire sulle caratteristiche solo di un arco in cui, ad un certo istante, avviene un incidente predefinito, per valutarne gli impatti sul flusso veicolare). Così possono ottenersi

- 1) precarico (15' in genere);
- 2) periodo di simulazione;
- 3) scarico (15' in genere).

¹³ Le zone, in questa situazione, sono punti cordonali che corrispondono a vere e proprie sezioni.

¹⁴ Assenti nel caso in esame.

Con ciò si può vedere al termine del periodo di punta (scarico) quanto serve per smaltire la congestione, quindi è buona norma estendere il periodo di simulazione per capire quanto tempo impiega il modello a sgombrare la rete; si hanno perciò indicazioni sulla congestione anche oltre il periodo di punta.

Posto che il sistema costruito virtualmente non esiste nella realtà, la lunghezza di ogni arco stradale è stata scelta in modo da far sì che le code possano formarsi e smaltirsi all'interno dell'arco stesso (in particolare di quello a monte della rampa), permettendo, quindi, che i veicoli possano comunque essere caricati sulla rete.

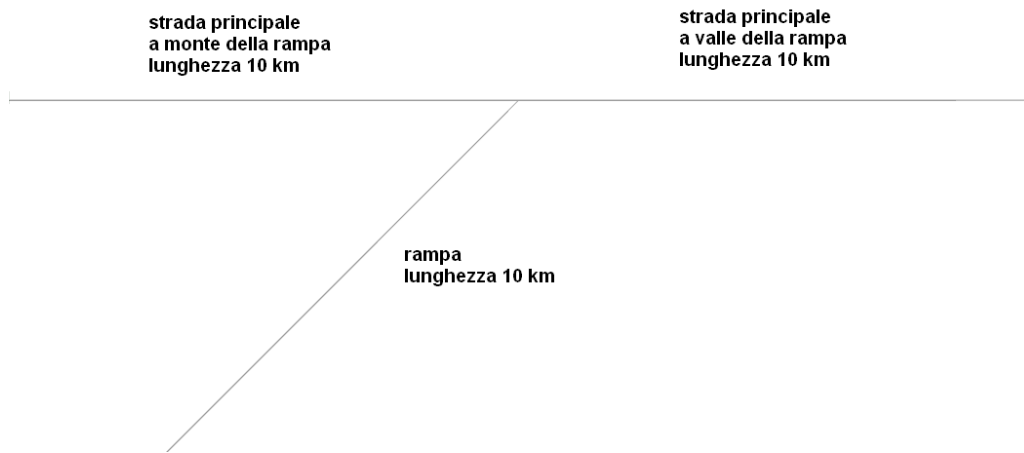


Figura 13 – Schematizzazione della dimensione spaziale del problema

Si è prestata attenzione a definire una parte di infrastruttura, a valle del punto di innesto della rampa, per una lunghezza pari a 300 m, corrispondente alla zona di conflitto tra i flussi sulla strada principale e quelli provenienti dalla rampa (*merging zone*). In tale zona, in particolare, avviene una importante ripartizione dei veicoli sulle due corsie della strada principale, data dalla somma dei flussi convergenti sulla principale medesima.

Altresì vale per i periodi di simulazione:

Tabella 7 – Periodi adottati nei due modelli di microsimulazione (quello atto a simulare il caso senza incidente e quello atto a simulare il caso con incidente)

CASO SENZA INCIDENTE				
<i>Periodo</i>	<i>Istante iniziale</i>	<i>Etichetta</i>	<i>Istante finale</i>	<i>Durata</i>
1	0.00.00	rete scarica	6.45.00	6.45.00
2	6.45.00	precarico della rete	7.00.00	0.15.00
3	7.00.00	periodo di simulazione	8.00.00	1.00.00
4	8.00.00	scarico della rete	8.15.00	0.15.00
5	8.15.00	rete scarica	0.00.00	15.45.00
CASO CON INCIDENTE				
<i>Periodo</i>	<i>Istante iniziale</i>	<i>Etichetta</i>	<i>Istante finale</i>	<i>Durata</i>
1	0.00.00	rete scarica	6.45.00	6.45.00
2	6.45.00	precarico della rete	7.00.00	0.15.00
3	7.00.00	periodo di simulazione	10.00.00	3.00.00
4	10.00.00	scarico della rete	10.15.00	0.15.00
5	10.15.00	rete scarica	0.00.00	13.45.00

Attraverso la seguente tabella, si completano, sinteticamente, le caratteristiche fisico-geometriche del sistema di trasporto modellato:

Tabella 8 – Caratteristiche fisiche degli archi della rete

<i>parte infrastruttura</i>	<i>Limite di velocità</i>	<i>Larghezza carreggiata</i>	<i>Numero di corsie</i>	<i>Tipologia di link</i>
strada principale	90 km/h	7,3 m	2	Highway Major
rampa	50 km/h	3,7 m	1	Highway Minor

Ciò si è tradotto nel definire due nuove categorie di strada in S-Paramics:

cat 30:	90kph	7.3m	2	lanes	Highway	Major	(1.0/No/0.0)
cat 32:	50kph	3.7m	1	lane	Highway	Minor	(1.0/No/0.0)

Si nota che le specifiche adottate disegnano il caso di un'autostrada senza pedaggio, di una tangenziale, di una freeway.

2.6.2.3 Modello della domanda

Si è proceduto come segue:

1) *definizione delle tipologie veicolari e loro associazione alle matrici:*

si sono definite 2 tipologie veicolari, una per i veicoli provenienti dalla rampa e una per i veicoli provenienti dalla parte di monte della strada principale, per le quali si sono adottati i valori di default delle caratteristiche fisiche e dinamiche avendo scelto la categoria predefinita di autovetture denominata *home to work*, mentre si è posto il valore *familiarity*¹⁵ pari a 99;

2) *definizione del numero di matrici origine-destinazione:*

si sono create 2 matrici (una per i veicoli provenienti dalla rampa e una per i veicoli provenienti dalla parte di monte della strada principale), dove per entrambe la destinazione è situata al termine della parte di valle della strada principale;

3) *caricamento della domanda (matrici) e definizione dei profili temporali¹⁶ associati alle matrici (descrizione della dinamica temporale della domanda):*

una volta definiti i profili temporali della domanda si procede ad assegnare a ciascuna cella delle matrici il profilo adeguato; quindi le matrici sono state ripartite nell'arco del periodo simulazione, sui 5 minuti, secondo un profilo di traffico bilanciato (numero costante di veicoli immessi in rete ogni 5 minuti);

¹⁵ ...percentuale di utenti che si ritiene conoscano la rete in modo dettagliato e cui quindi è ragionevole associare il possibile comportamento adattivo. In questo caso, il valore 99% adottato, corrisponde ad un artificio, per ridurre l'eccessivo disturbo che i veicoli provenienti dalla rampa producevano sul flusso della strada principale.

¹⁶ La possibilità di intervenire sulle variazioni della domanda all'interno del periodo di riferimento implica che è considerabile la dinamica intraperiodale.

2.7 Ulteriori aspetti: spire

Al fine di ottenere i parametri di traffico relativi alle varie simulazioni che verranno lanciate, sui vari link della rete si sono disposte delle spire (*loop detectors*), con passo 100 m, su entrambe le corsie. La tabella seguente le sintetizza:

parte dell'infrastruttura	nome		numero totale spire
	codice alfabetico	codice numerico	
strada principale, a monte del punto di innesto della rampa	MLa	0-99	100
rampa	R	1-20	20
<i>merging zone</i>	MZ	1-11	11
strada principale, a valle del punto di innesto della rampa	MLVa	0-50	51

Il codice numerico corrisponde alla coordinata progressiva rispetto al punto di innesto della rampa.

Per facilitare la comprensione di tale schematizzazione, si rimanda alla successiva figura.

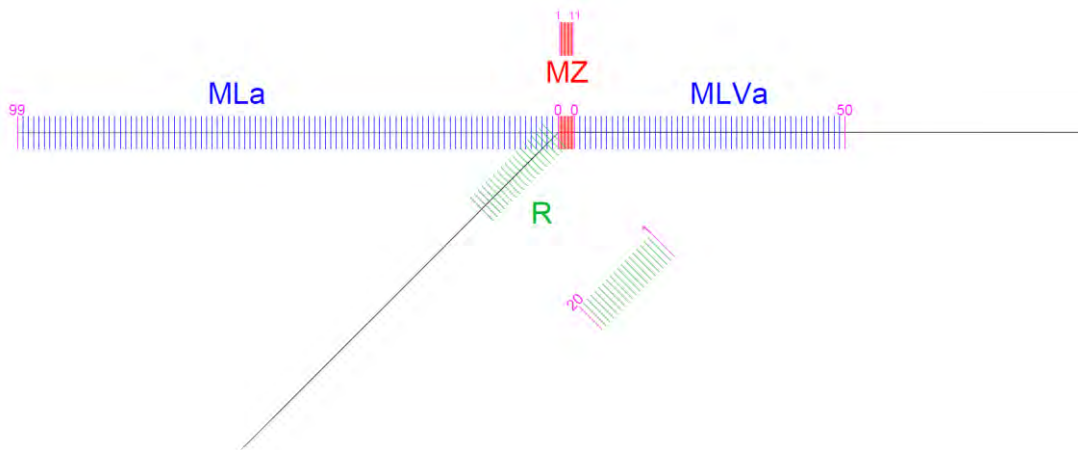


Figura 14 – Schema della disposizione delle spire

2.8 Assegnazione

Il software S-Paramics permette l'impiego di diversi modelli di assegnazione degli spostamenti alla rete: assegnazione tutto o niente, stocastica, dinamica a ritroso.

Tra queste, per il caso in esame, si ricorre alla “tutto o niente” (tutto il traffico veicolare sul percorso di minimo costo¹⁷ e niente sugli altri percorsi).

Dunque si ha il comportamento degli utenti in relazione ai costi. Infatti le 3 alternative di assegnazione si realizzano attraverso la valutazione di una funzione di costo generalizzato. È perciò possibile definire gli attributi che costituiscono il costo generalizzato di trasporto, il parametro di perturbazione per i modelli stocastici, l'intervallo temporale di aggiornamento dello stato della rete e la modalità di calcolo del costo generalizzato da parte dei singoli veicoli/utenti presenti in rete per la dinamica a ritroso.

Di default, l'unica voce di costo è il tempo di percorrenza¹⁸, e in particolare il tempo di percorrenza a vuoto; si procede al calcolo dei percorsi minimi, quindi è preimpostata l'assegnazione tutto o niente (e tutti i veicoli impegneranno proprio i percorsi minimi), infatti i modelli micro non prevedono più di un percorso per ogni coppia O/D (Origine/Destinazione).

Considerando i modelli stocastici, le caratteristiche dei veicoli/utenti vengono attribuite in modo casuale a partire da distribuzioni statistiche (scelte dall'analista).

Con l'assegnazione dinamica a ritroso è possibile simulare il comportamento adattivo di una quotaparte degli utenti in relazione alla scelta dei percorsi; tale quotaparte è detta *famiglia*. In merito, si hanno 2 parametri interessanti: familiarity e perturbation (errore percentuale commesso dagli utenti nelle loro valutazioni). Comportamento adattivo significa, per esempio, che è possibile anche l'uso della viabilità non principale (ovvero “scorciatoie locali”) e quindi viene meno la distinzione tra archi major e

¹⁷ Il costo è spesso inteso come il tempo di percorrenza che i guidatori devono impiegare per muoversi dalla loro origine dello spostamento alla loro destinazione.

¹⁸ In generale si possono considerare, oltre al tempo di percorrenza, l'esborso monetario (autostrade) e la distanza (lunghezza del percorso). Dunque queste 3 voci di costo sono accorpabili in una combinazione lineare, di cui l'analista può settare i coefficienti moltiplicativi (in particolare 2 su 3 di questi, in quanto la funzione di costo generalizzato è espressa in unità di tempo).

minor, nonché significa che è possibile la rivalutazione del costo in istanti successivi a quello in cui è stata fatta la valutazione preventiva del costo di percorso, cioè prima di iniziare lo spostamento.

L'assegnazione implica la scelta dei percorsi, tuttavia, in generale, il modello micro potrebbe non richiedere la scelta dei percorsi, comunque la fase di assegnazione è importante per ottenere gli output della simulazione, e per le attività che seguono quest'ultima, infatti le successive fasi (controllo degli errori, calibrazione del modello, sviluppo degli scenari alternativi, confronto tra alternative tramite indicatori di prestazione) richiedono la produzione di assegnazioni di traffico.

Operativamente, si è impostato un seme pari a 1 e lanciata una *run* (simulazione), e così via fino a 10 semi, per un totale di 10 run, per ogni scenario.

2.9 Scenari

Per raggiungere gli scopi (indicati all'inizio del presente capitolo) è stato necessario progettare molteplici scenari, in particolare per il caso con incidente ne si sono individuati 3 principali (riportati nella tabella sottostante) in termini di flussi, è quattro sotto-casi per ognuno dei principali in base al punto spaziale in cui si impone avvenga l'incidente.

Tabella 9 – Scenari del caso con incidente e del caso senza incidente

C A S O S E N Z A I N C I D E N T E

scenario tipo	<i>flussi veicolari</i>			<i>run</i>	
	<i>strada principale monte</i>	<i>rampa</i>	<i>strada principale valle</i>	<i>da</i>	<i>a</i>
	[v/h]	[v/h]	[v/h]		
flusso veicolare proveniente dalla rampa costane e flusso veicolare proveniente dalla parte di monte della strada principale variabile	3500	900	4400	1	10
	100	900	1000	11	20
	500	900	1400	21	30
	1500	900	2400	31	40
	2500	900	3400	41	50
	3600	900	4500	51	60
	3650	900	4550	61	70
	3400	900	4300	71	80
	3550	900	4450	81	90
rampa	100	100	200	91	100
	100	1600	1700	101	110
	100	2000	2100	111	120
	100	900	1000	121	130
	100	500	600	131	140

C A S O C O N I N C I D E N T E

scenario tipo	<i>flussi veicolari</i>			<i>run</i>	
	<i>strada principale monte</i>	<i>rampa</i>	<i>strada principale valle</i>	<i>da</i>	<i>a</i>
	[v/h]	[v/h]	[v/h]		
flusso veicolare proveniente dalla rampa costane e flusso veicolare proveniente dalla parte di monte della strada principale variabile	1000	900	1900	1	10
	2000	900	2900	11	20
	3000	900	3900	21	30

Le localizzazioni scelte per l'incidente sono le seguenti:

- 1) 200 m, a *monte* del punto di innesto della rampa, sulla *strada principale*, in corrispondenza della spira MLa002 (per semplicità, si chiami questa situazione **m200**);
- 2) 200 m, a *valle* del punto di innesto della rampa, sulla *strada principale*, in corrispondenza della spira MZ008 (per semplicità, si chiami questa situazione **v200**);
- 3) 100 m, a *monte* del punto di innesto della rampa, sulla *rampa*, in corrispondenza della spira R01 (per semplicità, si chiami questa situazione **r100**).

Perciò, concretamente, gli scenari del caso con incidente sono 3 (variazioni dei flussi) x 3 (localizzazioni dell'incidente), cioè 9; mentre sono 14 gli scenari del caso senza incidente.

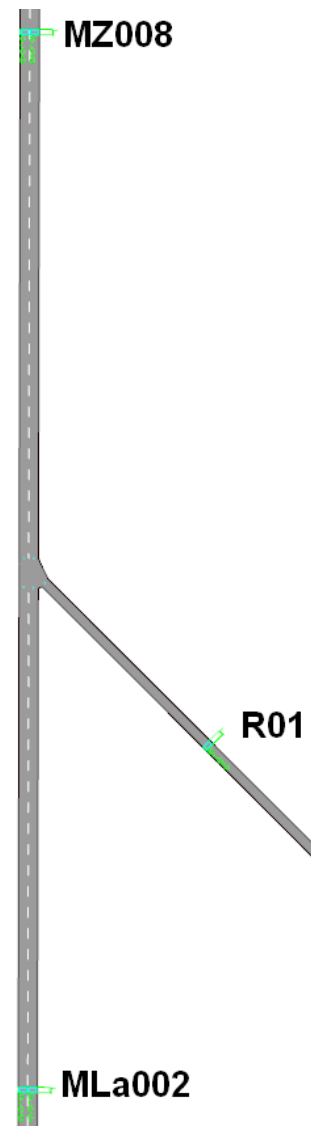


Figura 15 – Localizzazioni dell'incidente con riferimento alle relative spire

2.9.1 Simulazione dell'incidente

L'incidente è stato simulato sfruttando un comando predefinito di S-Paramics (Editor>>Incidents), con cui si è imposto che il primo veicolo che entra, all'ora x (07:30:00), nell'arco stradale, nel quale si vuole capiti l'incidente, si arresterà in corrispondenza del valore prescelto per la coordinata progressiva del suddetto arco (200, 100, 200 m a seconda dell'arco), in prima corsia. E si è scelto che la durata, di questa condizione di velocità nulla per il veicolo incidentato, sia pari a 20 minuti.

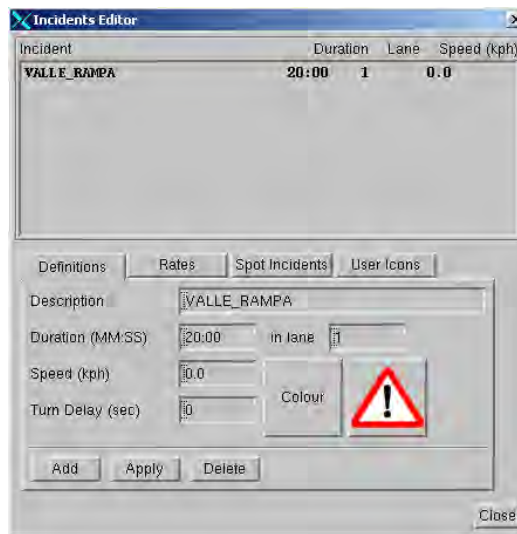


Figura 16 – Definizione di come deve avvenire l'incidente (si notino i parametri *Duration*, *Speed*, *in lane*)

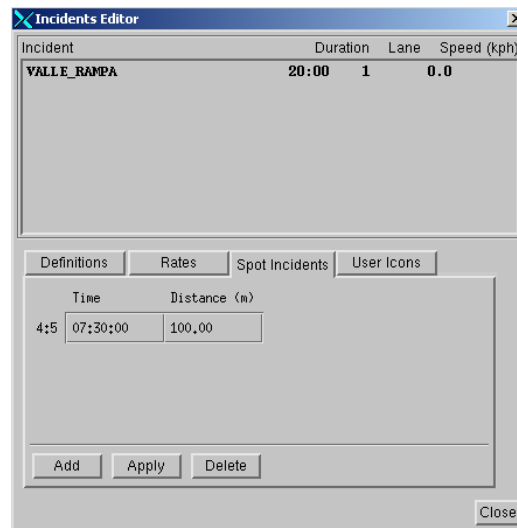


Figura 17 – Definizione di quando e dove si vuole avvenga l'incidente. Per il “quando” si fa riferimento al parametro *Time*, mentre per il “dove” si fa riferimento ai parametri *Distance* e, in questo esempio, l'arco 4:5, cioè la parte di valle della strada principale.

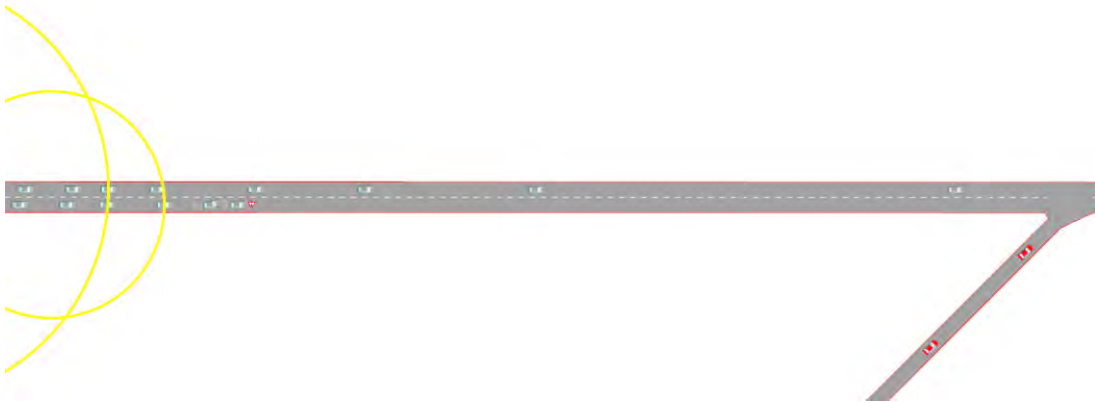


Figura 18 – Incidente a monte del punto di innesto della rampa, sulla strada principale

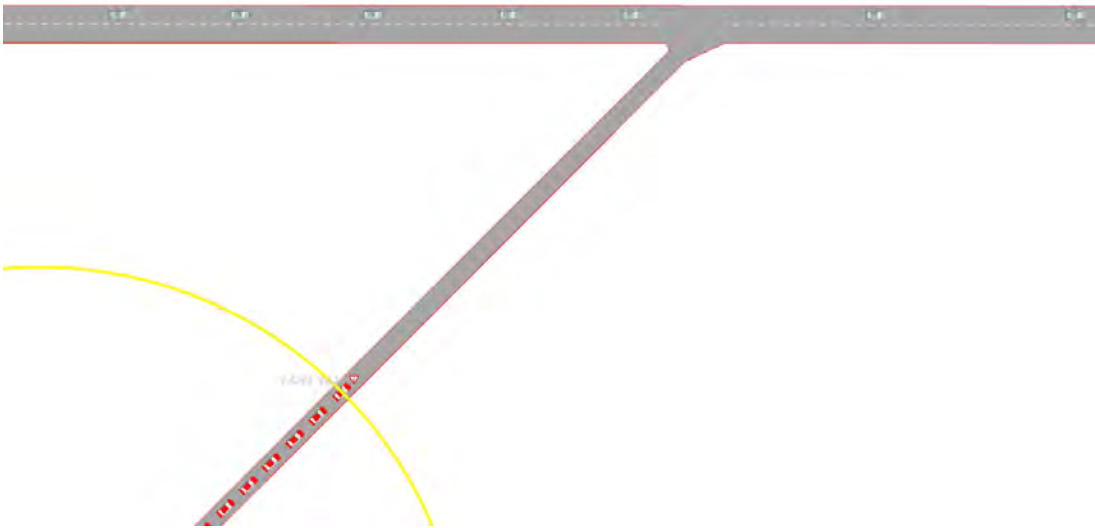


Figura 19 – Incidente a monte del punto di innesto della rampa, sulla rampa



Figura 20 – Incidente a valle del punto di innesto della rampa, sulla strada principale

2.10 Controllo degli errori di codifica

Tale attività serve per individuare e correggere gli eventuali errori di schematizzazione della rete affinché questi non interferiscano con la calibrazione¹⁹ del modello, e dunque con la bontà dei risultati finali.

Tra le possibili liste di controllo adottabili per verificare l'accuratezza dei dati d'input codificati, si è usata la seguente:

- 1) *verifica degli archi e dei nodi della rete:*
 - a. controllo dello stato di connessione della rete di base;
 - b. controllo delle caratteristiche geometriche e funzionali degli archi;
 - c. controllo della tipologia del sistema di gestione/controllo delle intersezioni;
 - d. controllo dei divieti delle manovre, corsie riservate/vietate, restrizioni di corsia alle intersezioni e sui tronchi;
- 2) *verifica della domanda:*
 - a. controllo delle proporzioni delle tipologie veicolari in ingresso dalle singole zone;
 - b. verifica dei volumi di traffico di zona in rapporto ai conteggi;
- 3) *verifica del comportamento degli utenti e delle caratteristiche dei veicoli* (impiego della riproduzione animata).

2.11 Calibrazione del modello

Con quest'attività (che richiede un tempo non trascurabile), vengono determinati i valori dei parametri in grado di garantire la migliore riproduzione, mediante modello, delle condizioni di traffico osservate, cioè il funzionamento locale del modello. Si tratta di selezionare un numero ristretto di parametri di calibrazione e di effettuare diverse simulazioni tramite modello al fine di determinare i migliori valori di tali parametri.

¹⁹ Errori di schematizzazione della rete potrebbero essere aggiustati, almeno in parte, dalla fase di calibrazione, ma allo stesso tempo quegli errori inciderebbero proprio e appunto sui valori dei parametri decisi dalla calibrazione stessa, portando, alla fine, a un allontanamento dal realismo. (L'incisione degli errori sarà poi particolarmente amplificata usando il modello in modalità previsionale).

Operativamente è possibile procedere come segue:

- 1) identificazione dei target di calibrazione necessari per il modello (per esempio le lunghezze delle code);
- 2) definizione degli indicatori di prestazione e delle soglie;
- 3) individuazione dei valori dei parametri di calibrazione che consentono di riprodurre bene i valori di capacità di archi stradali e intersezioni del sistema allo studio;
- 4) individuazione dei valori dei parametri di calibrazione che consentono di riprodurre bene le scelte di percorso osservate;
- 5) calibrazione complessiva del modello basata su misure di performance globali di rete (per esempio tempi di percorrenza, ritardi, code);
- 6) tecnica del “prova e correggi”, cioè si valuta una serie di simulazioni²⁰ lanciate, e sulle differenze riscontrate rispetto alle soglie fissate a monte, si prendono le decisioni.

Con questi approcci, in particolare, si sono studiate le curve di deflusso sperimentali che emergevano da una serie di simulazioni atte proprio a calibrare il modello, deducendo che i risultati, ottenuti costruendo la rampa d'ingresso secondo il comando predefinito di S-Paramics, erano irrealistici (le nuvole di punti sperimentali erano difficilmente interpretabili dagli andamenti attesi delle curve di deflusso).

Infatti, per valori di flusso prossimi alla capacità sulla strada principale, andava in crisi unicamente l'arco a monte del punto d'innesto della rampa e prevalentemente a causa del disturbo, che il flusso veicolare proveniente da quest'ultima induceva su quello della strada principale, intanto l'arco della parte di valle raggiungeva a fatica la capacità in seconda corsia (corsia di sorpasso) e mai raggiungeva la capacità in prima corsia. Ciò si manifestava come una alterazione delle traiettorie che sorgeva nella cosiddetta *merging zone* (zona in cui avviene l'immissione dei veicoli provenienti dalla rampa nella strada principale e la cui lunghezza, approssimativamente, va

²⁰ Si considerano più simulazioni in quanto alcune caratteristiche comportamentali hanno natura probabilistica. Si adotta un seme (numero casuale) che incide sull'esito della simulazione. Ogni simulazione avrà un seme differente, quindi, con una serie di simulazioni, si rappresenta la variabilità temporale del fenomeno, ossia la dinamica interperiodale (per esempio 2 lunedì dello stesso mese), mentre intervenendo sui sottoperiodi è possibile rappresentare la dinamica intraperiodale. Infine si media il risultato ottenuto dalle diverse simulazioni.

a coincidere con la corsia di accelerazione della rampa), alterazione tale che i veicoli, provenienti dalla parte di monte della strada principale, andavano, in larga misura, a portarsi in corsia di sorpasso per facilitare l'ingresso dei veicoli provenienti dalla rampa²¹, col difetto di non ripristinarsi nella parte di valle uno sfruttamento completo delle due corsie disponibili, cioè era sempre privilegiato sempre l'uso della corsia di sorpasso.

L'identificazione del problema è avvenuta provando a variare la lunghezza della merging zone, che quanto più veniva ridotta e tanto più il problema risultava mitigato. Allora si è presa la decisione di sopprimere la rampa così come costruita dal comando predefinito di S-Paramics, preferendo piuttosto una intersezione a priorità, la quale, effettivamente, ha fornito i risultati sperati, dando curve nella forma e negli ordini di grandezza delle variabili del deflusso, confrontabili per esempio con quelli dei diagrammi sperimentali presentati nel §1.6. Nonché (come descritto sempre nel §1.6), nell'intorno della rampa, si è potuto assistere al comportamento atteso di veicoli che accedono all'infrastruttura tramite manovre di cambio corsia, inducendo disturbi al flusso principale tali da diminuire la velocità media.²²

2.12 Rapporto finale e documentazione tecnica

Secondo quanto è stato finora detto, si sono costruite le curve di deflusso nel caso senza incidente e si sono ricavati i punti sperimentali nel caso con incidente.

Ciò è stato attuato archiviando i dati raccolti (velocità istantanee), dalle spire virtuali, in database relazionali (tramite software Microsoft Access), quindi essi sono stati elaborati per calcolare i valori di flusso, velocità media nello spazio e densità.

Nel caso senza incidente i dati sono stati aggregati sui 5 minuti, mentre nel caso con incidente sono stati aggregati sul minuto (§1.2.3.3).

²¹ L'aspetto comportamentale riscontrato potrebbe essere dovuto ad un atteggiamento tipicamente anglosassone di facilitare l'ingresso dei veicoli provenienti dalla rampa (il software S-Paramics è anglosassone).

²² (ENEA, 2011)

3 Curve e punti sperimentali

Il capitolo seguente contiene la descrizione delle curve di deflusso ottenute per via simulativa in condizioni ordinarie di traffico, i punti sperimentali ottenuti nel caso di incidente. Sono inoltre proposte le metriche adottate per l'identificazione degli stati anomali.

3.1 Curve di deflusso (caso senza incidente)

Essendo di interesse le parti infrastrutturali più prossime al punto di innesto della rampa e nel contempo significativa la variabilità dei dati sperimentali (grandezze del deflusso) in tale zona, si sono scelte, in particolare, le spire riportate nella seguente tabella:

Tabella 10 – Spire dalle quali si sono ottenuti i dati sperimentali per costruire le curve di deflusso

<i>parte dell'infrastruttura</i>	<i>spira</i>	<i>distanza dal punto di innesto della rampa</i>
strada principale, a monte del punto di innesto della rampa	MLa008	800 m
rampa	R1, R9950	100 m, 9950 m
strada principale, a valle del punto di innesto della rampa	MLVa005	800 m

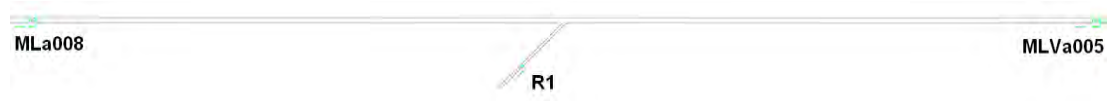


Figura 21 – Rappresentazione delle spire dalle quali si sono ottenuti i dati sperimentali per costruire le curve di deflusso (a meno della R99550)

La costruzione delle curve si è realizzata secondo quanto riportato in §1.2.3.3, con l'aggregazione dei dati sui 5 minuti. Si è dedotta una curva per ogni corsia per ogni caso sopra riportato.

In generale, nelle curve non è osservabile il valore di jam della densità, in quanto le spire non forniscono informazioni sul traffico quando veicoli sono fermi/bloccati su di esse.

Per indagare il ramo instabile, a livello modellistico, si è adottato il seguente artificio: i connettori contano una corsia in più rispetto al successivo arco, consentendo di caricare in rete più veicoli di quanto sarebbe possibile altrimenti.

Come illustrato negli scenari (§2.9), le curve di deflusso relative alla strada principale, sono state ottenute imponendo un flusso veicolare costante proveniente dalla rampa (900 aeq/h), mentre il flusso veicolare sulla strada principale è stato fatto variare fino al raggiungimento della capacità. Invece, per ottenere le curve di deflusso relative alla rampa, è stato variato il flusso veicolare sulla rampa stessa e quello sulla strada principale con lo scopo di indagare anche il condizionamento rampa-strada principale.

3.1.1 Curve di deflusso a monte del punto di innesto della rampa

Si presentano ora i grafici, della parte di infrastruttura cui si riferisce il paragrafo, con le relative equazioni delle curve interpolatrici, le quali rappresentano i diagrammi sperimentali (curve di deflusso).

3.1.1.1 Corsia 1

$$y = -1,5936x^2 + 108,71x$$

$$R^2 = 0,8398$$

q-k

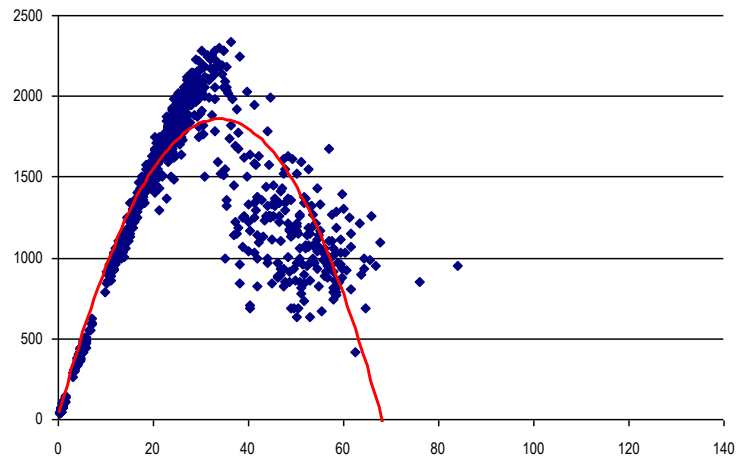


Figura 22 – Diagramma q-k per la corsia 1 (lane 1), monte

$$y = -0,0056x^3 - 0,0292x^2 + 55,277x$$

$$R^2 = 0,7131$$

q-V_s

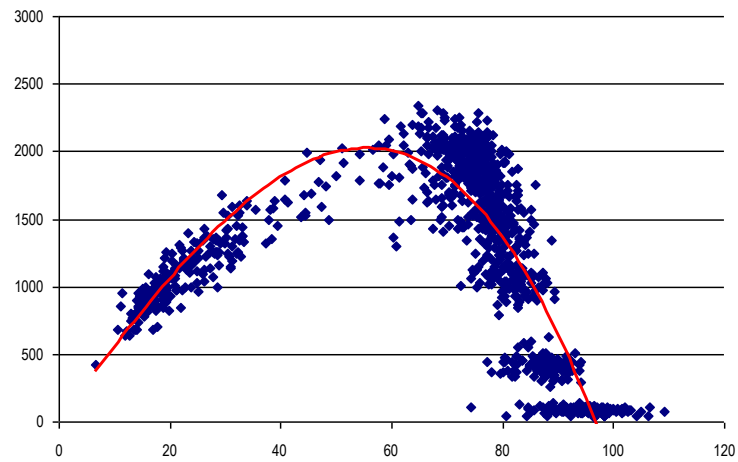
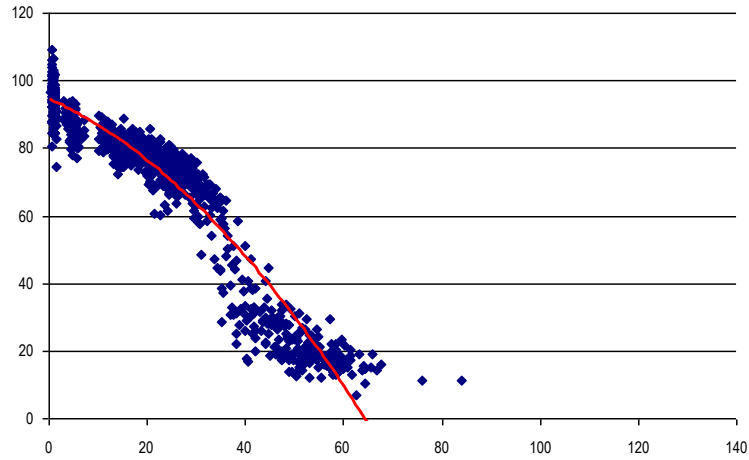


Figura 23 – Diagramma q-V_s per la corsia 1 (lane 1), monte

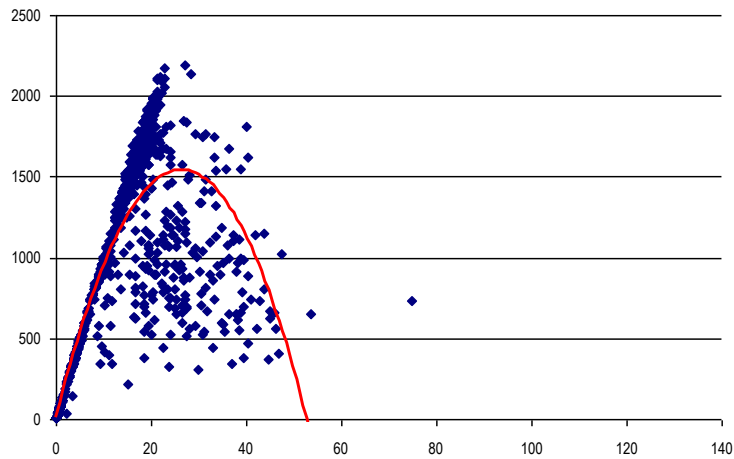
$$y = -0,0127x^2 - 0,6533x + 94,541$$
$$R^2 = 0,9085$$

V_s-k**Figura 24 – Diagramma V_s - k per la corsia 1 (lane 1), monte**

È possibile osservare un flusso massimo $q_{max} \cong 2200 \text{ aeq/h}$, e una velocità massima $V_{max} \cong 110 \text{ Km/h}$. Inoltre, nel diagramma V_s - k , sembra presente un asintoto orizzontale per $V_s \cong 0 \text{ Km/h}$.

3.1.1.2 Corsia 2

$$y = -2,2069x^2 + 116,69x$$
$$R^2 = 0,7151$$

q-k**Figura 25 – Diagramma q - k per la corsia 2 (lane 2), monte**

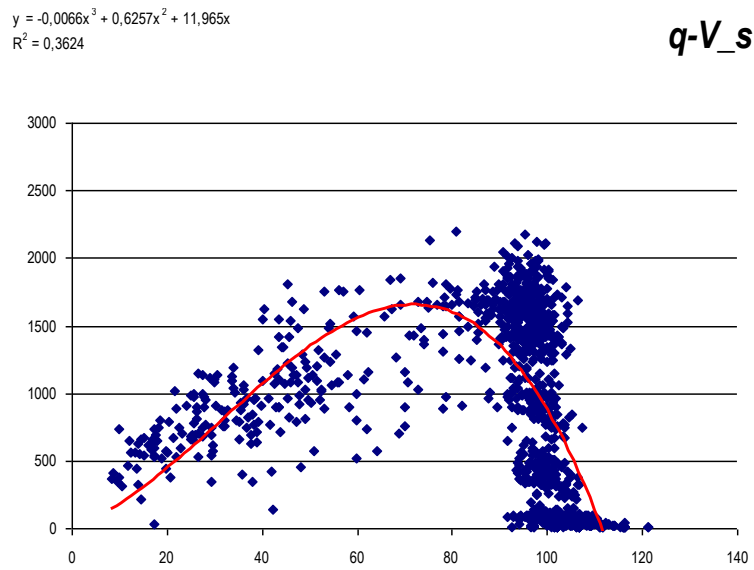


Figura 26 – Diagramma q-V_s per la corsia 2 (lane 2), monte

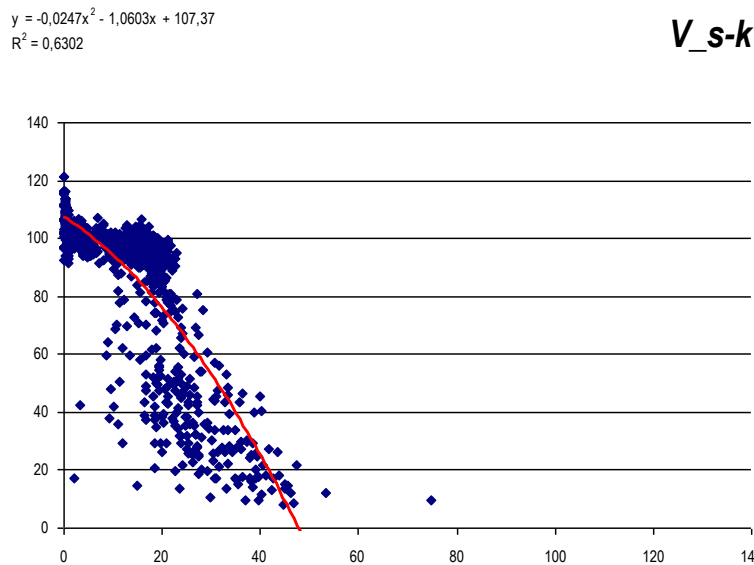


Figura 27 – Diagramma V_s-k per la corsia 2 (lane 2), monte

Valgono le medesime osservazioni della corsia 1, con l'eccezione della velocità massima, ora poco più elevata ($V_{max} \cong 120 \text{ Km/h}$), dopodiché è possibile notare una maggiore variabilità dei dati (confutata anche dai valori di R^2 , più bassi rispetto a quelli dell'altra corsia). Tali differenze potrebbero essere giustificate dal fatto che la corsia 2 è la corsia di sorpasso, perciò gli utenti più aggressivi, in generale, è presumibile che viaggino su di essa, nonché è presumibile che gli utenti più aggressivi della corsia 1 compiano un sorpasso degli utenti più lenti che impiegano la stessa corsia

portandosi quindi sull'altra per brevi o lunghi tratti, anche in base all'entità della saturazione. C'è poi da considerare l'influenza della rampa, sul deflusso, nel tratto della strada principale, a monte del punto di innesto della rampa stessa.

3.1.2 Curve di deflusso sulla rampa

Si presentano ora i grafici, della parte di infrastruttura cui si riferisce il paragrafo, con le relative equazioni delle curve interpolatrici, le quali rappresentano i diagrammi sperimentali (curve di deflusso).

Si considerano due casi con la strada principale sotto-satura: uno riferito alla spira R1 (già citata), e uno riferito molto a monte del punto di innesto della rampa e sempre sulla rampa (spira R9950).

Infine, si considera il caso con la strada principale prossima alla saturazione, con riferimento alla spira R1, con il solo intento di mostrare l'influenza della strada principale sulla rampa in termini di variabilità di dati.

Nel seguito, l'unico, dei tre casi presentati, che sarà considerato, è quello della spira R9950, con la principale sotto-satura, in quanto ha permesso di indagare sia il ramo stabile che il ramo instabile; nonché il fatto che la strada principale sia sotto-satura è coerente con gli scenari scelti per l'incidente (§2.9).

3.1.2.1 Spira R1 con principale sotto-satura

q-k

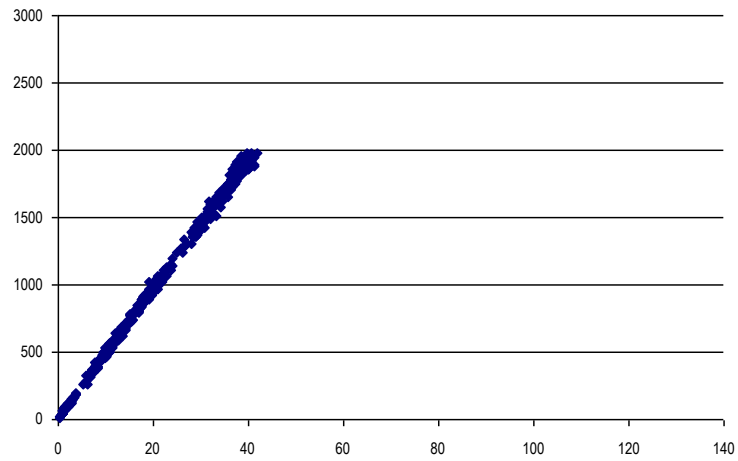


Figura 28 – Diagramma q-k, rampa (R1)

q-V_s

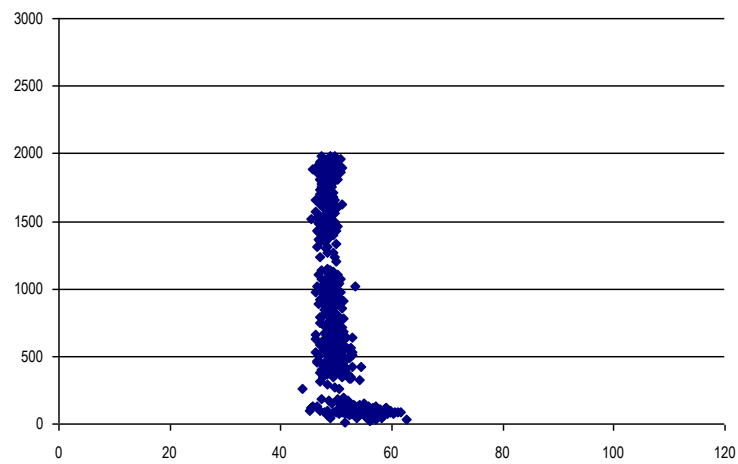


Figura 29 – Diagramma q-V_s, rampa (R1)

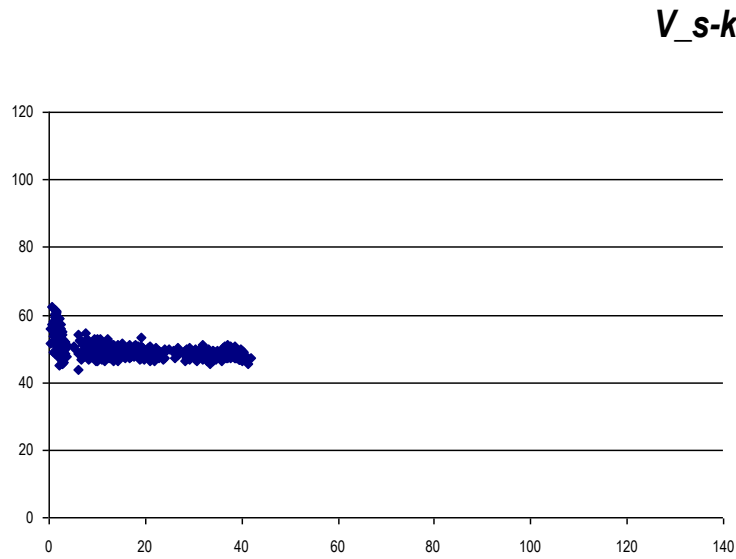


Figura 30 – Diagramma V_s-k, rampa (R1)

È possibile osservare un flusso massimo $q_{max} \cong 2000 \text{ aeq/h}$, e una velocità massima $V_{max} \cong 60 \text{ Km/h}$. Si nota che non si è arrivati ad indagare il ramo instabile, in quanto la situazione non permette di ricorrere all'artificio illustrato in §0.

3.1.2.2 *Spira R9950 con principale sotto-satura*

$$y = -0,5318x^2 + 67,172x$$
$$R^2 = 0,9832$$

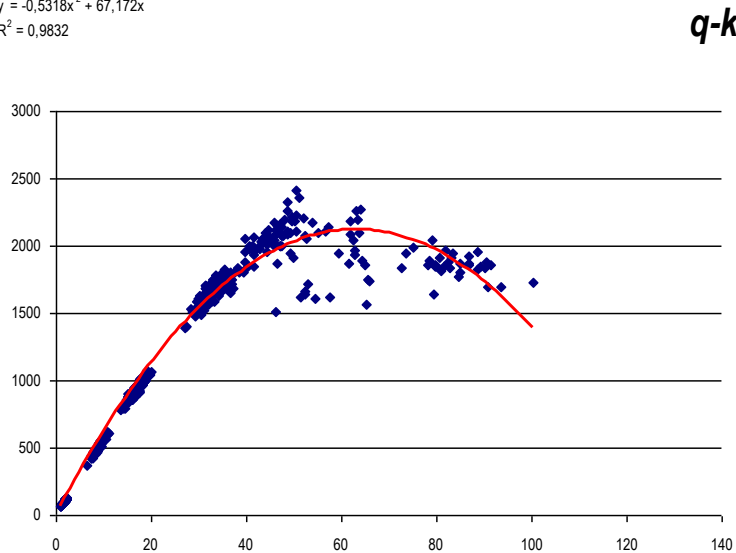
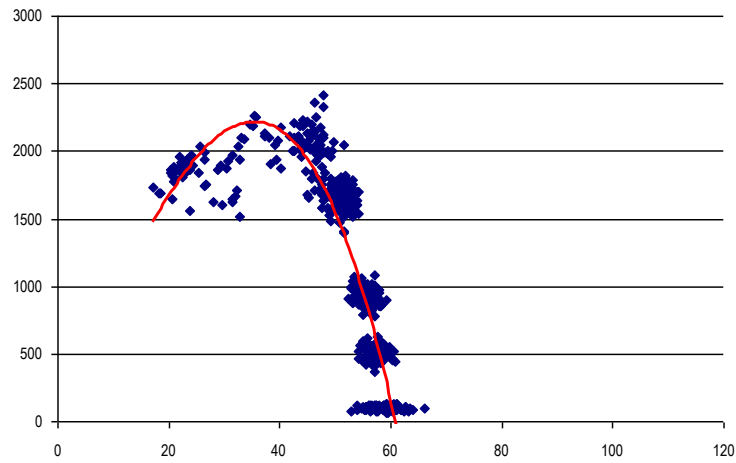


Figura 31 – Diagramma q-k, rampa (R9950)

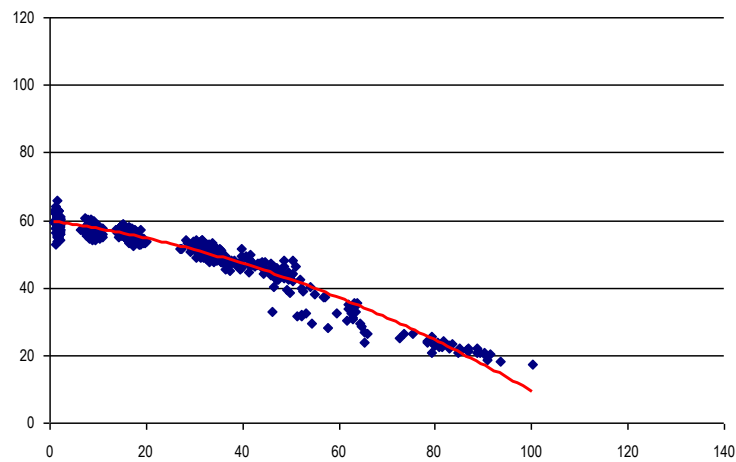
$$y = -0,0276x^3 + 0,208x^2 + 89,765x$$

$$R^2 = 0,8214$$

q-V_s**Figura 32 – Diagramma q-V_s, rampa (R9950)**

$$y = -0,0031x^2 - 0,188x + 59,594$$

$$R^2 = 0,9479$$

V_s-k**Figura 33 – Diagramma V_s-k, rampa (R9950)**

Si deducono il valore della capacità, $q_{max} \cong 2000 \text{ aeq/h}$, e il valore della velocità massima, $V_{max} \cong 60 \text{ Km/h}$, confermando quelli osservati dalla spira R1, con la strada principale sotto-satura.

3.1.2.3 Spira R1 con principale prossima alla saturazione

q-k

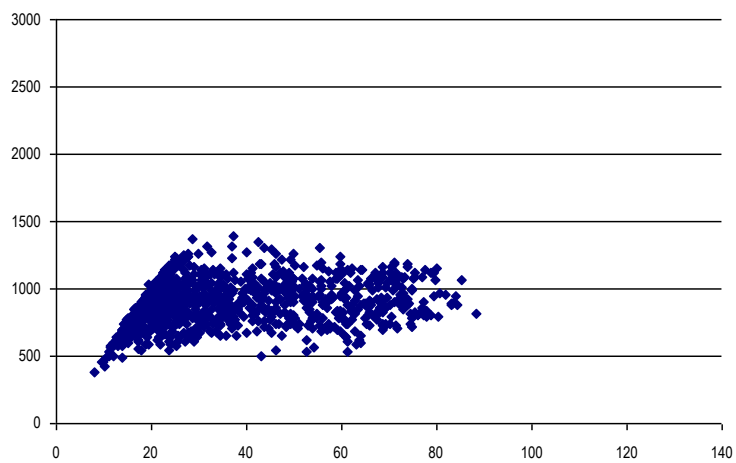


Figura 34 – Diagramma q-k, rampa (R1), principale prossima alla saturazione

q-V_s

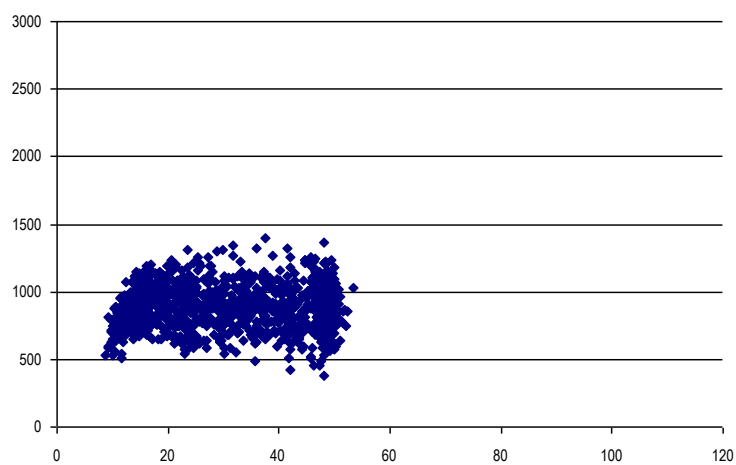


Figura 35 – Diagramma q-V_s, rampa (R1), principale prossima alla saturazione

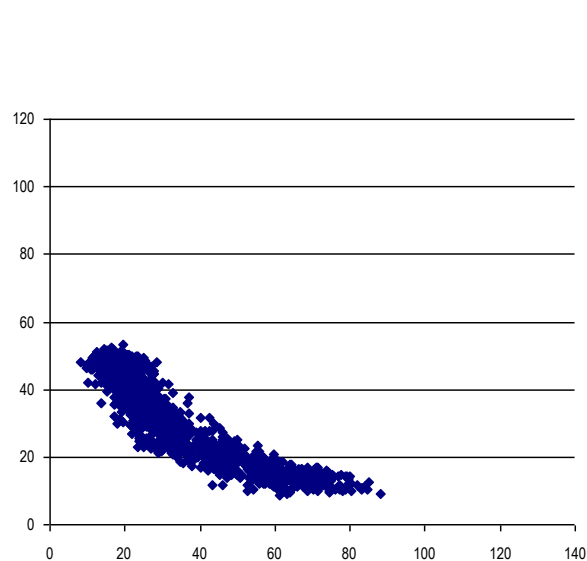


Figura 36 – Diagramma V_s-k , rampa (R1), principale prossima alla saturazione

È facilmente osservabile, dalle simulazioni animate, come l'incremento di flusso sulla strada principale complichino l'immissione dei veicoli provenienti dalla rampa, ne sembra conseguire un aumento della variabilità dei dati. Tale osservazione trae forza dal confronto dei diagrammi ottenuti nel caso della strada principale sotto-satura.

3.1.3 Curve di deflusso a valle del punto di innesto della rampa

Si presentano ora i grafici, della parte di infrastruttura cui si riferisce il paragrafo, con le relative equazioni delle curve interpolatrici, le quali rappresentano i diagrammi sperimentali (curve di deflusso).

3.1.3.1 Corsia 1

$$y = 0,0003x^3 - 1,5082x^2 + 114,09x$$
$$R^2 = 0,9106$$

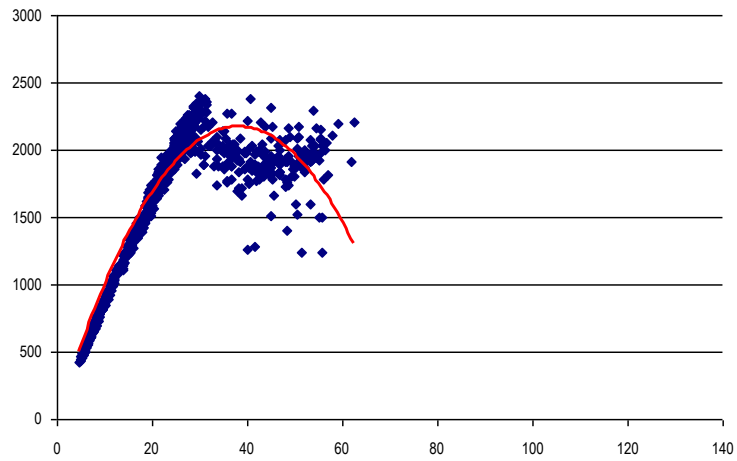
q-k

Figura 37 – Diagramma q-k per la corsia 1 (lane 1), valle

$$y = -0,0157x^3 + 1,3053x^2 + 18,884x$$
$$R^2 = 0,6628$$

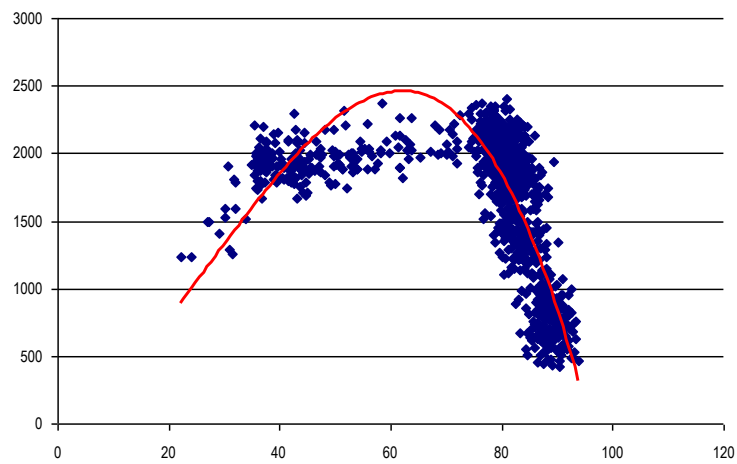
q-V_s

Figura 38 – Diagramma q-V_s per la corsia 1 (lane 1), valle

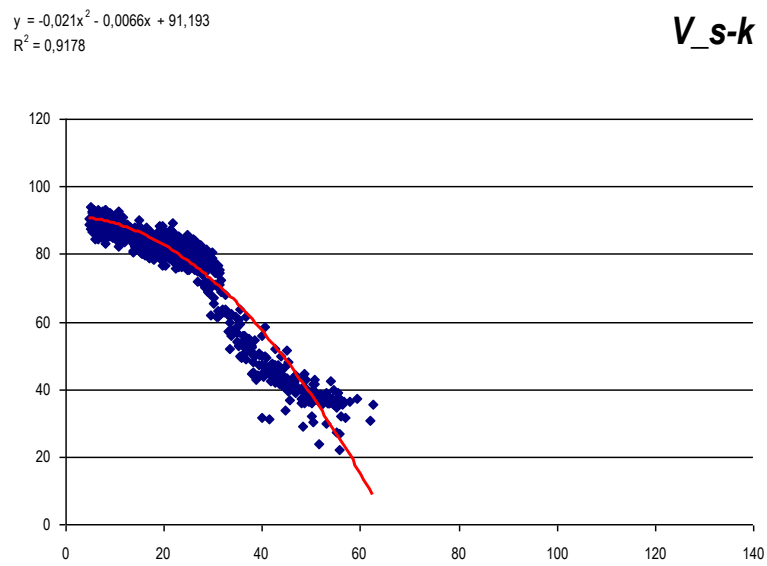


Figura 39 – Diagramma V_s-k per la corsia 1 (lane 1), valle

È possibile osservare un valore di capacità $q_{max} \cong 2200 \text{ aeq/h}$, e una velocità massima $V_{max} \cong 90 \text{ Km/h}$.

3.1.3.2 Corsia 2

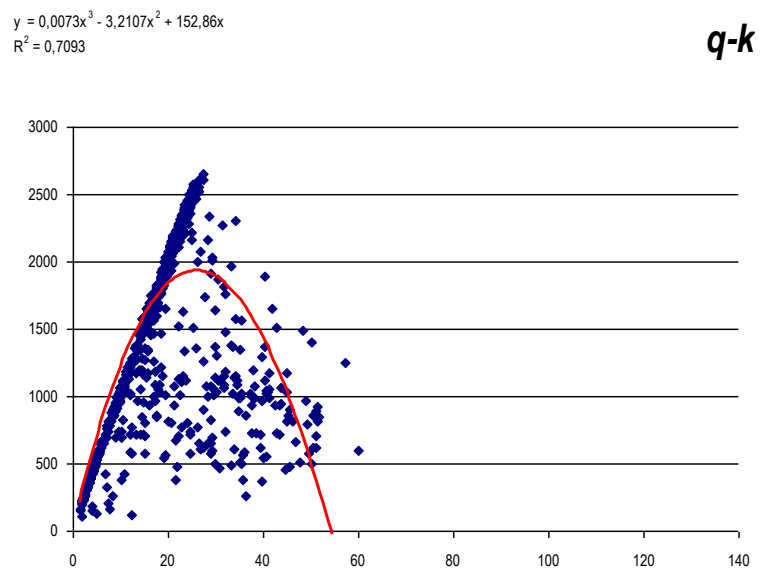


Figura 40 – Diagramma q-k per la corsia 2 (lane 2), valle

$$y = -0,0121x^3 + 1,5259x^2 - 14,107x$$

$$R^2 = 0,5168$$

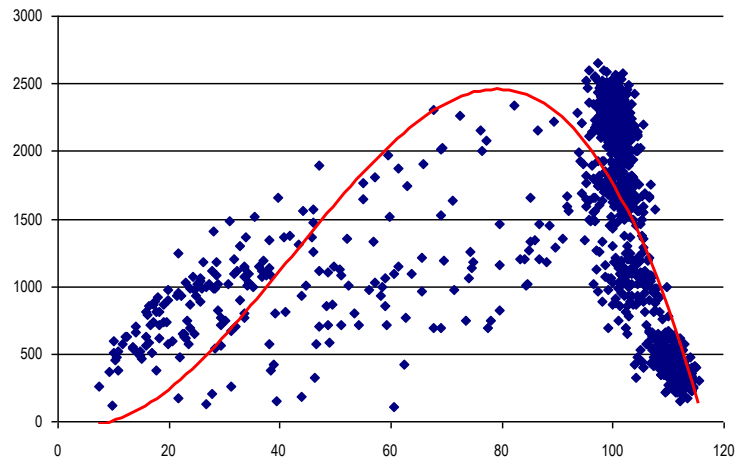
q-V_s

Figura 41 – Diagramma q-V_s per la corsia 2 (lane 2), valle

$$y = -0,0453x^2 + 0,0959x + 108,31$$

$$R^2 = 0,5725$$

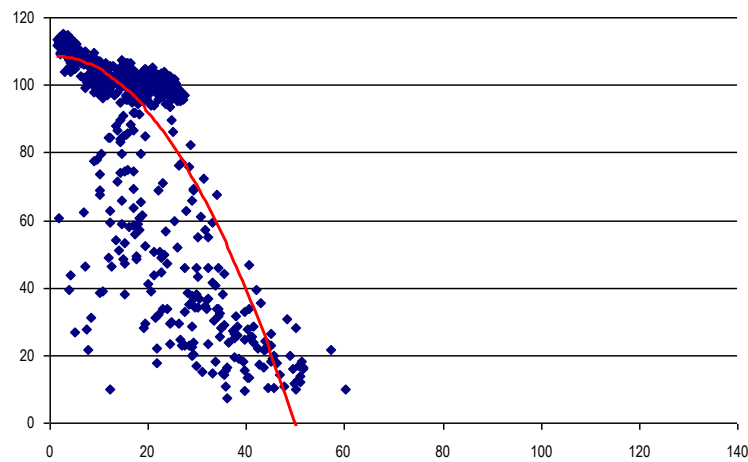
V_s-k

Figura 42 – Diagramma V_s-k per la corsia 2 (lane 2), valle

È possibile osservare un valore di flusso $q_{max} \cong 2500 \text{ aeq/h}$, e una velocità massima $V_{max} \cong 120 \text{ Km/h}$. Si osserva la particolare forma del ramo stabile nel diagramma q-V_s. Dunque il valore massimo del flusso è aumentato rispetto alla corsia 1, come pure la velocità massima, infatti il contributo dei flussi veicolari provenienti dalla rampa portano al limite la strada.

Nonché sembra valere, in parte, quanto già affermato a proposito della corsia 2, a monte del punto di innesto della rampa sulla strada principale: la corsia 2 è la corsia di sorpasso, perciò gli utenti più aggressivi, in generale, è presumibile che viaggino su di essa, nonché è presumibile che gli utenti più aggressivi della corsia 1 compiano un sorpasso degli utenti più lenti che impiegano la stessa corsia portandosi quindi sull'altra per brevi o lunghi tratti, anche in base all'entità della saturazione.

3.1.4 Riepilogo dei valori dedotti dalle curve di deflusso

Nella seguente tabella, si riportano i valori dedotti dalle curve di deflusso descritti nei vari commenti alle curve stesse.

Tabella 11 – Riepilogo dei valori dedotti dai diagrammi fondamentali

<i>parte dell'infrastruttura</i>	<i>corsia</i>	q_{max} [a- eq/h]	V_{max} [Km/h]
strada principale, a monte del punto di innesto della rampa	1	2200	110
	2	2200	120
rampa	1	2000	60
strada principale, a valle del punto di innesto della rampa	1	2200	90
	2	2500	120

3.2 Punti sperimentali (caso con incidente)

3.2.1 Scenari

Si riportano ora, per comodità, gli scenari relativi al caso dell'incidente e le localizzazioni adottate per quest'ultimo.

Per semplificare i riferimenti alle varie situazioni, si introduce il termine *codScenario* secondo quanto mostrato nella successiva tabella:

Tabella 12 – Veicoli caricati in rete per la simulazione dell'incidente

scenario tipo	flussi veicolari			codScenario
	strada principale monte [v/h]	rampa [v/h]	strada principale valle [v/h]	
flusso veicolare proveniente dalla rampa costane e flusso veicolare proveniente dalla parte di monte della strada principale variabile	1000	900	1900	1
	2000	900	2900	2
	3000	900	3900	3

Le localizzazioni scelte per l'incidente sono le seguenti (si veda anche Figura 15 – Localizzazioni dell'incidente con riferimento alle relative spire):

- 1) 200 m, a *monte* del punto di innesto della rampa, sulla *strada principale*, in corrispondenza della spira MLa002 (per semplicità, si chiami questa situazione **m200**);
- 2) 100 m, a *monte* del punto di innesto della rampa, sulla *rampa*, in corrispondenza della spira R01 (per semplicità, si chiami questa situazione **r100**);
- 3) 200 m, a *valle* del punto di innesto della rampa, sulla *strada principale*, in corrispondenza della spira MZ008 (per semplicità, si chiami questa situazione **v200**).

Questa volta, al fine di ottenere i punti sperimentali, cioè le grandezze densità K , flusso q e velocità media nello spazio V_s , l'aggregazione dei dati è avvenuta sul minuto.

3.2.2 Aggiornamento anomalie spire virtuali

Qualora si verifichi un blocco della circolazione o un incidente, e, in generale, ogni qualvolta che si ha a che fare con veicoli fermi su una spira, si incontra un limite importante dello strumento: se un veicolo è fermo sulla spira, allora esso non viene rilevato, creando un “buco” nel dataset. Dunque, avendo aggregato i dati sul minuto per gli scenari relativi agli incidenti, ci saranno dei minuti in cui non è stato possibile osservare i dati sperimentali offerti dal traffico. Altrettanto si verifica quando, per un certo intervallo di tempo, nessuno veicoli passa sopra ad una spira (situazione che si

verifica immediatamente a valle di un incidente, in quanto bloccata la corsia a monte dai veicoli incidentati).

Allora per completare il dataset è necessario attribuire dei valori ai dati nulli. Tale aggiornamento è stato realizzato, imponendo a valle dell'incidente valori nulli alle grandezze q , K e V_s , altresì a monte dello stesso si sono nuovamente imposti valori nulli a q e V_s mentre a K si sono attribuiti valori che sono un compromesso tra i massimi valori mediamente osservati per ogni codScenario e i corrispondenti valori relativi alle curve del deflusso (riferimento alle linee di tendenza). Tale completamento del dataset è stato automatizzato sfruttando delle apposite query create in Access, con le quali, per l'appunto, si sono calcolati i valori massimi mediamente osservati della densità, per poi adottarli nell'aggiornamento del relativo dato mancante.

L'utilità di avere il dataset "senza buchi" è quella di poter seguire in maniera adeguata lo stato anomalo indotto sul traffico dal verificarsi dell'incidente.

3.2.3 Andamenti spaziali delle grandezze fondamentali durante l'incidente

Nei successivi paragrafi verranno mostrati gli andamenti spaziali delle grandezze appena citate, per ogni localizzazione dell'incidente (m200, r100, v200), per ogni codScenario (1, 2, 3), per ogni corsia (L1, L2).

Tali andamenti sono stati ottenuti mediando i valori delle grandezze, per ogni spira (§2.7), per ogni codScenario, per il periodo in cui persiste l'incidente (20').

Dalla letteratura tecnica si riporta la seguente figura (Škorput, Sadko, & Niko, 2010), dove è possibile notare, a valle del punto in cui è localizzato l'incidente, l'aumento della velocità V_s e il calo della densità K , mentre viceversa si verifica a monte:

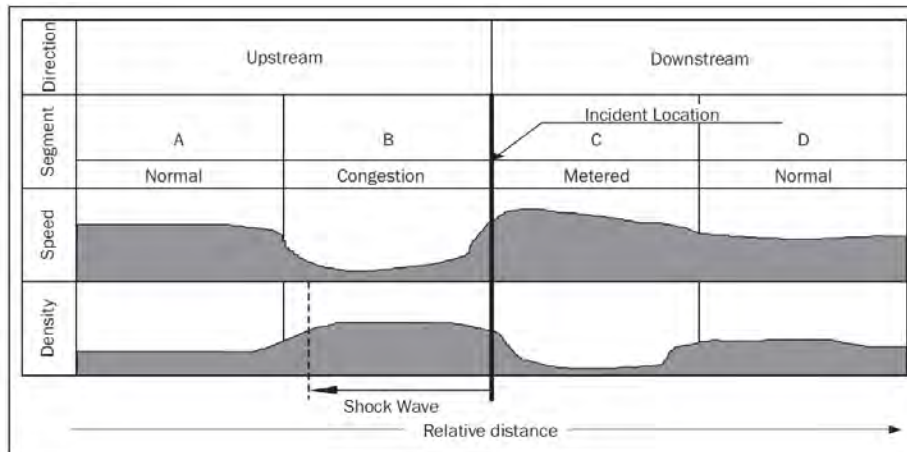
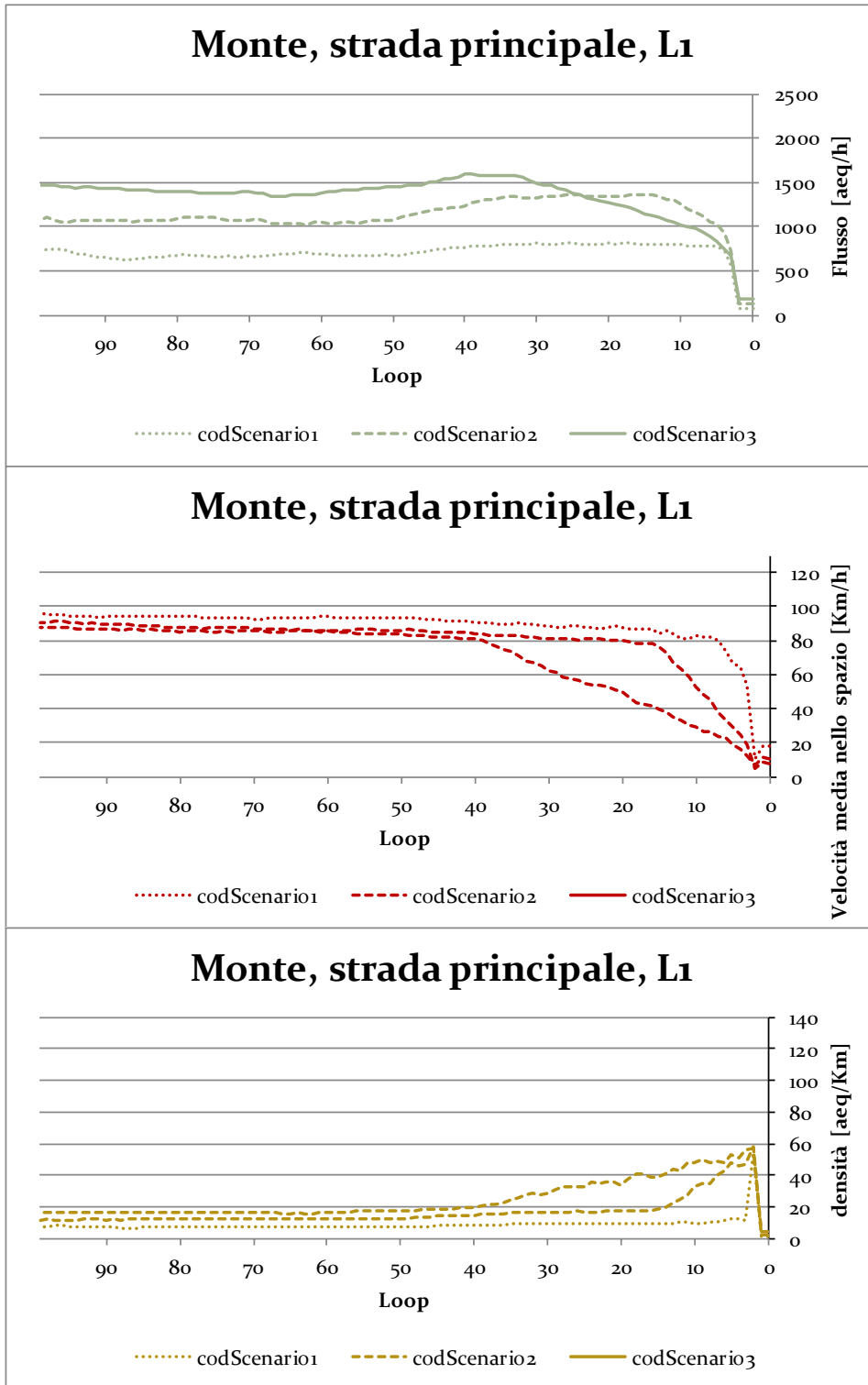
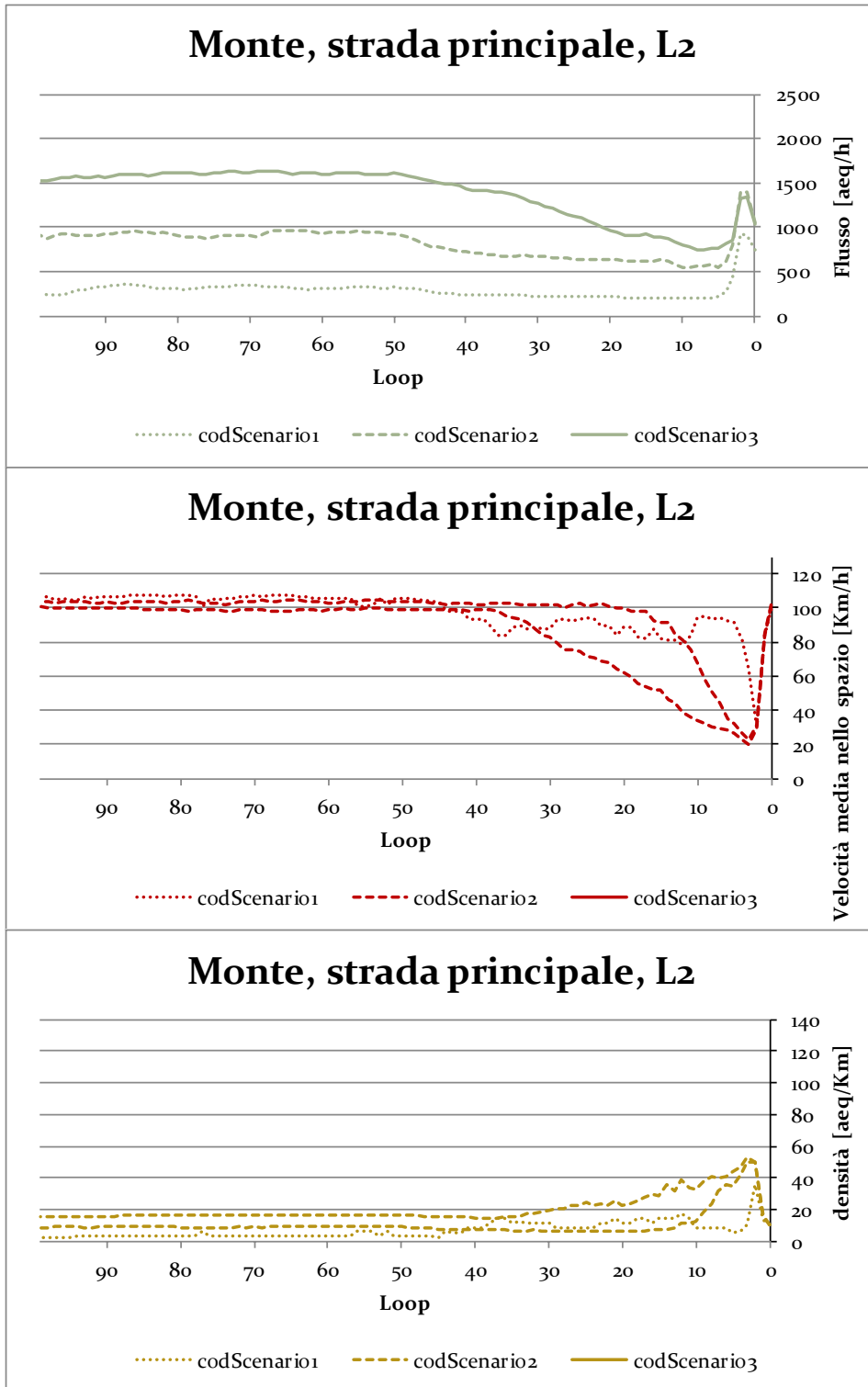


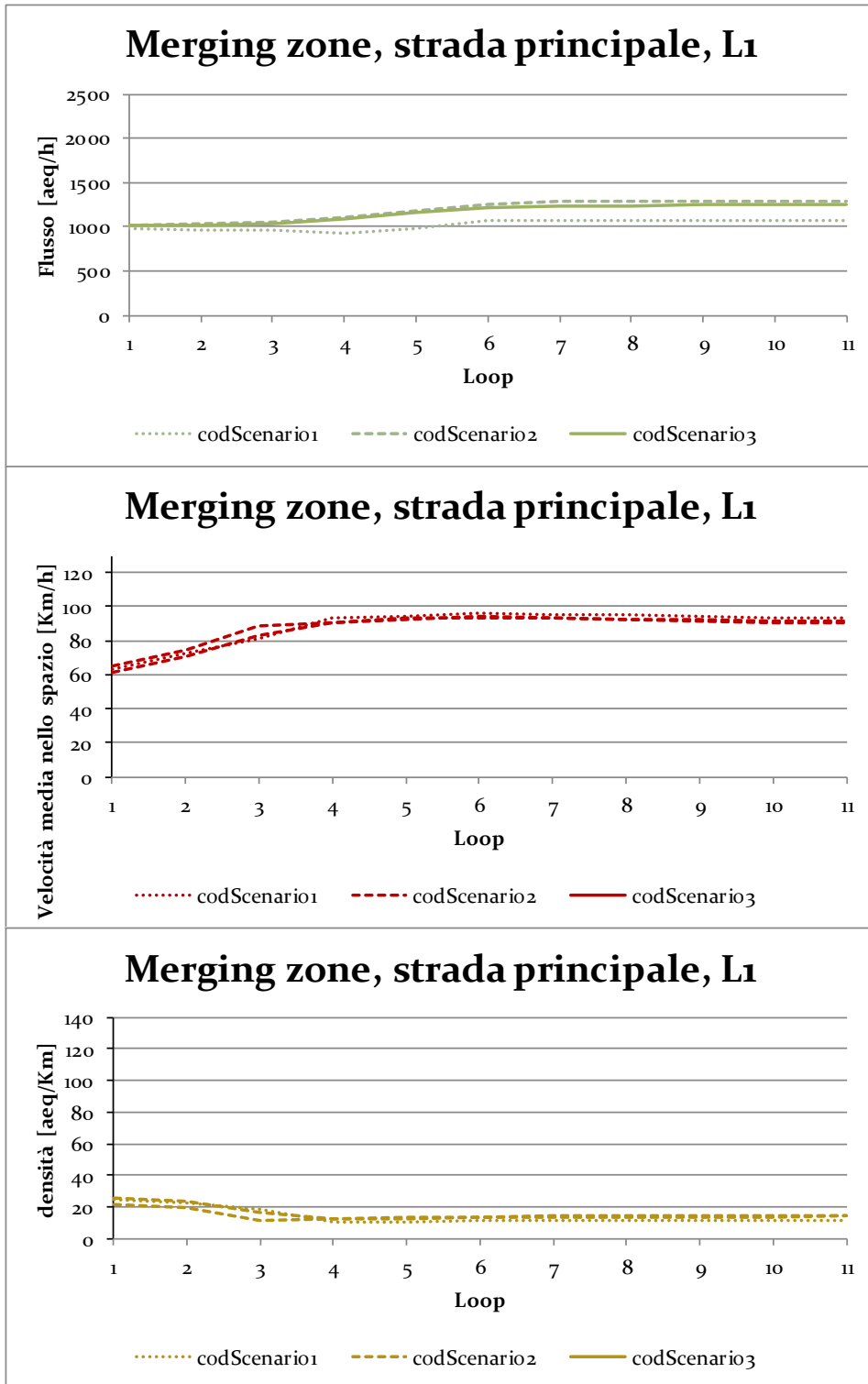
Figura 43 – Caratteristiche delle grandezze densità e velocità media nello spazio durante un incidente

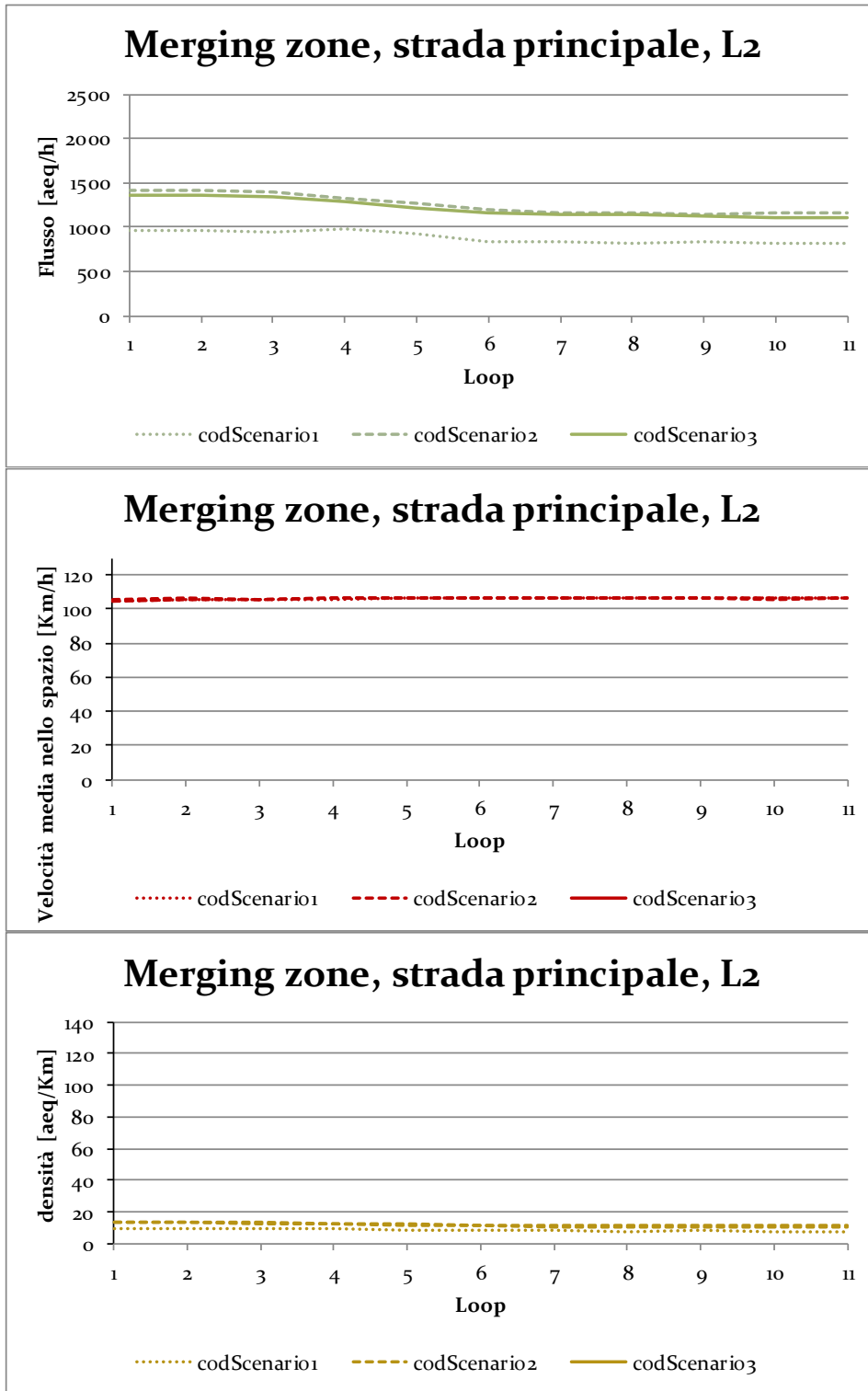
Nei grafici proposti di seguito sarà possibile osservare proprio questa peculiarità. Nonché, prestando attenzione, all'incremento di densità a monte dell'incidente, è possibile avere una informazione qualitativa sulla lunghezza delle code che si vengono a creare e all'entità crescente di queste con l'aumento del flusso (codScenario).

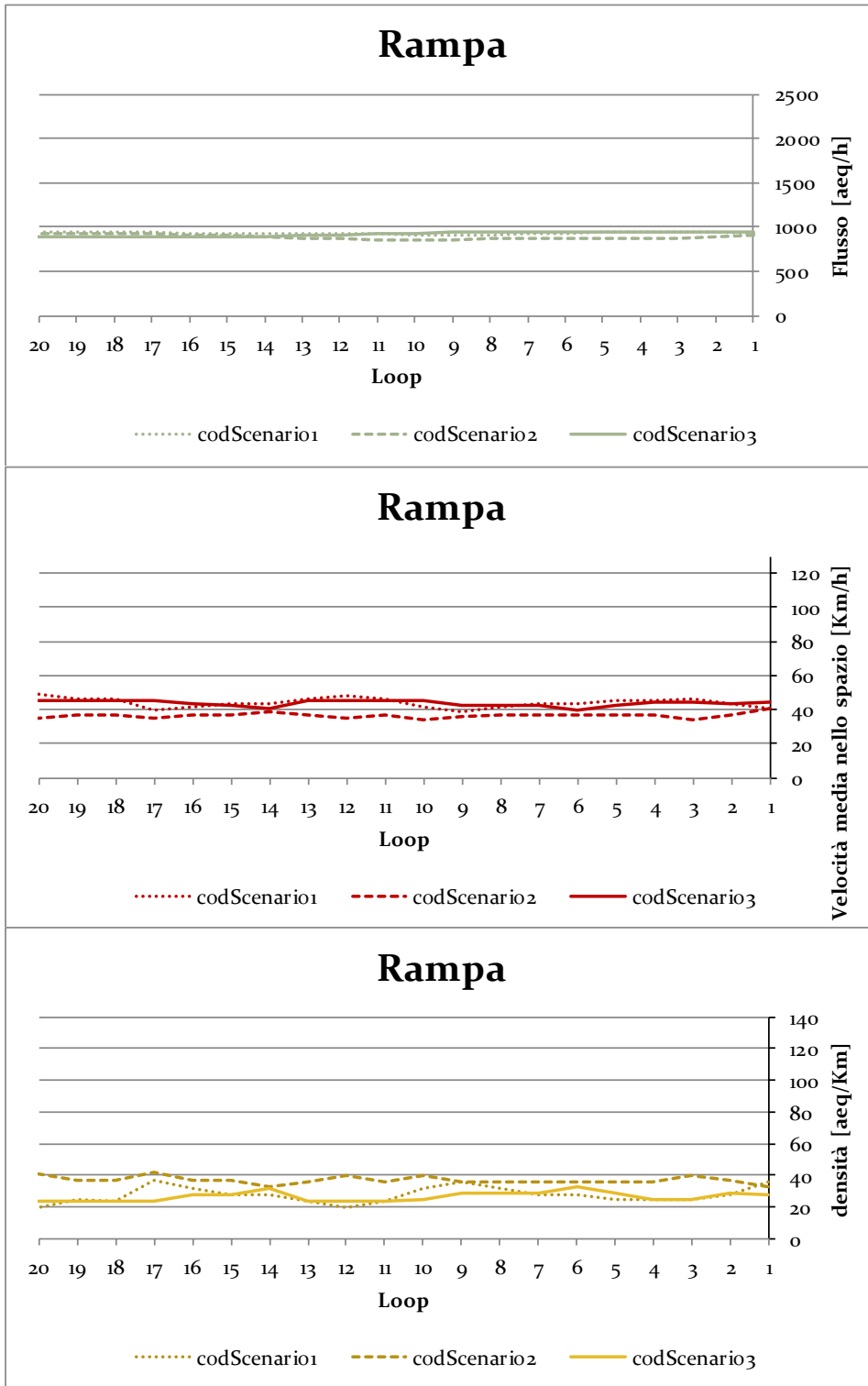
3.2.3.1 Incidente m200

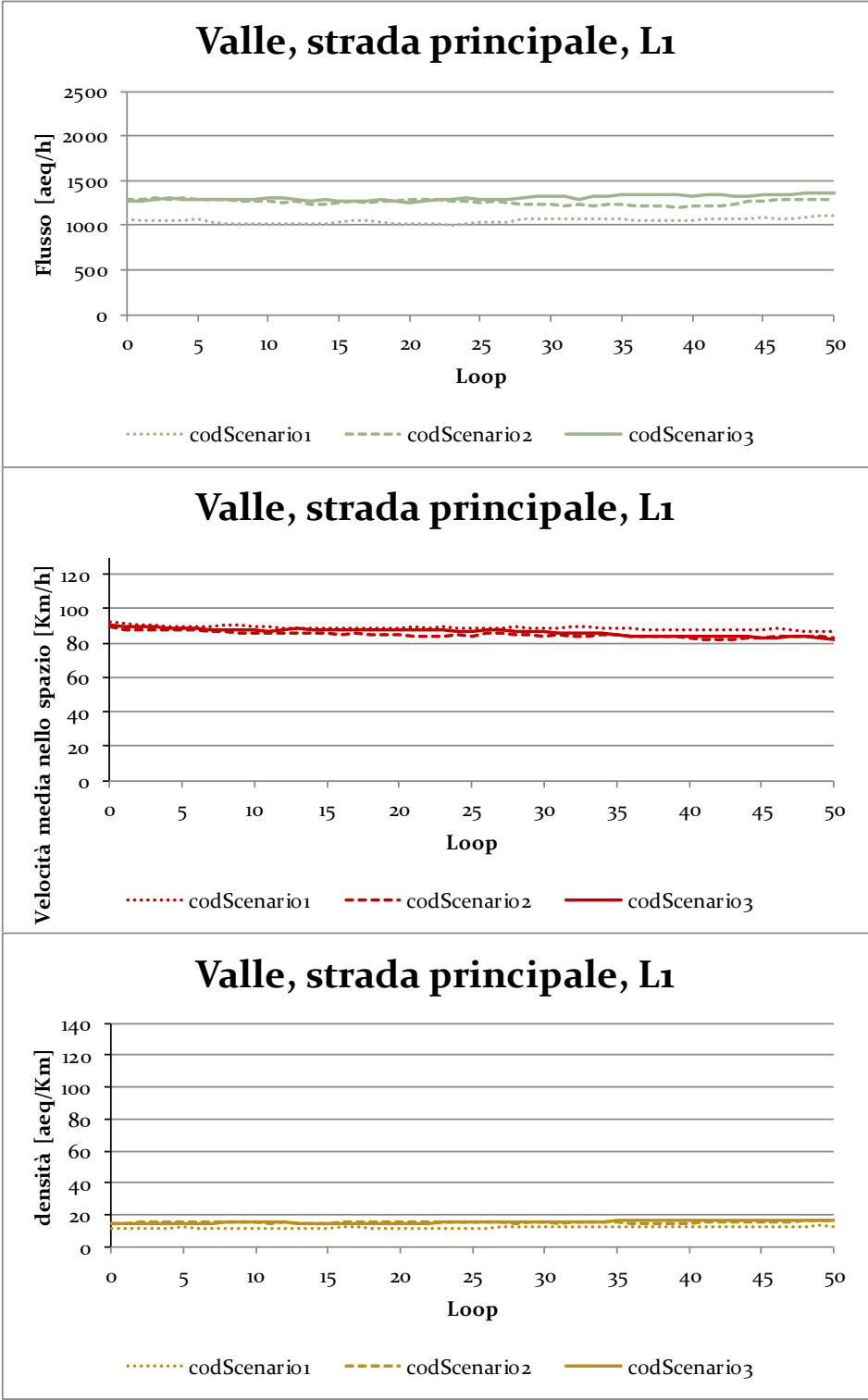


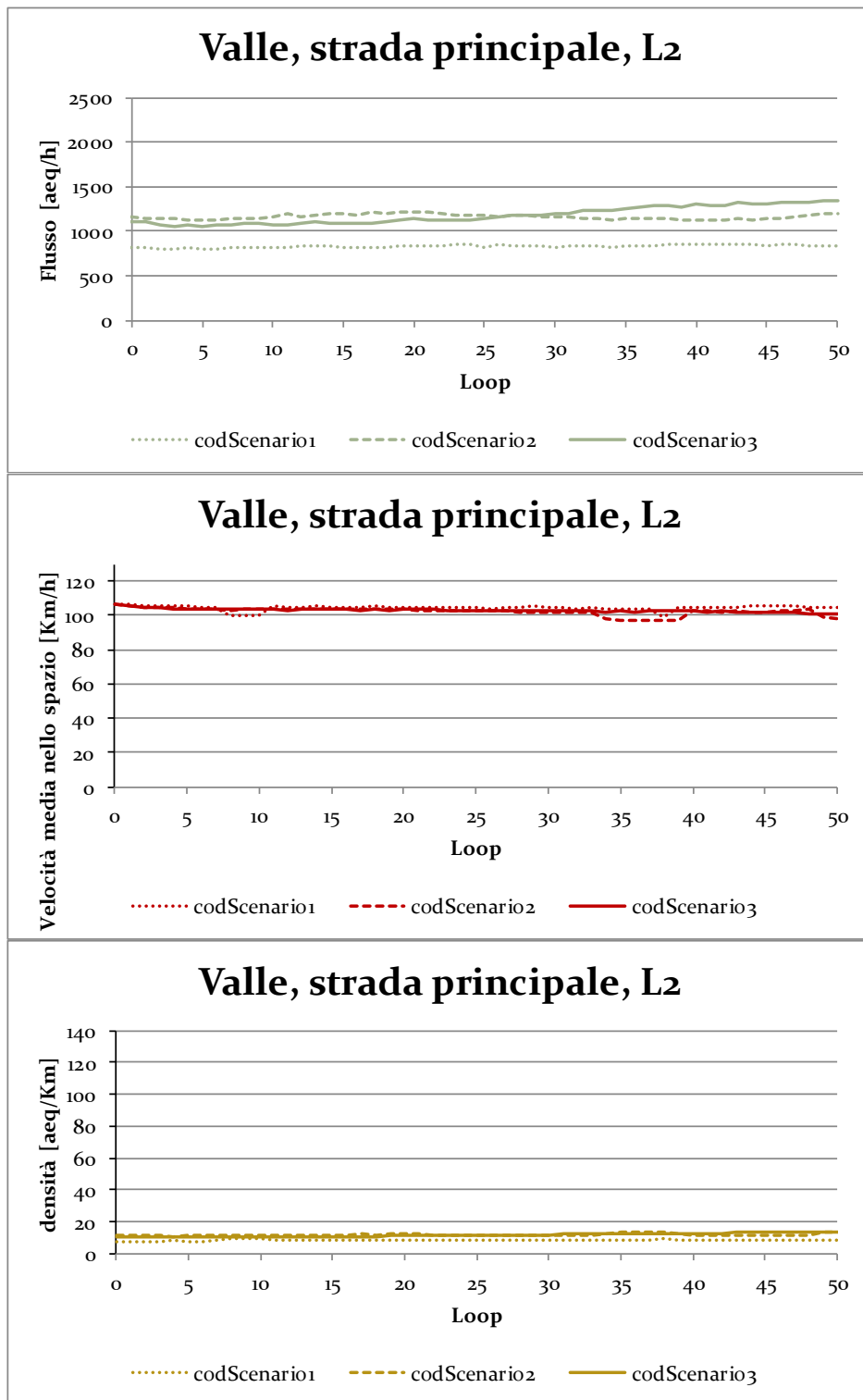




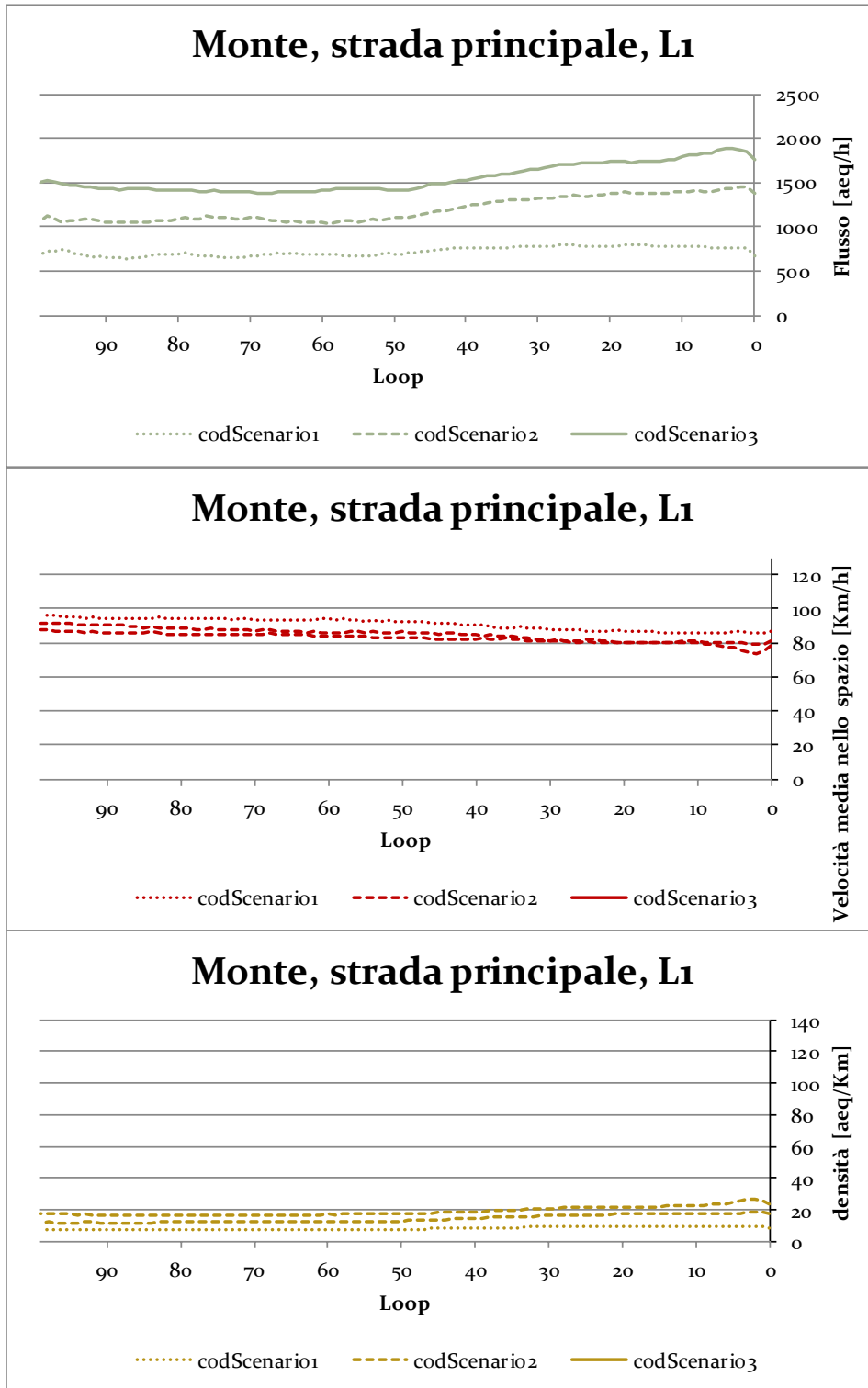


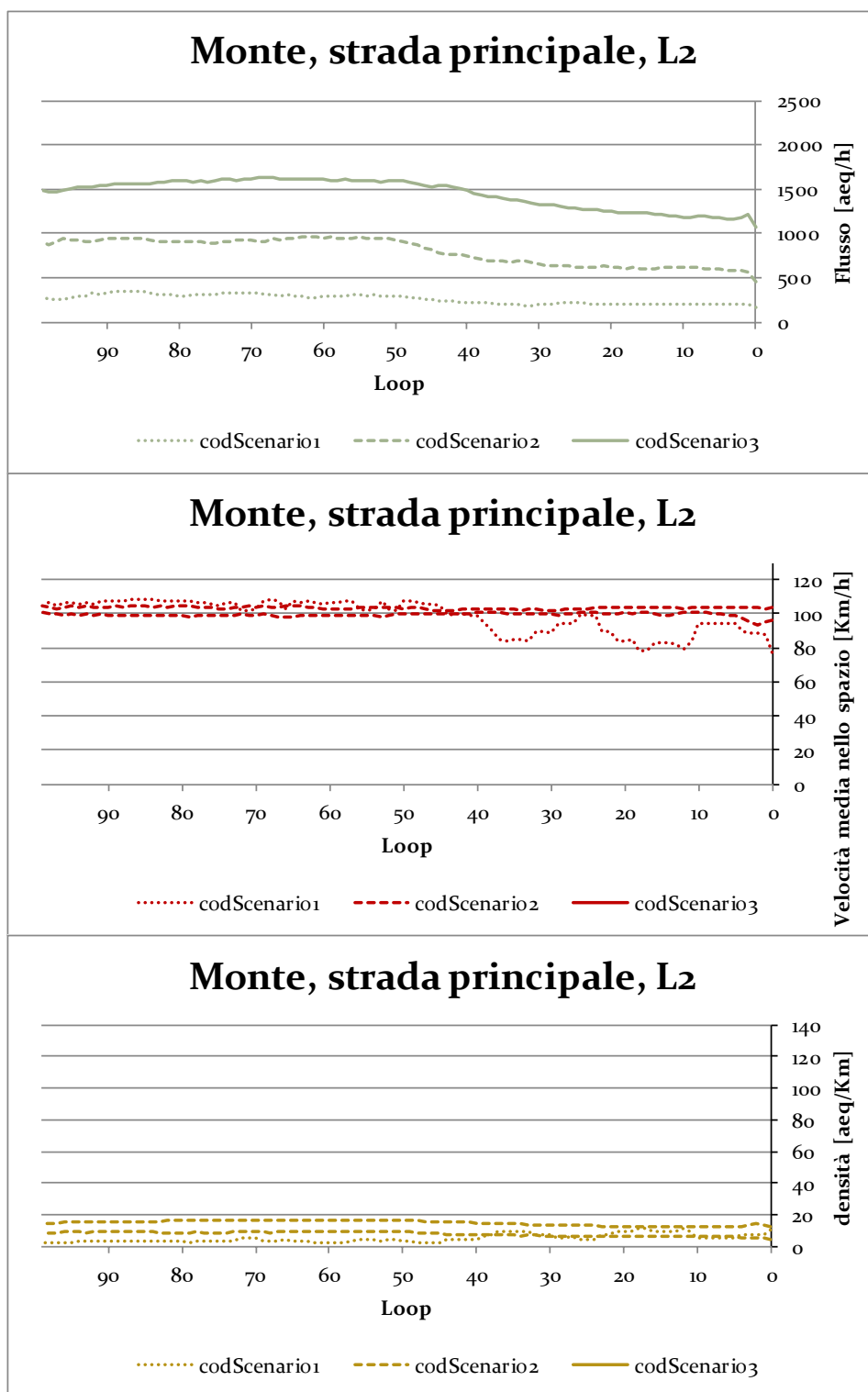


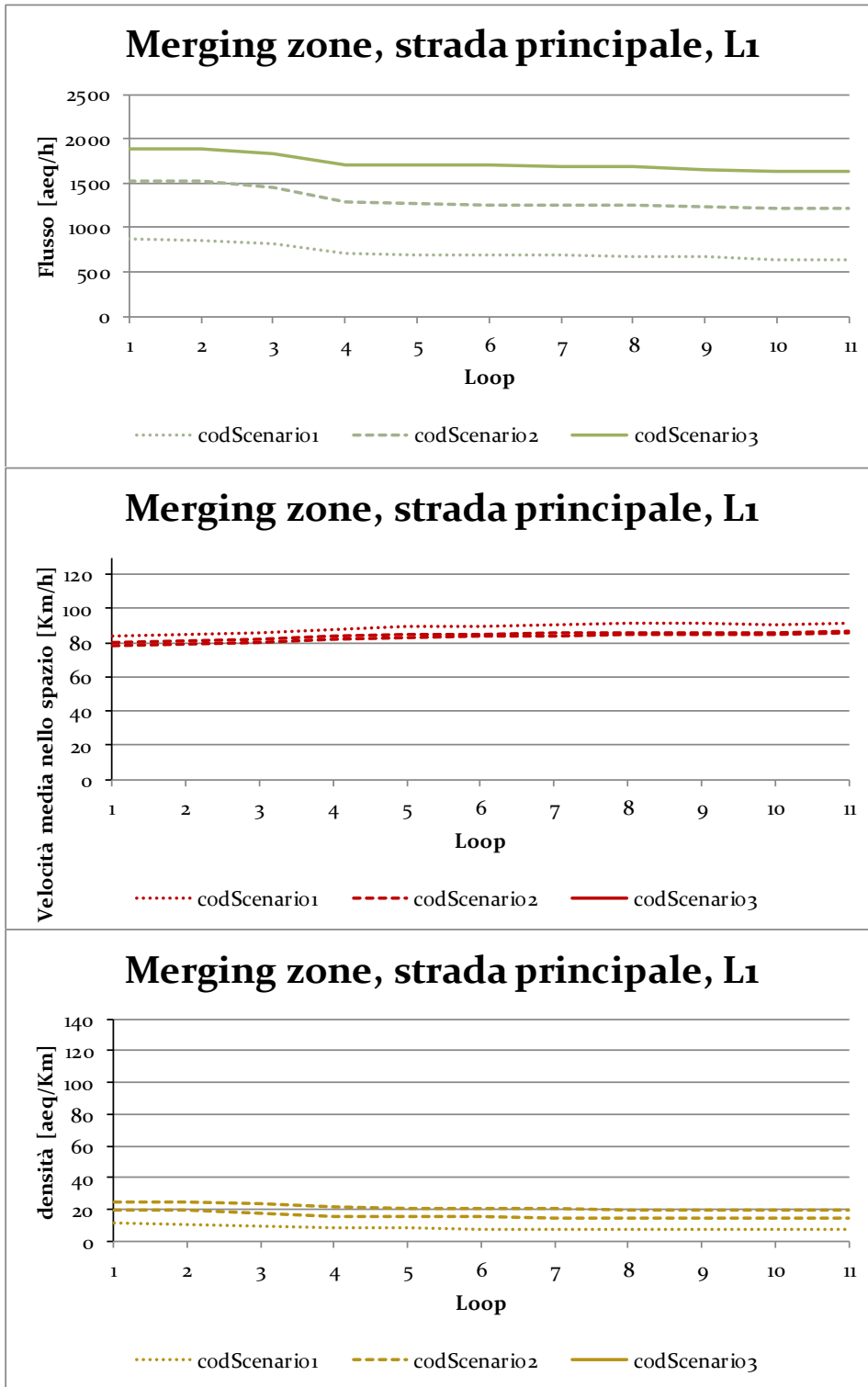


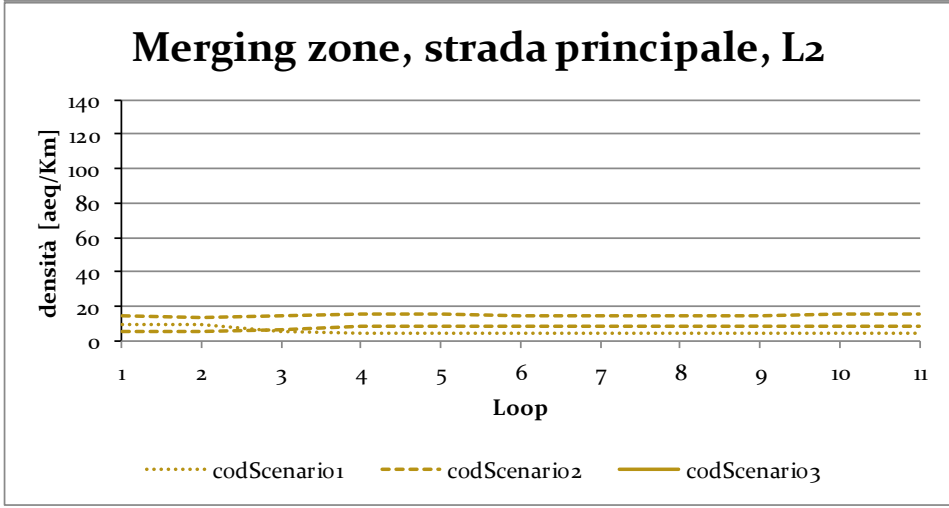
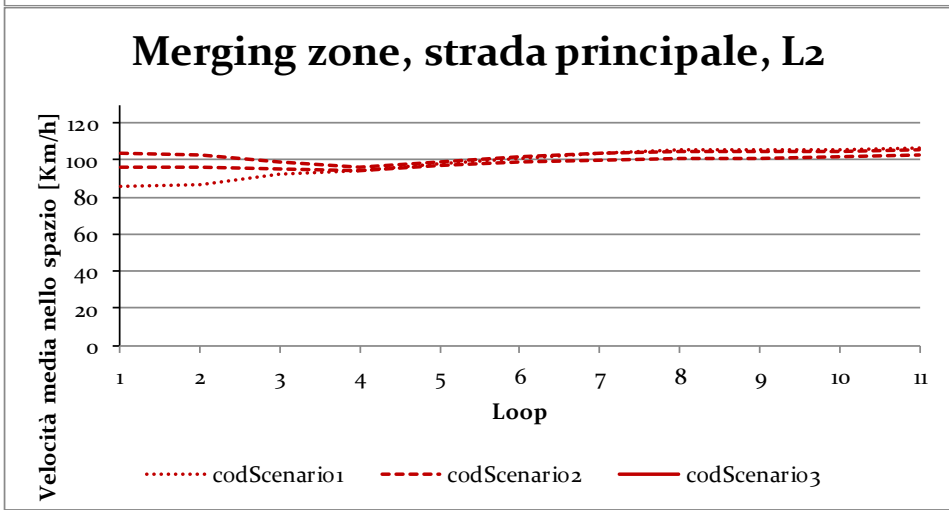
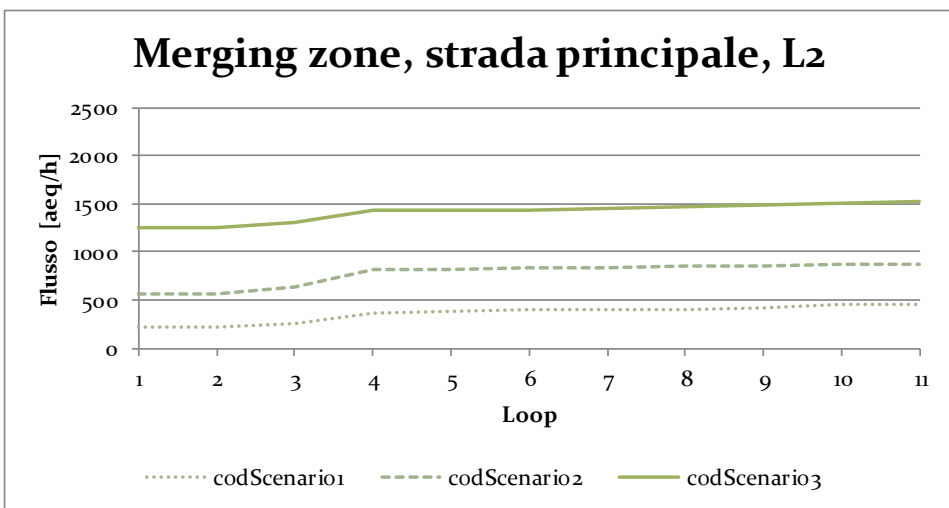


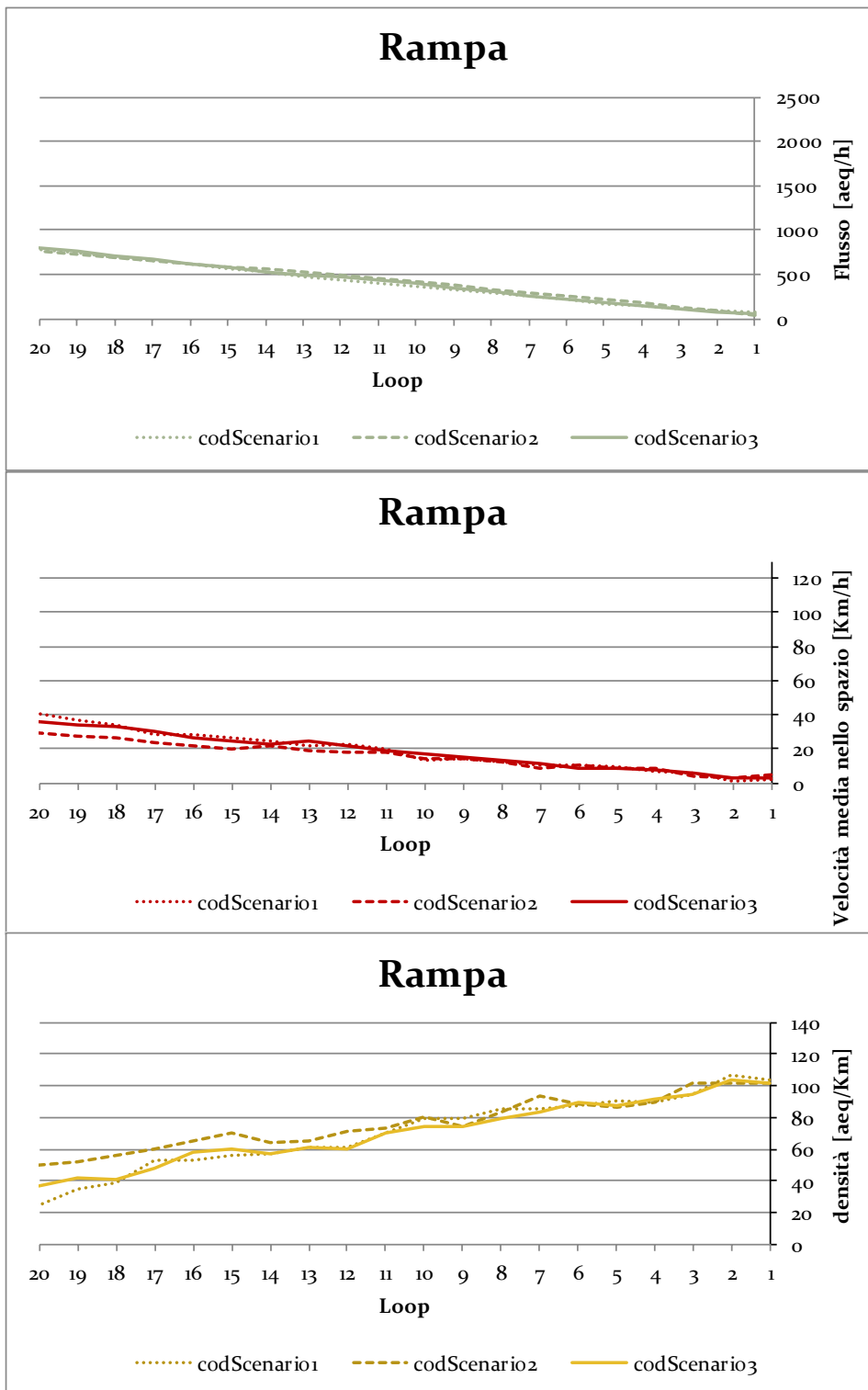
3.2.3.2 Incidente r100

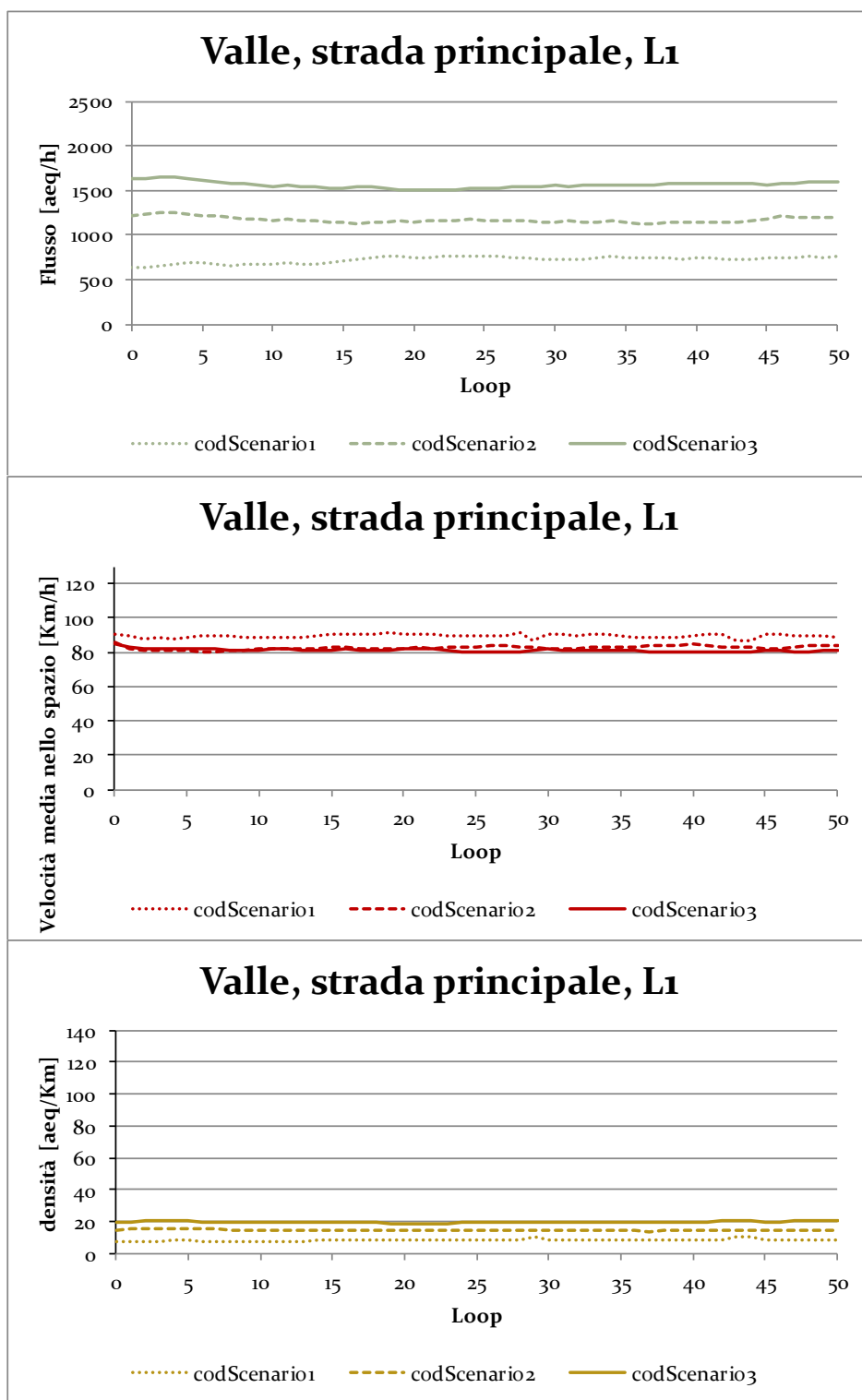


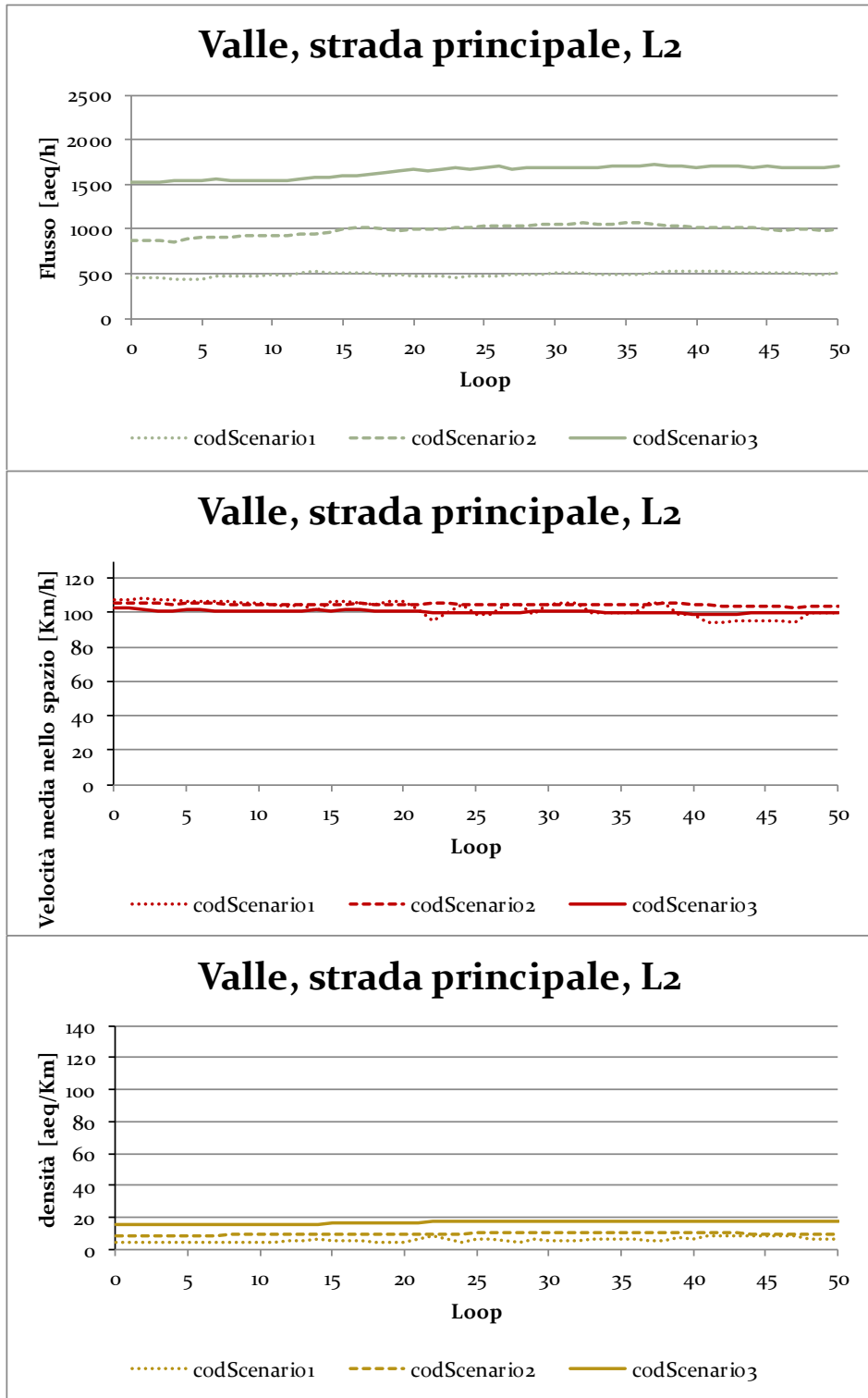




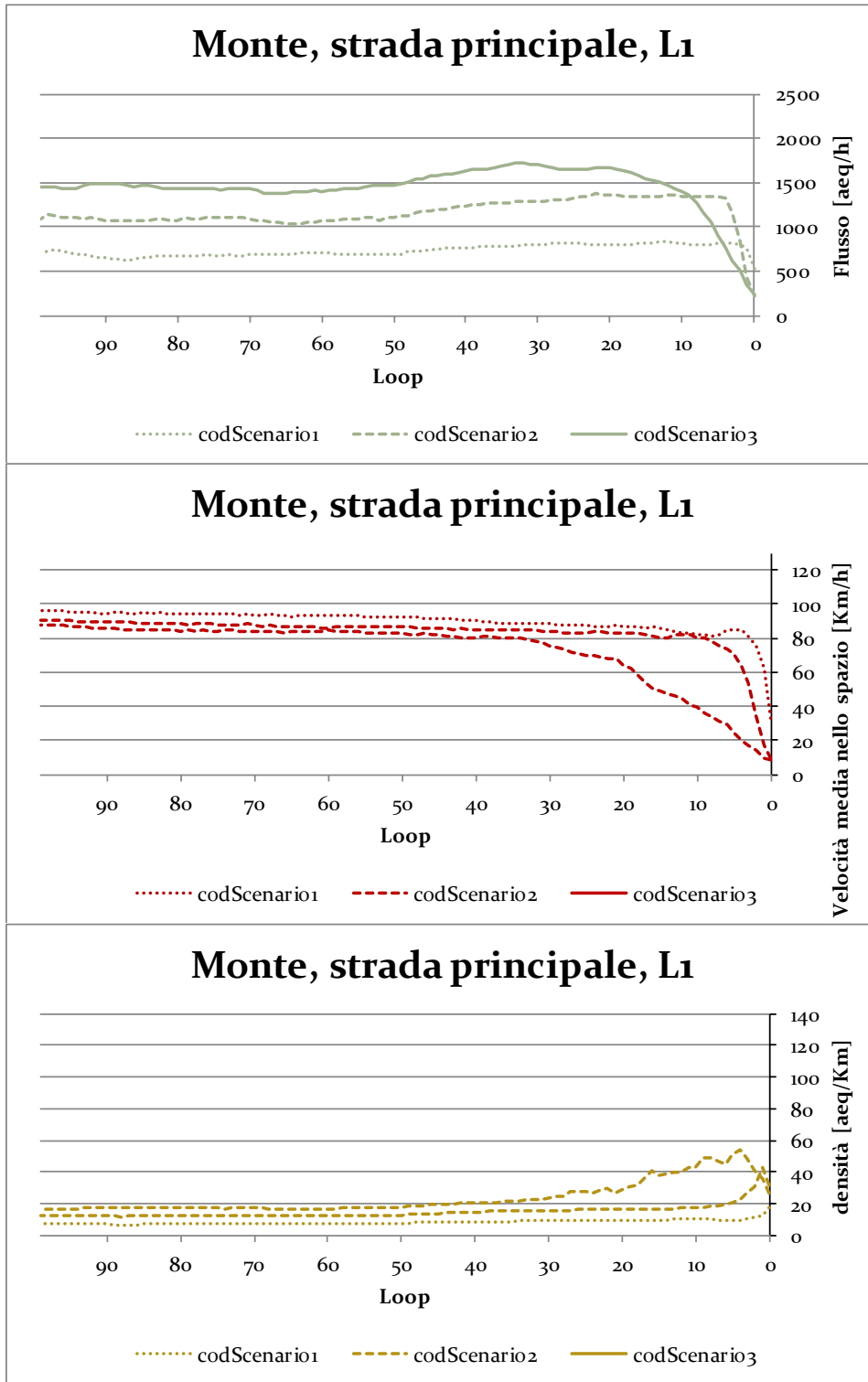


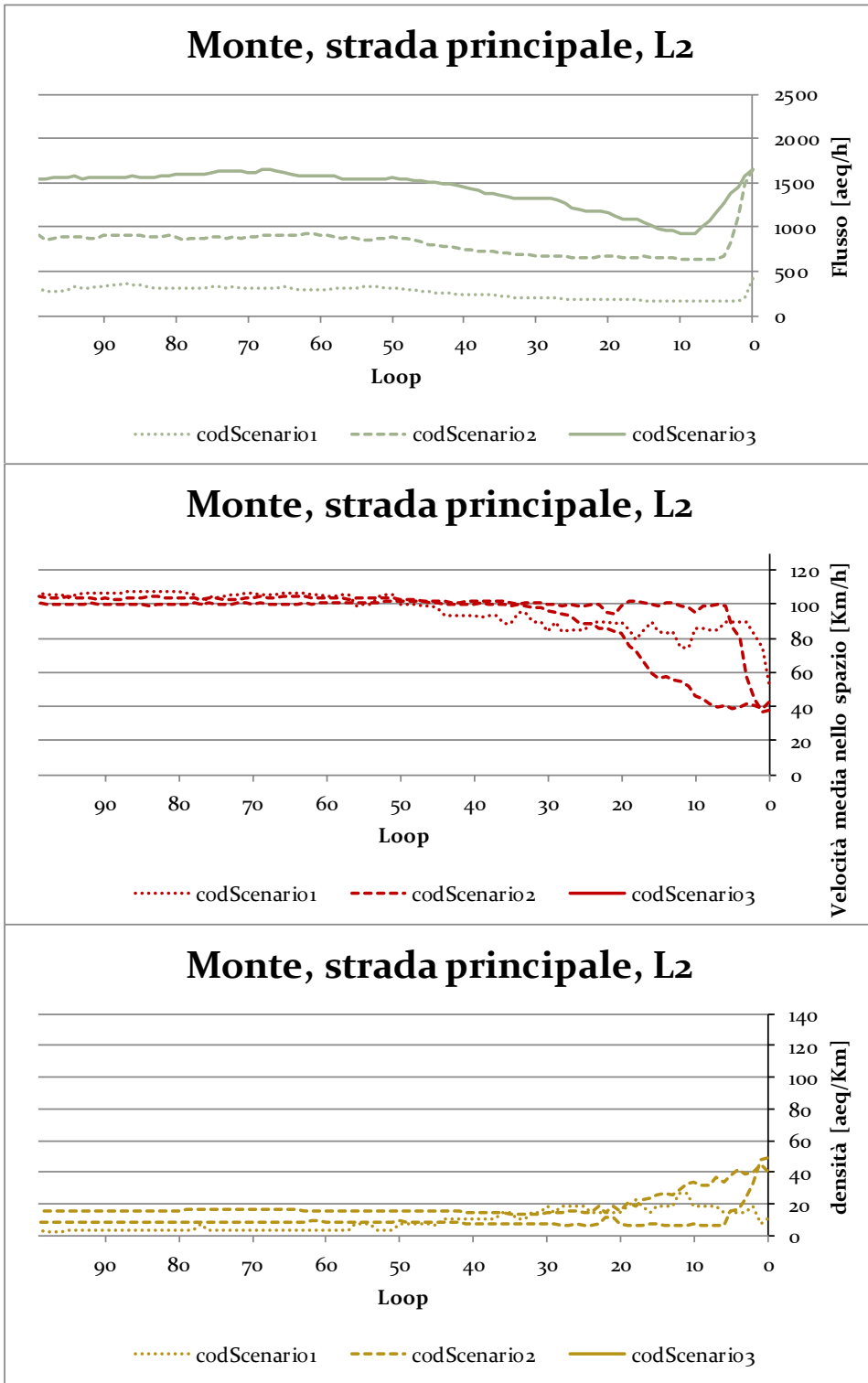


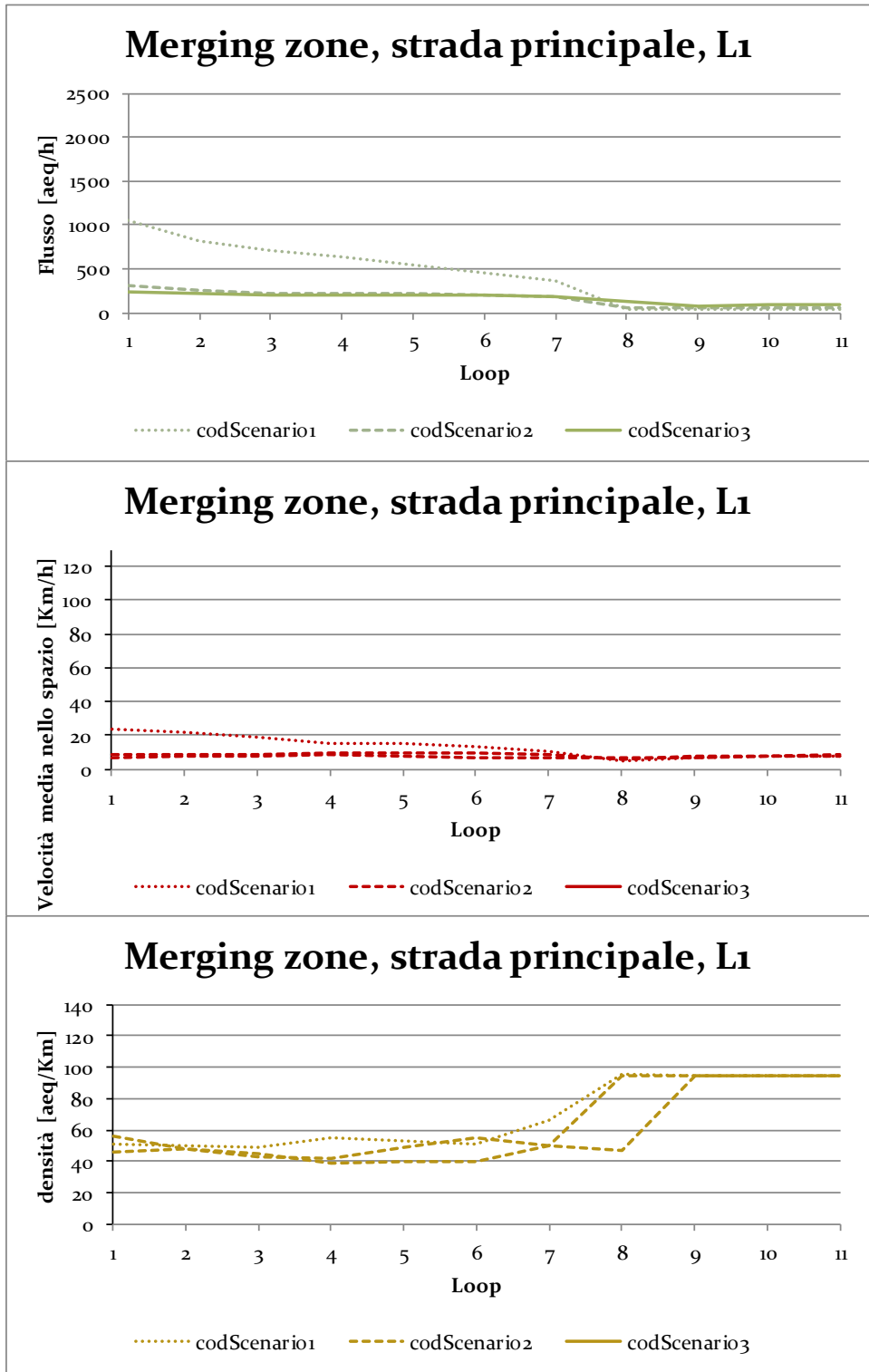


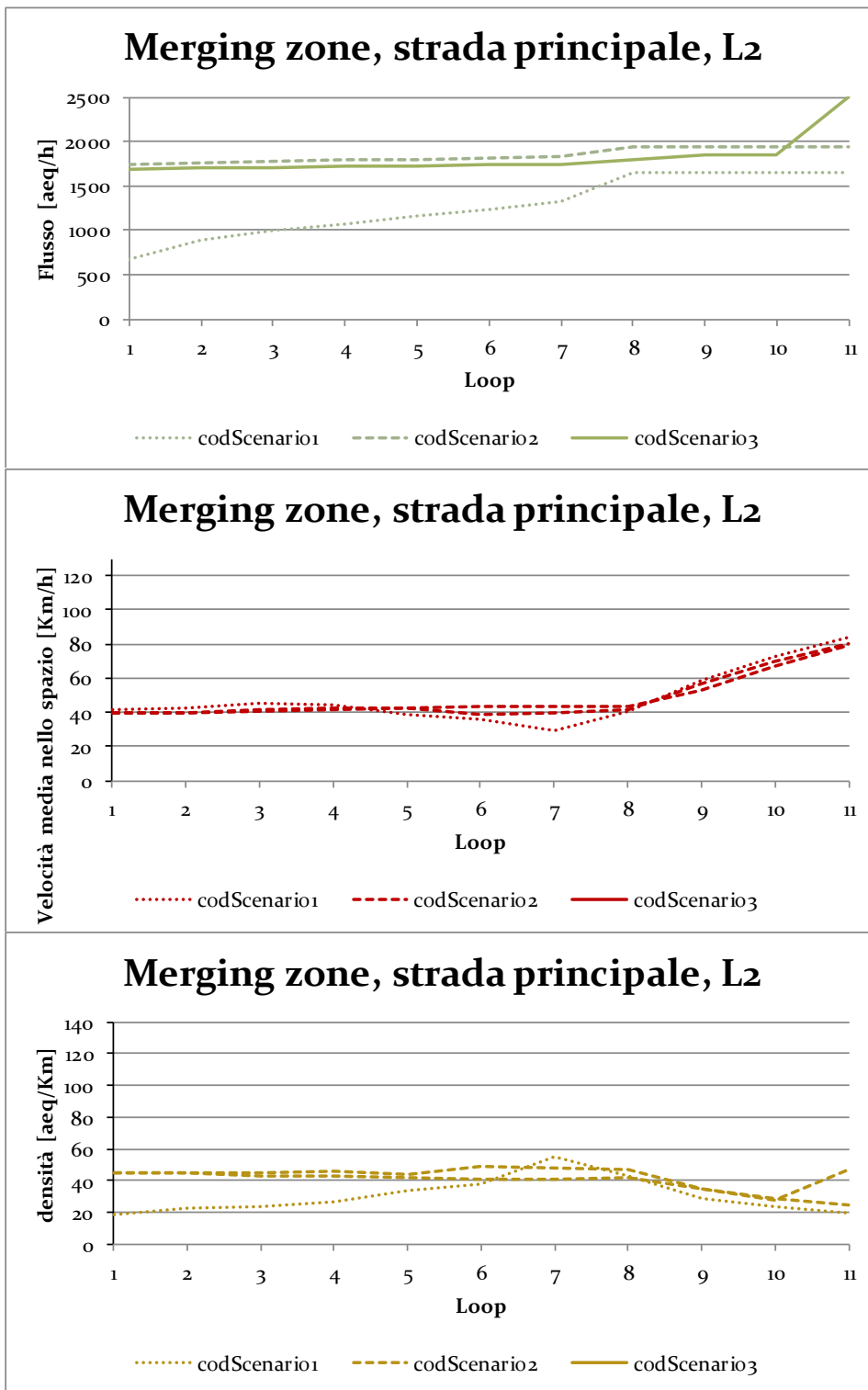


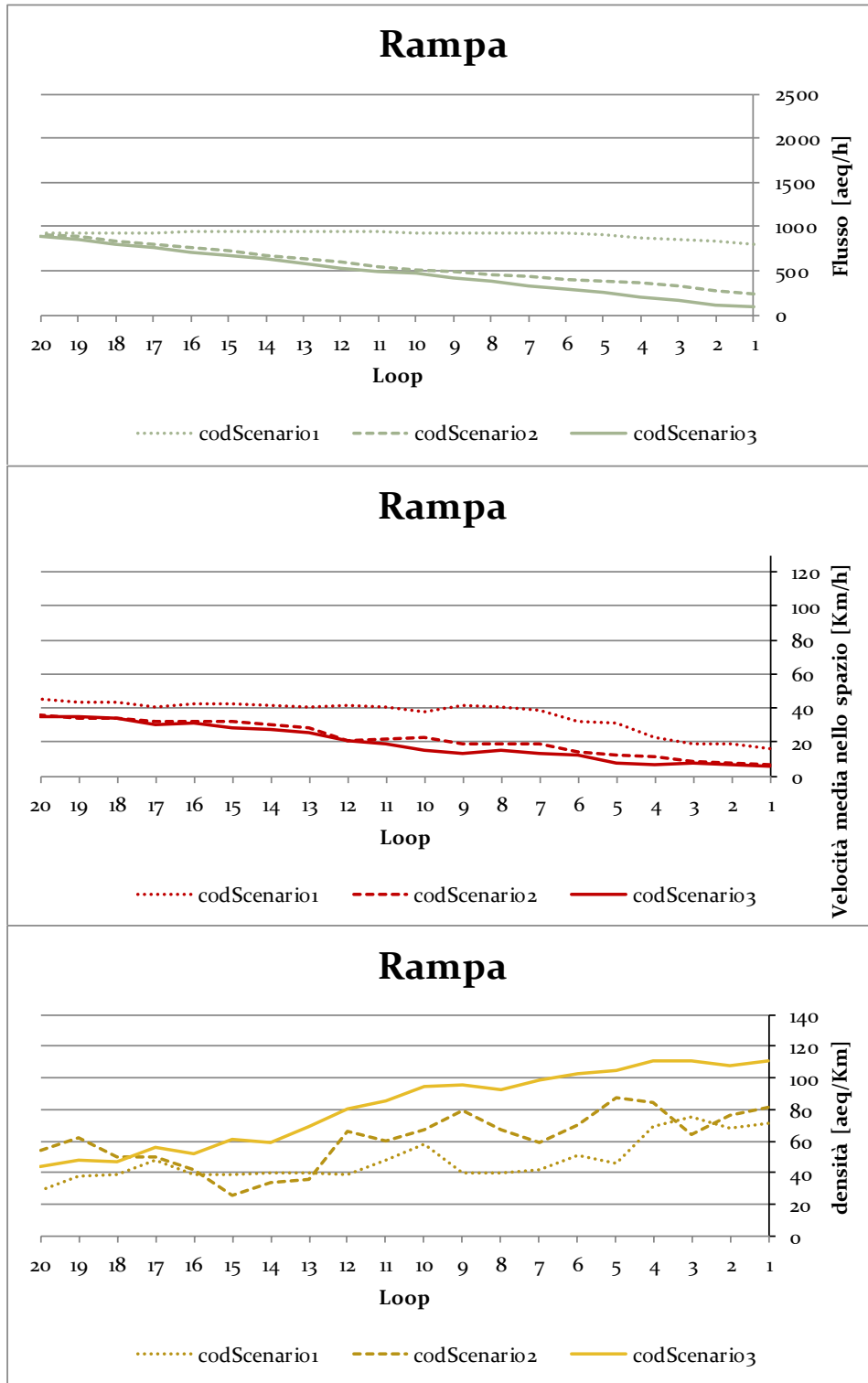
3.2.3.3 Incidente v200

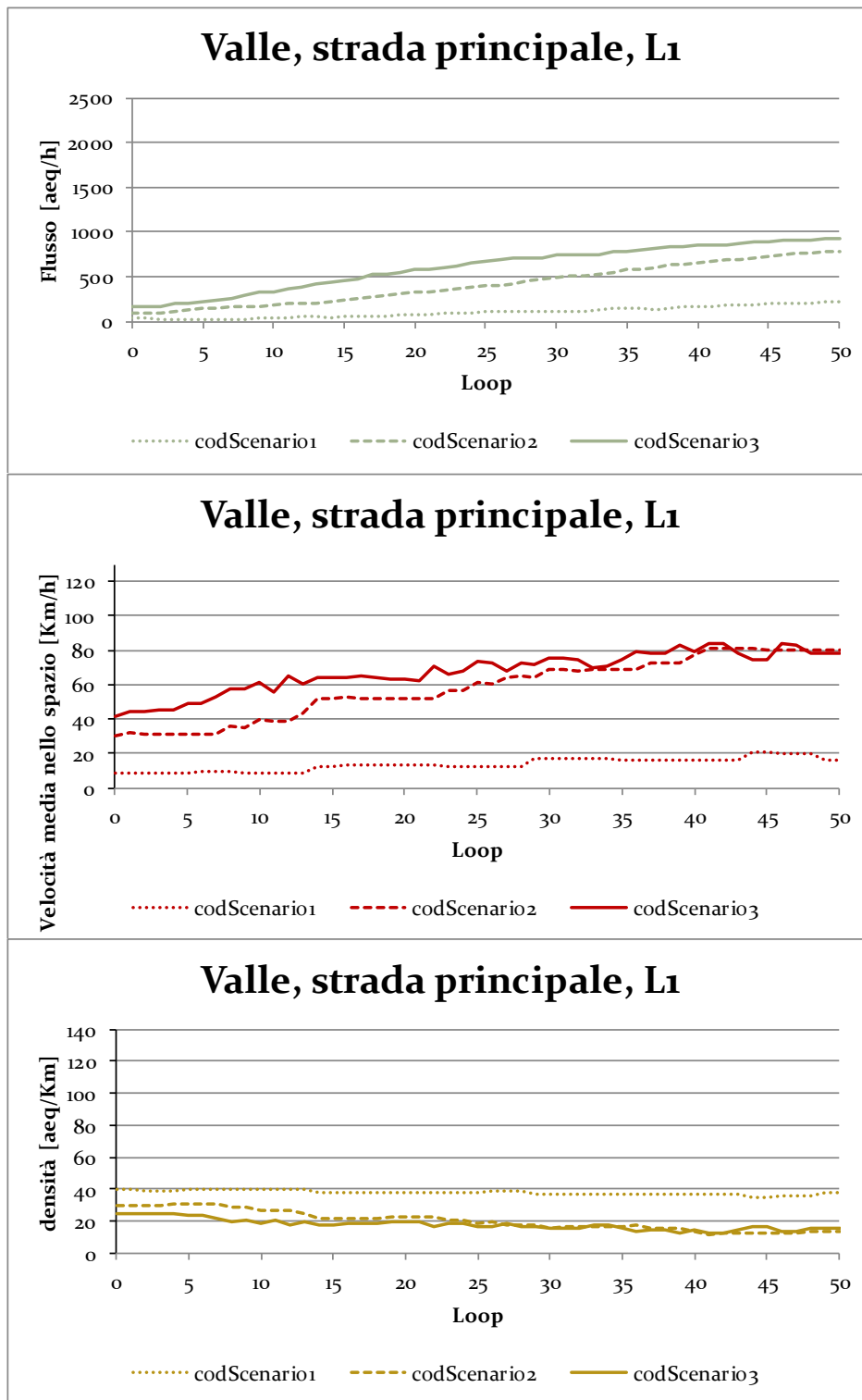


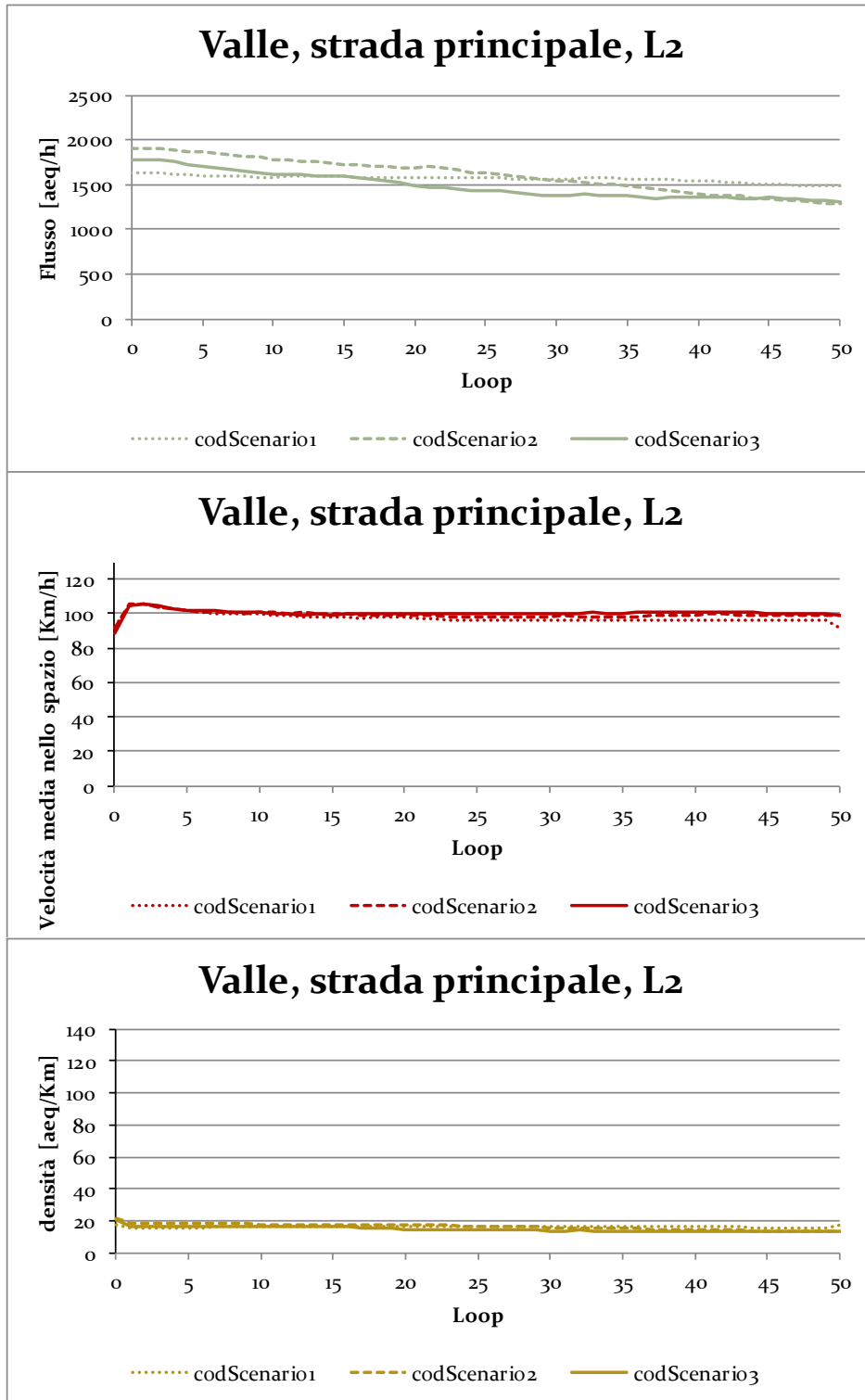












3.3 Calcolo delle distanze minime tra i punti sperimentali e le curve di deflusso

L'input dei vari FIS (Fuzzy Inference System), con cui si provvederà ad identificare l'incidente, consiste in un database che raccoglie le distanze minime D tra i punti (k, q) , (V_s, q) , (k, V_s) , ottenuti dagli esperimenti simulati dell'incidente per le varie spire e i vari scenari, e le curve di deflusso (le loro linee di tendenza espresse da polinomi).

Ogni distanza minima è stata determinata secondo la procedura riportata di seguito.

Operazioni preliminari:

1. si considera il polinomio che rappresenta la curva di deflusso:

$$f(x) = \sum_{i=0}^n \alpha_i x^i \quad (21)$$

2. si considera il punto sperimentale (a, b) ²³

Metodo della bisezione:

posto che l'obiettivo è trovare il valore di x tale che il valore della funzione distanza $D(x)$ sia minimo, dove $D(x)$ è

$$D(x) = \sqrt{(x - a)^2 + (f(x) - b)^2} \geq 0 \quad (22)$$

si ricorre al metodo della bisezione per trovare tale minimo:

1. si impone un valore x di primo tentativo pari ad a :

$$x = x_0 = a$$

2. si calcolano i valori $f(x)$ e $D(x)$ con le espressioni sopracitate;

²³ Le coordinate di tale punto sono date da due delle tre variabili FR (altresi chiamata flusso q), SMS (altresi chiamata velocità media nello spazio V_s), K (altresi chiamata densità k), dove le "due" sono da intendersi dimensionalmente congruenti con le variabili relative alla curva da cui si vuole calcolare la distanza minima. FR , SMS e K dunque corrispondono ad un'altra possibile nomenclatura delle variabili del deflusso riscontrabile in letteratura.

3. si individuano gli estremi inferiore e superiore di un intervallo di ascisse, il cui punto medio sia x , perciò si definiscono l'estremo inferiore

$$A = x - c$$

e l'estremo superiore

$$B = x + c$$

dove c è un parametro discusso al termine della procedura;

4. si calcolano i valori $f(A), f(B), D(A), D(B)$;
 5. si adotta come nuovo valore di x , quello dell'estremo che fornisce la distanza più piccola:

$$x = \begin{cases} A & \text{se } D(A) < D(B) \\ B & \text{se } D(A) \geq D(B) \end{cases}$$

6. si ripete la procedura a partire dal punto 2 del passo 1, fintanto che la differenza tra due successivi valori di x non è inferiore ad una prefissata soglia.

Si nota che il termine c usato per definire gli estremi dell'intervallo dev'essere, e viene, ridotto progressivamente ad ogni iterazione, restringendo il campo in cui si trova il minimo ricercato.

Diversamente dalla procedura adottata, è possibile calcolare le soluzioni esatte²⁴, cercando i valori di x che annullano la derivata prima $D'(x)$ della funzione distanza.

I valori di distanza calcolati hanno mostrato che nel periodo in cui l'incidente non si verifica, le distanze risultano mediamente piccole (nell'ordine dell'unità), mentre durante l'incidente e in corrispondenza della rampa (conflitto tra flussi), le distanze crescono notevolmente, soprattutto nel caso di incidente, arrivando a 2 ÷ 3 ordini di grandezza di differenza rispetto al caso normale (senza incidente).

Le distanze che appaiono riconducibili ai disturbi dati dalla rampa avvengono senza soluzione di continuità, sono anomalie molto contenute nel tempo e nello spazio, le quali si fanno più sentite al crescere del flusso sulla strada principale (premessi che

²⁴ ...tuttavia ciò è complicato e perciò si è preferito ricorrere ad un metodo numerico.

il flusso proveniente dalla rampa resta costante per ogni scenario e di entità contenuta).

4 Identificazione dell'incidente con logica fuzzy

Il seguente capitolo illustra i sistemi fuzzy atti a identificare l'incidente in termini spaziali (localizzazione dell'incidente) e temporali (intervallo temporale che va dall'istante in cui si verifica l'incidente all'istante in cui esso viene rimosso dal sistema).

4.1 Sistemi fuzzy

4.1.1 Introduzione

I sistemi fuzzy hanno trovato largo impiego negli ultimi quarant'anni, supportando decisioni economiche, ottimizzando i controlli di qualità, interpretando immagini, ecc... Ciò perché permettono di rappresentare concetti semplici di uso comune, come "caldo" o "alto", arrivando a sviluppare un ragionamento che si approssima a quello umano. Tali sistemi hanno potuto prendere vita dalla teoria degli insiemi fuzzy che fu proposta negli anni 60' (Zadeh L. A., 1965).

Dal punto di vista applicativo, si tratta di sistemi di inferenza, che ricevendo come input valori numerici e non, generano regole (ragionamento approssimato), con cui interpretare la situazione dettata dagli input, restituendo degli output che corrispondono ad azioni da svolgere.

4.1.2 Insiemi fuzzy

Rispetto alla logica Booleana, la quale usa definizioni nette tra appartenenza e non appartenenza ad un insieme²⁵, la logica fuzzy si basa sull'idea che gli elementi di un insieme appartengano ad essi con un certo *grado di appartenenza*²⁶ (*degrees of membership*), e, in generale, perciò, si perdono le definizioni nette (fuzzy, cioè sfocato).

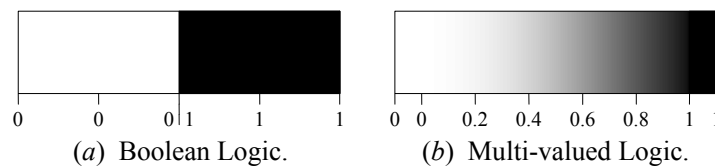


Figura 44 – Rappresentazioni qualitative della logica Booleana e della logica multivariata

Si parla allora di insiemi fuzzy come estensione degli insiemi tradizionali (*crisp sets*), in quanto gli insiemi fuzzy hanno una frontiera che non è più una linea netta di demarcazione tra gli elementi che vi appartengono e quelli che non vi appartengono, ma un'area in cui si trovano elementi classificabili come appartenenti all'insieme con un certo grado (Bonarni, 2003).

Nello specifico, un insieme fuzzy A è composto da tutti gli elementi dell'*universo del discorso* (l'ambito di interesse del modellista) che soddisfano una data *funzione di appartenenza* (*membership function*), cioè il grado di appartenenza di un elemento x , dell'universo del discorso, ad un insieme fuzzy è determinato attraverso opportune funzioni di appartenenza.

²⁵ La logica Booleana usa i valori logici 0 (falso) e 1 (vero).

²⁶ La logica fuzzy usa un continuo di valori logici tra 0 (completamente falso) e 1 (completamente vero).

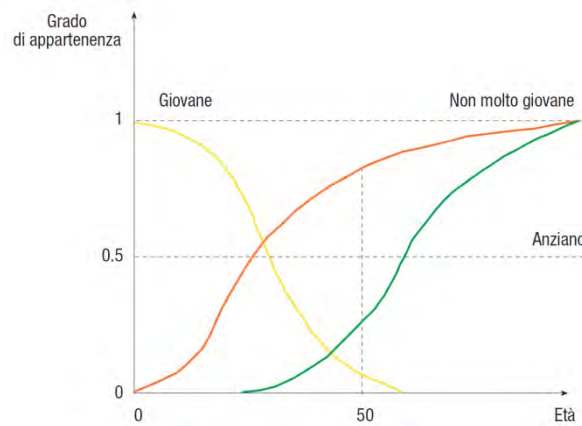


Figura 45 – Esempio di funzioni di appartenenza (Bonarni, 2003)

Perciò una funzione di appartenenza μ_A per un insieme A opera sempre in modo da restituire un valore $\mu_A(x)$ nell'intervallo tra 0 e 1, relativo all'elemento x dell'universo del discorso: $0 \leq \mu_A(x) \leq 1$.

Una funzione di appartenenza può assumere diverse forme, le più comuni sono triangolare, trapezoidale e semi-trapezoidale.

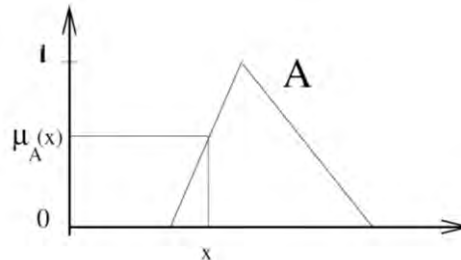


Figura 46 – Esempio di funzione di appartenenza triangolare

Dunque, insiemi crisp e insiemi fuzzy hanno la possibilità di intersecarsi, perché entrambi operano nello stesso universo del discorso, e cioè possono esistere elementi appartenenti ad entrambi (grado di appartenenza pari a 0 oppure pari a 1).

La logica fuzzy viene spesso considerata come sinonimo della teoria degli insiemi fuzzy, sebbene, in senso stretto, la logica fuzzy corrisponda ad un ramo della teoria degli insiemi fuzzy, atta a alla rappresentazione e alla inferenza della conoscenza (in particolare, la logica fuzzy tratta la conoscenza imprecisa).

4.1.3 Regole

Sulla base delle specifiche proprietà e delle operazioni sugli elementi, gli insiemi fuzzy (o *fuzzy sets*) sono usati per trattare l'incertezza e per rappresentare la conoscenza mediante *regole* (Mamdani & Sedrak, 1975), infatti la logica fuzzy permette l'interpretazione dei dati, sulla base di *variabili linguistiche*²⁷ predefinite, secondo opportune regole.

A proposito esiste una fase detta "di partizionamento" (*partitioning*) con cui si definiscono gli insiemi fuzzy, che corrispondono alle variabili linguistiche, per ogni variabile del sistema fuzzy. Si denotino tali insieme nel modo seguente: A_1, A_2, \dots

Le regole (*fuzzy rules*) sono un modo per mettere in relazione la descrizione, in termini linguistici, di una situazione (per esempio entità dei parametri di traffico ed entità delle distanze tra i punti sperimentali e le curve di deflusso, quando è presente un incidente), con un'azione da svolgere (dare l'allarme di avvenuto incidente). Cioè una regola è scritta come

If situation Then conclusion

La situazione è chiamata *antecedente* o premessa, mentre l'azione da svolgere è chiamata *conseguente* o conclusione.

Quanto appena detto si traduce in diverse composizioni delle funzioni di appartenenza. Perciò è necessario definire quelli che sono i corrispondenti di *complemento*, *intersezione* e *unione* della teoria degli insiemi, nella teoria degli insiemi fuzzy.

²⁷ Una variabile linguistica è una variabile fuzzy, i cui valori sono termini linguistici (per esempio, "piccolo", "medio", "grande").

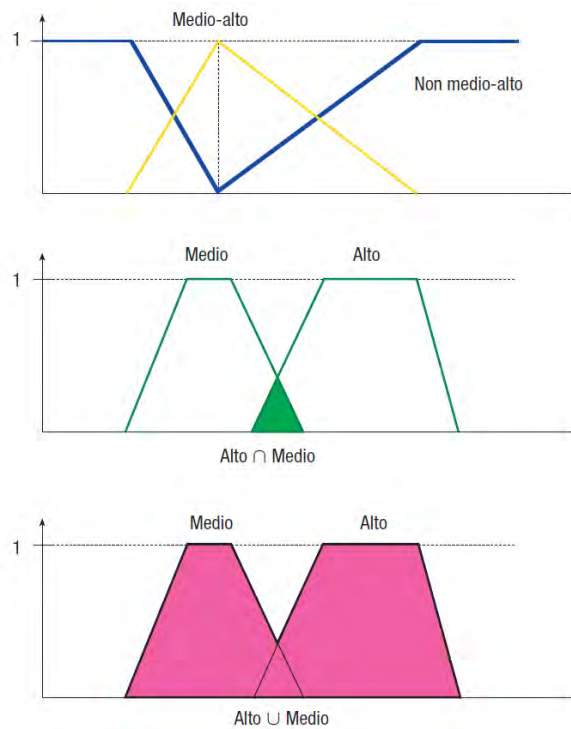


Figura 47 – Composizione di funzioni di appartenenza per gli operatori insiemistici (Bonarni, 2003)

In particolare con i corrispondenti di intersezione e unione, si ottengono alcuni degli operatori logici necessari alla compilazione delle regole.

Al complemento corrisponde la *negazione* (complemento a 1).

Gli operatori sono i seguenti:

- *AND*: operatore di congiunzione (*conjunction operator*, denotato con \wedge), ottenuto comunemente con l'operatore minimo o con l'operatore prodotto (*product*);
- *OR*: operatore di disgiunzione (*disjunction operator*), ottenuto comunemente con l'operatore massimo o con l'operatore somma (*sum*);
- *IS*: operatore tale che la relazione $x \text{ is } A$ è quantificata dal grado di appartenenza di x al fuzzy set A .

Un antecedente è definito come una combinazione di relazioni del tipo $x \text{ is } A$.

Si introduce ora il concetto di *grado di corrispondenza* (*matching degree*): per un certo elemento e una certa regola, il grado di corrispondenza della regola, o peso, è denotato con w ; ed è ottenuto dalla congiunzione degli antecedenti:

$$w = \mu_{A_1^i}(x_1) \wedge \mu_{A_2^i}(x_2) \wedge \dots \wedge \mu_{A_p^i}(x_p) \quad (23)$$

dove $\mu_{A_j^i}(x_j)$ è il grado di appartenenza del valore x_j al fuzzy set A_j^i .

Esistono due principali tipologie di regole di inferenza fuzzy:

a. tipo *Mamdani*:

- a. la conclusione della regola è un fuzzy set;
- b. la regola è scritta come

$$IF x_1 \text{ is } A_1^i \text{ AND } x_2 \text{ is } A_2^i \dots \text{ AND } x_p \text{ is } A_p^i \text{ THEN } y_1 \text{ is } C_1^i \dots \text{ AND } y_q \text{ is } C_q^i \quad (24)$$

dove A_j^i e C_j^i sono insiemi fuzzy che definiscono gli universi del discorso, rispettivamente, degli input e degli output.

b. tipo *Takagi-Sugeno*:

- a. la conclusione della regola è un valore crisp (0 oppure 1);
- b. la conclusione della i -esima regola per il j -esimo output è calcolata come una combinazione lineare dei valori di input:

$$y_j^i = b_{j0}^i + b_{j1}^i x_1 + b_{j2}^i x_2 + \dots + b_{jp}^i x_p \quad (25)$$

4.1.4 Fuzzy inference system

La logica fuzzy definisce i meccanismi inferenziali con cui arrivare all'azione da svolgere (per esempio, segnalazione o meno dell'allarme di avvenuto incidente), costituendo quindi un sistema di inferenza: *Fuzzy Inference System* (FIS).

Un FIS è composto da tre blocchi, come mostrato nella successiva figura.

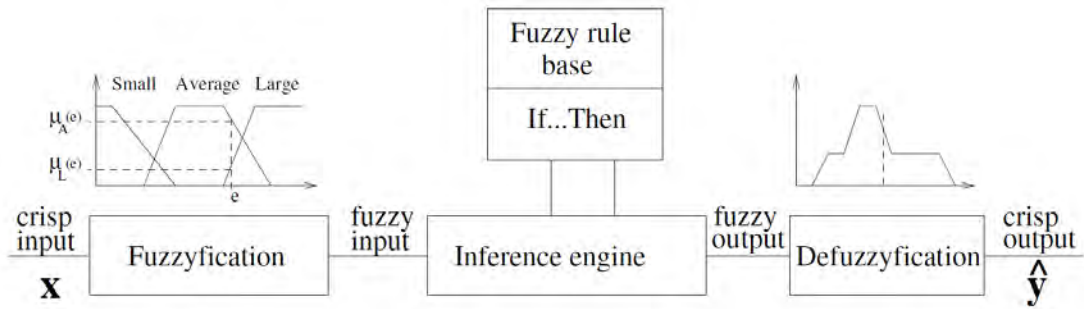


Figura 48 – Blocchi di un FIS

Si procede ora ad illustrare i blocchi, facendo riferimento al metodo di inferenza più usuale (*metodo Mamdani*).

Il primo blocco (*Fuzzyfication*) trasforma valori numerici (ingressi) in gradi di appartenenza ai diversi fuzzy set del partizionamento (fuzzificazione degli ingressi).

Il secondo blocco (*Inference engine*) si occupa di applicare le regole (valutazione delle regole) agli input fuzzificati nel blocco precedente, cioè si applicano i gradi di appartenenza agli antecedenti, producendo un insieme fuzzy aggregato (composizione dei conseguenti). L'ingresso del processo di aggregazione è la lista delle funzioni di appartenenza dei conseguenti, e l'uscita è un insieme fuzzy per ogni variabile di uscita.

Il terzo blocco (*Defuzzyfication*) implementa la fase di defuzzificazione, se necessaria. L'ingresso della defuzzificazione è l'insieme fuzzy aggregato, mentre l'uscita è un singolo numero. Il metodo di defuzzificazione più comunemente impiegato è il *metodo del centroide* (o centro di gravità):

$$COG = \frac{\int_a^b \mu_A(x)x \, dx}{\int_a^b \mu_A(x) \, dx} \quad (26)$$

Che in termini discreti diventa

$$k_c = \frac{\sum_{i=1}^m \mu(y_i) y_i}{\sum_{i=1}^m \mu_i} \quad (27)$$

Dunque il risultato è una x , cioè un elemento dell'universo del discorso (output crisp).

Il metodo del centroide calcola un punto che rappresenta il centro di gravità dell'insieme fuzzy A sull'intervallo ab .

4.2 Costruzione dei FIS per identificare la presenza di un incidente

4.2.1 Illustrazione dei sistemi realizzati

Per poter identificare gli incidenti $m200$, $r100$, e $v200$ (§2.9), sono stati costruiti due sistemi:

1. *FIS globale a 5*: sistema che identifica gli incidenti $m200$, $r100$ e $v200$, sfruttando 5 singoli FIS, i quali funzionano con i dati rilevati da 5 spire (un FIS per ogni spira), mostrate nella seguente figura:

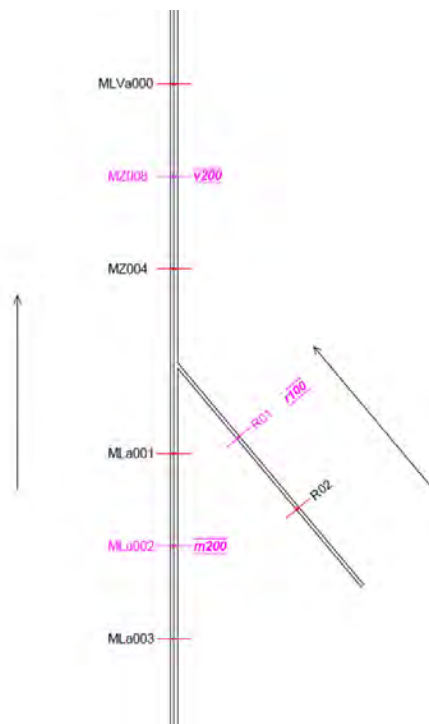


Figura 49 – FIS globale a 5: spire di riferimento e localizzazioni dell'incidente

2. *FIS globale a 3*: sistema che identifica gli incidenti m200, r100 e v200, sfruttando 3 singoli FIS, i quali funzionano con i dati rilevati da 3 spire (un FIS per ogni spira), mostrate nella seguente figura:

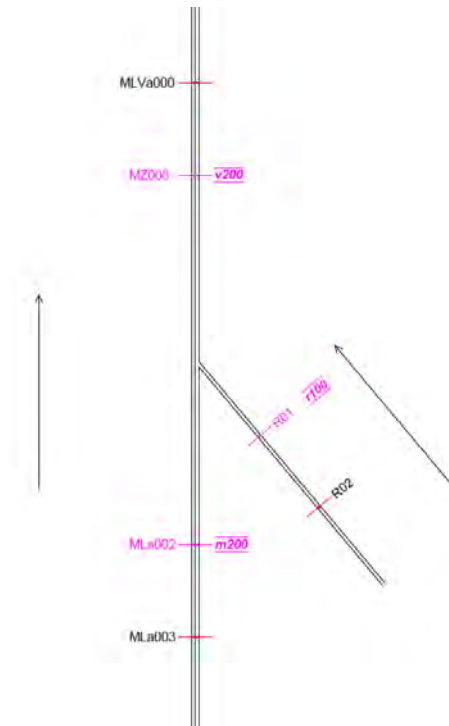


Figura 50 – FIS globale a 3: spire di riferimento e localizzazioni dell'incidente

Dunque si sono adottate delle spire comuni ad entrambi i sistemi. Per semplificare i riferimenti e il confronto tra i sistemi è stata redatta la successiva tabella.

Tabella 13 – Spire, FIS globali, FIS singoli e durata di ogni incidente

Parte infrastruttura	Spira	Descrizione	Nome del singolo FIS	Appartenenza a FIS globali		intervallo temporale incidente [minuti]
strada principale, valle	MLVa000	spira 100 m a valle di incid. v200	V_FIS2	FIS globale a 5	FIS globale a 3	
	MZ008	incid. v200	-			7.37.00-7.57.00
	MZ004	spira 100 m a monte di incid. v200	V_FIS1	FIS globale a 5		
rampa	R01	incid. r100	-			7.41.00-8.01.00
	R02	spira 100 m a monte di incid. r100	R_FIS1	FIS globale a 5	FIS globale a 3	
strada principale, monte	MLa001	spira 100 m a valle di incid. m200	M_FIS2	FIS globale a 5		
	MLa002	incid. m200	-			7.30.00-7.50.00
	MLa003	spira 100 m a monte di incid. m200	M_FIS1	FIS globale a 5	FIS globale a 3	

Si precisa che sono stati sviluppati diversi FIS globali a 5 e a 3: uno per ogni codScenario (1, 2, 3) e uno per ognuna delle 3 ubicazioni dell'incidente simulate (m200, r100, v200)²⁸, per un totale di 9 sistemi.

Nel seguito, con FIS globale a 5 e a 3, si sottintende l'insieme di FIS associati ai vari codScenario e alle 3 ubicazioni dell'incidente, riferibili ai sistemi basati rispettivamente su 5 e su 3 sensori, come illustrato nel presente paragrafo.

4.2.2 Procedura generale di sviluppo del singolo FIS

Lo sviluppo di ogni FIS è stato realizzato mediante il software FisPro(Guillaume & Charnomordic, Learning interpretable fuzzy inference systems with FisPro, 2011).

La procedura generale di sviluppo del singolo FIS è articolata nei punti esposti di seguito.

4.2.2.1 Caricamento del dataset

Bisogna disporre di un dataset contenente le variabili di input e di output, nella fattispecie si tratta di avere ottenuto dall'elaborazione dei dati sperimentali, opportuni file di testo²⁹, per poi adoperare il comando *open>>data*.

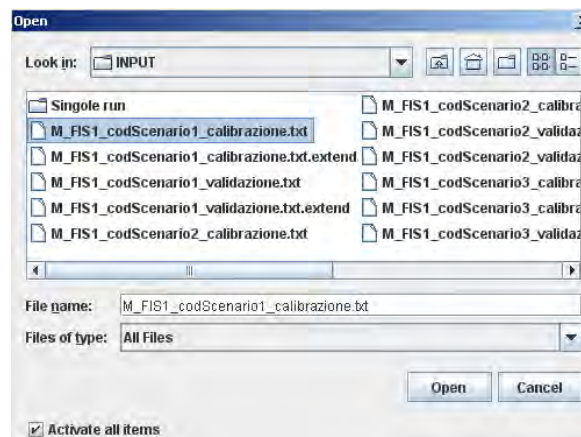


Figura 51 – Esempio di caricamento di dataset per la fase di calibrazione per M_FIS1

²⁸ §3.2.1, pag. 78

²⁹ I file di testo accettati da FisPro richiedono una formattazione con delimitatore di campo la virgola, separatore decimale il punto, e qualificatore di testo le virgolette. È necessario che l'ultimo campo contenga la variabile di output.

Si premette che la variabile di output StatoSistema varia tra 0 e 1. E, ai fini della calibrazione e validazione dei FIS, si è dovuta imporre manualmente pari a 0 e a 1 per esplicitare lo stato reale del sistema, dove il valore 1 è stato posto per tutti gli istanti temporali che corrispondono al perdurare dell'incidente (20', vedi Tabella 13 – Spire, FIS globali, FIS singoli e durata di ogni incidente), ignorando, quindi, la perturbazione che insiste sulla rete anche post-incidente, fintanto che il sistema non riesce a smaltirla. Questa è una forte semplificazione a cui si è dovuti ricorrere e a cui, per conservare l'aderenza al fenomeno fisico, si è cercato di rimediare, definendo con gli output finali dei sistemi, un codice che corrisponde all'inizio dell'incidente (istante in cui si è verificato un incidente, istante di inizio incidente) e un codice che corrisponde a stati anomali che sono dovuti all'incidente ma sono successivi al primo (istanti successivi a quello di inizio incidente e non necessariamente limitati dall'istante di fine incidente, perché le anomalie indotte sul traffico dall'incidente stesso richiedono un certo tempo per ripristinare le condizioni ordinarie; tempo che risulta tanto maggiore, quanto maggiore è il tasso di flusso). Si precisa che l'obiettivo primario è quello di identificare l'incidente e non di monitorare lo stato del sistema nelle fasi successive³⁰.

Si è scelto di produrre più dataset: un dataset per ogni spira relativa ai FIS, per ogni incidente (m200, r100 e v200), per ogni calibrazione e per ogni validazione.

La calibrazione e validazione di ogni FIS è stata fatta rispettivamente sul 70% e sul 30% del dataset di ogni scenario (codScenario; si veda §3.2.1).

Tabella 14 – Intervallo dei codici relativi alle simulazioni eseguite (*run*) per la calibrazione e per la validazione

	<i>Calibrazione</i>	<i>Validazione</i>	codScenario
Run	1-7	8-10	1
	11-17	18-20	2
	21-27	28-30	3

Dette $DIST_q_k$ la distanza tra il punto sperimentale di coordinate (FR; K) durante la prova e la curva di deflusso $q - k$ in condizioni ordinarie, $DIST_q_V_s$ la distanza

³⁰ Il monitoraggio dello stato del sistema nelle fasi successive all'incidente è un possibile sviluppo del presente lavoro di tesi.

tra il punto sperimentale di coordinate (FR; SMS) e la curva di deflusso $q - V_s$, si espongono nelle successive tabelle le variabili di input e di output usate per ogni FIS.

Tabella 15 – Descrizione sintetica delle variabili di M_FIS1

M_FIS1³¹					
<i>VARIABILI DI INPUT</i>			<i>VARIABILI DI OUTPUT</i>		
<i>Nome della variabile</i>	<i>Tipologia della funzione di appartenenza</i>	<i>Variabile linguistica</i>	<i>Nome della variabile</i>	<i>Tipologia della funzione di appartenenza</i>	<i>Variabile linguistica</i>
DIST_q_k_L1	trapezoidale triangolare trapezoidale	Small Medium Large	StatoSistema	trapezoidale trapezoidale	Normal Abnormal
DIST_q_V_s_L1	trapezoidale triangolare trapezoidale	Small Medium Large			
DIST_q_k_L2	trapezoidale triangolare trapezoidale	Small Medium Large			
DIST_q_V_s_L2	trapezoidale triangolare trapezoidale	Small Medium Large			

³¹ I sistemi d'inferenza M_FIS1 e V_FIS1 usano le medesime variabili di input, così come M_FIS2 e V_FIS2. Si è invece adottata sempre la stessa variabile di output per ogni FIS.

Tabella 16– Descrizione sintetica delle variabili di M_FIS2

M_FIS2					
<i>VARIABILI DI INPUT</i>			<i>VARIABILI DI OUTPUT</i>		
<i>Nome della variabile</i>	<i>Tipologia della funzione di appartenenza</i>	<i>Variabile linguistica</i>	<i>Nome della variabile</i>	<i>Tipologia della funzione di appartenenza</i>	<i>Variabile linguistica</i>
SMS_L1	trapezoidale triangolare trapezoidale	Small Medium Large	StatoSistema	trapezoidale trapezoidale	Normal Abnormal
K_L1	trapezoidale triangolare trapezoidale	Small Medium Large			
SMS_L2	trapezoidale triangolare trapezoidale	Small Medium Large			
K_L2	trapezoidale triangolare trapezoidale	Small Medium Large			

Tabella 17 – Descrizione sintetica delle variabili di R_FIS1

R_FIS1					
<i>VARIABILI DI INPUT</i>			<i>VARIABILI DI OUTPUT</i>		
<i>Nome della variabile</i>	<i>Tipologia della funzione di appartenenza</i>	<i>Variabile linguistica</i>	<i>Nome della variabile</i>	<i>Tipologia della funzione di appartenenza</i>	<i>Variabile linguistica</i>
DIST_q_k	trapezoidale triangolare trapezoidale	Small Medium Large	StatoSistema	trapezoidale trapezoidale	Normal Abnormal
DIST_q_V_s	trapezoidale triangolare trapezoidale	Small Medium Large			
SMS	trapezoidale triangolare trapezoidale	Small Medium Large			
K	trapezoidale triangolare trapezoidale	Small Medium Large			

Tabella 18 – Descrizione sintetica delle variabili di V_FIS1

V_FIS1					
VARIABILI DI INPUT			VARIABILI DI OUTPUT		
Nome della variabile	Tipologia della funzione di appartenenza	Variabile linguistica	Nome della variabile	Tipologia della funzione di appartenenza	Variabile linguistica
DIST_q_k_L1	trapezoidale triangolare trapezoidale	Small Medium Large	StatoSistema	trapezoidale trapezoidale	Normal Abnormal
DIST_q_V_s_L1	trapezoidale triangolare trapezoidale	Small Medium Large			
DIST_q_k_L2	trapezoidale triangolare trapezoidale	Small Medium Large			
DIST_q_V_s_L2	trapezoidale triangolare trapezoidale	Small Medium Large			

Tabella 19 – Descrizione sintetica delle variabili di V_FIS2

V_FIS2					
VARIABILI DI INPUT			VARIABILI DI OUTPUT		
Nome della variabile	Tipologia della funzione di appartenenza	Variabile linguistica	Nome della variabile	Tipologia della funzione di appartenenza	Variabile linguistica
SMS_L1	trapezoidale triangolare trapezoidale	Small Medium Large	StatoSistema	trapezoidale trapezoidale	Normal Abnormal
K_L1	trapezoidale triangolare trapezoidale	Small Medium Large			
SMS_L2	trapezoidale triangolare trapezoidale	Small Medium Large			
K_L2	trapezoidale triangolare trapezoidale	Small Medium Large			

Per chiarezza, si specifica che il FIS globale a 3 e il FIS globale a 5, hanno in comune i medesimi M_FIS1, R_FIS1 e V_FIS2, in termini di variabili; mentre altri aspetti di tali FIS singoli sono esposti nel seguito, cioè quando verrà specificatamente trattato ogni FIS globale.

4.2.2.2 Generazione del FIS senza regole

Una volta caricato il dataset, si procede col comando *Generate FIS without rules*. Esso permette di riconoscere nel dataset le variabili di input e le variabili di output, nonché di definirne le funzioni di appartenenza, scegliendo tra una gamma di parametri (si citano il numero di funzioni di appartenenza per le variabili di input e di output, l'operatore di congiunzione e l'operatore di disgiunzione, nonché il metodo di defuzzificazione). Si riporta ora, nelle successive figure quanto fatto a proposito di M_FIS1 (rispetto agli altri FIS, variano unicamente i nomi delle variabili di input).

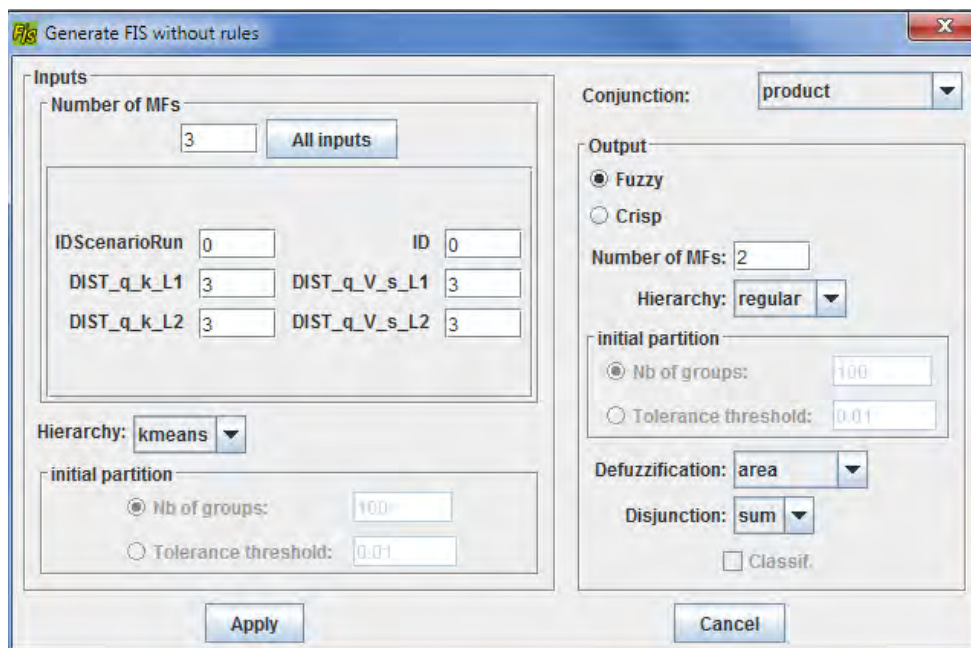


Figura 52 – Definizione delle funzioni di appartenenza per M_FIS1



Figura 53 – Variabili di input e variabili di output per M_FIS1

Si nota che sono state rinominate le variabili di input e di output secondo le tabelle riportate in §4.2.2.1.

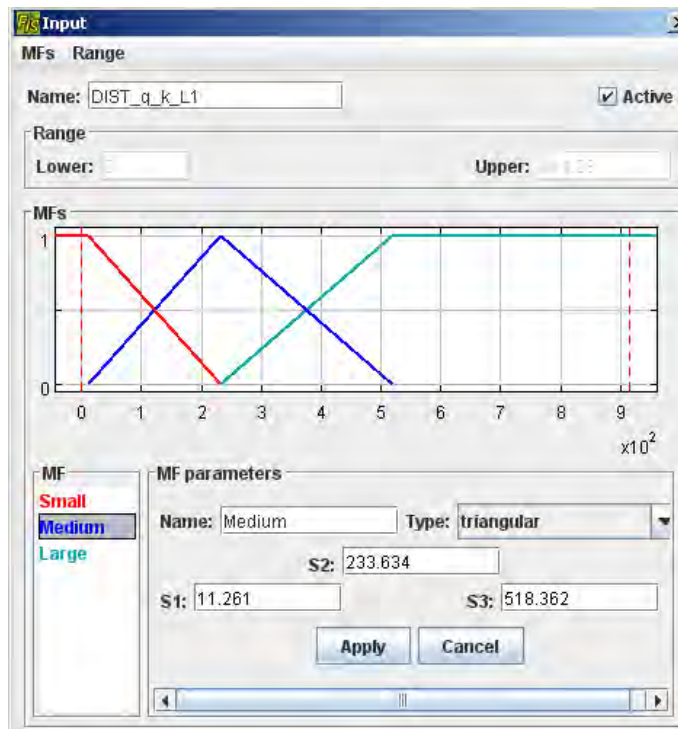


Figura 54 – Funzioni di appartenenza della variabile di input DIST_q_k_L1, per M_FIS1

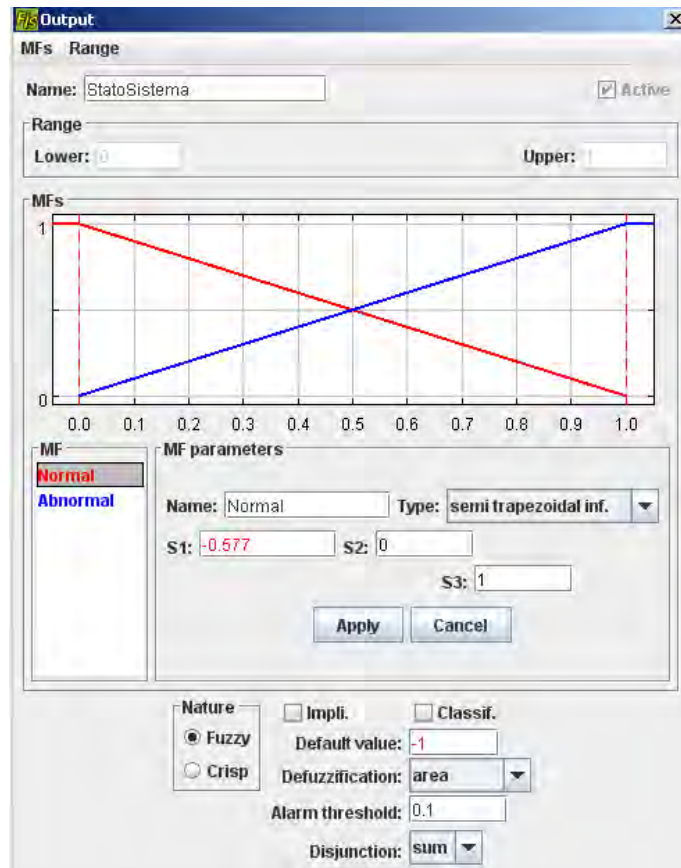


Figura 55 – Variabile di output per ogni singolo FIS

4.2.2.3 Generazione delle regole

FisPro permette la generazione automatica delle regole con vari algoritmi. Tra questi si è scelto l'algoritmo FPA (Fast Prototyping Algorithm (Glennec, 1996)): genera le regole che tra tutte le possibili combinazioni di antecedenti, soddisfano il seguente criterio: il grado di corrispondenza, o peso, w di una regola sia superiore ad una certa soglia μ_t per più di un determinato numero di dati/elementi.

È quindi sufficiente usare il comando *Learning*>>*Rule induction*>>*FPA* (si sono poi adottati i parametri di default).

A questo punto è possibile visualizzare le regole ottenute cliccando su *Rules*.

Rule	Active	IF DIST_q_k_L1	AND DIST_q_V_s_L1	AND DIST_q_k_L2	AND DIST_q_V_s_L2	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Small	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Small	Small	Normal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Small	Small	Normal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Medium	Normal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Small	Large	Abnormal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Large	Abnormal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Small	Small	Abnormal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Medium	Abnormal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Large	Abnormal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Small	Medium	Abnormal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Medium	Abnormal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Small	Small	Abnormal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Large	Medium	Medium	Abnormal
14	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Small	Large	Abnormal
15	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Small	Small	Abnormal
16	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Small	Large	Abnormal
17	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Large	Abnormal
18	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Small	Medium	Abnormal
19	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Medium	Small	Abnormal
20	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Small	Abnormal
21	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Large	Medium	Abnormal
22	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Large	Abnormal

Figura 56 – Regole per M_FIS1, per codScenario1, per l'incidente m200

4.2.2.4 Calibrazione e Validazione

Come anticipato, in §4.2.2.1 e in particolare nella Tabella 14 – Intervallo dei codici relativi alle simulazioni eseguite (*run*) per la calibrazione e per la validazione, si descrive ora come è effettivamente avvenuta in primis la calibrazione e poi la validazione di ogni FIS.

Una volta caricato il dataset, definite le funzioni di appartenenza e generate le regole, con il comando *Data>>Infer* viene restituito l'output, cioè i risultati inferiti, raccolti in un file di testo, per ogni singolo FIS. Con riferimento a tale file di testo, si presta attenzione al campo INF (risultato dell'inferenza) e si controlla quando esso mostra il codice -1. Questo codice indica che per quella situazione, il FIS non è stato capace di trovare una regola, su cui trarre una conclusione.

Infatti, nei sistemi complessi, non è direttamente interpretabile ogni situazione mediante regole derivate da dati INPUT-OUTPUT perché questi possono risultare incompleti o insufficienti; in tali casi si ricorre al giudizio di esperti per la completa definizione della base di conoscenza del sistema di inferenza (Guillaume & Charnomordic, Fuzzy inference systems: An integrated modeling environment for collaboration between expert knowledge and data using FisPro, 2012).

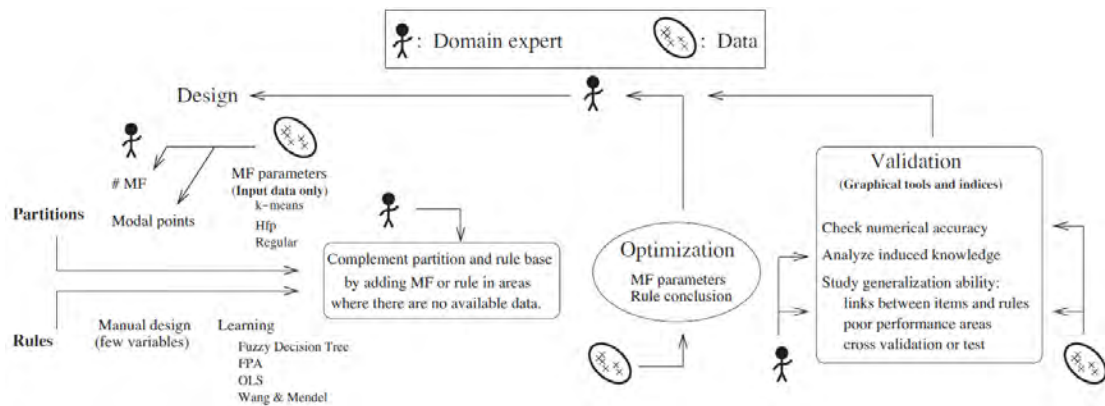


Figura 57 – Approccio modellistico con cui è integrata la conoscenza degli esperti

Dunque la calibrazione è consistita anzitutto nel completare manualmente il set di regole, scrivendole per tutte le situazioni in cui il sistema non ne è stato capace (-1), se necessario. La validazione è stata compiuta sull'altro 30% del dataset, controllando se erano presenti altri codici -1; se ciò capitava, si completavano anche queste regole, tornando al passo precedente (calibrazione), per verificare la risposta del FIS all'aggiunta delle nuove regole, quindi si è ripetuta la validazione.

Per perfezionare le operazioni di calibrazione e validazione si sono costruiti appositi database relazionali con Microsoft Access e calcolate le misure di prestazione mostrate in 1.4.4.2, sia sull'inferenza della calibrazione sia sull'inferenza della validazione, in modo da tarare le nuove regole sull'ottimizzazione delle misure di prestazione.

A tal proposito, nei successivi paragrafi saranno presentate le regole di inferenza e sarà fornita una misura quantitativa del numero di regole addizionali, per avere indicazioni sulla rappresentatività del 70% di dataset relativo alla calibrazione rispetto ai possibili stati del sistema.

4.2.3 FIS globale a 5

4.2.3.1 Schematizzazione

Per la schematizzazione del FIS globale che sarà ora presentato, si veda la Figura 49 – FIS globale a 5: spire di riferimento e localizzazioni dell'incidente, nonché la Tabella 13 – Spire, FIS globali, FIS singoli e durata di ogni incidente.

4.2.3.2 FIS singoli

I 5 FIS singoli sono stati calibrati e validati per i seguenti incidenti e per ogni codScenario:

Tabella 20 – FIS globale a 5, incidenti relativi ai FIS singoli

<i>FIS singolo</i>	<i>Incidente</i>
M_FIS1	m200
M_FIS2	
R_FIS1	r100
V_FIS1	v200
V_FIS2	

Si riportano le regole complete dei vari FIS singoli per ogni codScenario. Si ricorda che il significato di ogni codScenario è indicato in §3.2.1.

Tabella 21 – Regole per M_FIS1, per codScenario1

Rule	Active	IF DIST_q_k_L1	AND DIST_q_V_s_L1	AND DIST_q_k_L2	AND DIST_q_V_s_L2	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Small	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Small	Small	Normal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Small	Small	Normal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Medium	Normal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Small	Large	Abnormal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Large	Abnormal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Small	Small	Abnormal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Medium	Abnormal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Large	Abnormal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Small	Medium	Abnormal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Medium	Abnormal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Small	Small	Abnormal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Large	Medium	Medium	Abnormal
14	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Small	Large	Abnormal
15	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Small	Small	Abnormal
16	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Small	Large	Abnormal
17	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Large	Abnormal
18	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Small	Medium	Abnormal
19	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Medium	Small	Abnormal
20	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Small	Abnormal
21	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Large	Medium	Abnormal
22	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Large	Abnormal

Tabella 22 – Regole per M_FIS1, per codScenario2

Rule	Active	IF DIST_q_k_L1	AND DIST_q_V_s_L1	AND DIST_q_k_L2	AND DIST_q_V_s_L2	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Small	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Small	Small	Normal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Small	Small	Normal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Small	Small	Normal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Medium	Abnormal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Medium	Abnormal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Large	Medium	Abnormal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Small	Small	Normal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Large	Large	Abnormal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Large	Normal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Small	Normal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Small	Small	Normal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Large	Small	Small	Normal
14	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Small	Small	Abnormal
15	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Small	Medium	Abnormal
16	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Large	Normal
17	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Small	Medium	Abnormal
18	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Small	Medium	Normal
19	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Medium	Medium	Abnormal
20	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Large	Large	Abnormal
21	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Large	Medium	Abnormal
22	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Medium	Normal
23	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Medium	Large	Normal
24	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Medium	Abnormal
25	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Small	Medium	Abnormal
26	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Large	Normal
27	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Medium	Abnormal
28	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Large	Large	Abnormal
29	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Large	Large	Abnormal
30	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Medium	Medium	Abnormal
31	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Small	Large	Abnormal
32	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Large	Medium	Abnormal

Tabella 23 – Regole per M_FIS1, per codScenario3

Rule	Active	IF DIST_q_k_L1	AND DIST_q_V_s_L1	AND DIST_q_k_L2	AND DIST_q_V_s_L2	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Small	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Medium	Abnormal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Small	Small	Normal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Medium	Abnormal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Large	Normal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Small	Small	Normal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Small	Small	Normal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Large	Small	Small	Normal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Large	Large	Normal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Small	Small	Normal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Small	Small	Normal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Large	Medium	Abnormal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Small	Medium	Normal
14	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Small	Medium	Normal
15	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Medium	Normal
16	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Small	Normal
17	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Small	Medium	Abnormal
18	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Medium	Medium	Normal
19	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Large	Normal
20	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Large	Normal
21	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Medium	Medium	Abnormal
22	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Medium	Large	Normal
23	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Medium	Large	Normal
24	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Large	Large	Normal
25	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Small	Medium	Abnormal
26	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Medium	Normal
27	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Small	Medium	Abnormal
28	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Small	Small	Normal
29	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Large	Normal
30	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Large	Medium	Abnormal
31	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Large	Large	Normal
32	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Small	Small	Normal
33	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Medium	Medium	Abnormal
34	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Large	Large	Normal
35	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Small	Large	Normal
36	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Large	Normal
37	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Large	Large	Normal
38	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Large	Medium	Medium	Normal
39	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Large	Medium	Abnormal
40	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Large	Large	Abnormal
41	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Small	Large	Normal

Tabella 24 – Regole per M_FIS2, per codScenario1

Rule	Active	IF SMS_L1	AND K_L1	AND SMS_L2	AND K_L2	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Large	Small	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Large	Small	Normal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Large	Small	Normal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Medium	Abnormal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Large	Small	Normal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Small	Normal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Small	Large	Normal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Large	Large	Small	Normal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Medium	Small	Normal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Small	Normal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Small	Normal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Small	Large	Normal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Small	Large	Normal
14	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Small	Large	Normal
15	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Large	Small	Normal
16	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Small	Abnormal
17	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Medium	Medium	Abnormal
18	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Large	Medium	Small	Normal
19	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Medium	Normal
20	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Large	Small	Large	Normal
21	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Medium	Small	Normal
22	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Small	Large	Normal
23	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Medium	Normal
24	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Medium	Medium	Abnormal
25	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Medium	Normal
26	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Large	Small	Normal
27	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Small	Small	Normal

Tabella 25 – Regole per M_FIS2, per codScenario2

Rule	Active	IF SMS_L1	AND K_L1	AND SMS_L2	AND K_L2	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Large	Small	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Large	Small	Normal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Large	Small	Normal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Medium	Abnormal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Large	Small	Normal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Small	Normal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Large	Large	Small	Normal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Large	Medium	Normal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Medium	Normal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Small	Normal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Small	Normal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Large	Medium	Abnormal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Large	Medium	Normal
14	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Medium	Normal
15	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Medium	Normal
16	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Medium	Small	Normal
17	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Large	Medium	Normal
18	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Medium	Medium	Abnormal
19	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Small	Large	Normal
20	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Large	Medium	Normal
21	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Medium	Medium	Normal
22	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Large	Medium	Small	Normal
23	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Small	Small	Normal
24	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Large	Large	Medium	Normal
25	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Small	Large	Normal
26	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Small	Large	Normal
27	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Small	Large	Normal
28	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Medium	Small	Abnormal

Tabella 26 – Regole per M_FIS2, per codScenario3

Rule	Active	IF SMS_L1	AND K_L1	AND SMS_L2	AND K_L2	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Large	Small	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Medium	Medium	Normal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Large	Small	Normal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Large	Small	Abnormal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Small	Large	Normal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Large	Small	Normal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Medium	Normal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Small	Normal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Small	Abnormal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Medium	Normal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Large	Medium	Normal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Large	Medium	Normal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Medium	Large	Normal
14	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Large	Medium	Normal
15	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Medium	Small	Normal
16	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Large	Small	Normal
17	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Large	Small	Normal
18	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Small	Medium	Normal
19	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Medium	Medium	Normal
20	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Small	Normal
21	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Large	Medium	Normal
22	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Small	Large	Normal
23	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Small	Large	Normal
24	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Small	Normal
25	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Small	Medium	Normal
26	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Small	Large	Normal
27	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Large	Medium	Normal
28	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Medium	Normal
29	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Large	Normal
30	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Large	Medium	Abnormal
31	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Small	Small	Normal
32	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Medium	Small	Normal
33	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Large	Normal

Tabella 27 – Regole per R_FIS1, per codScenario1

Rule	Active	IF DIST_q_k	AND DIST_q_V_s	AND SMS	AND K	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Large	Medium	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Large	Small	Normal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Large	Abnormal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Large	Small	Normal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Small	Normal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Large	Small	Normal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Medium	Normal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Medium	Normal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Medium	Medium	Normal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Medium	Small	Normal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Small	Normal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Medium	Normal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Medium	Medium	Normal
14	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Medium	Normal
15	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Small	Medium	Abnormal
16	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Small	Small	Abnormal

Tabella 28 – Regole per R_FIS1, per codScenario2

Rule	Active	IF DIST_q_k	AND DIST_q_V_s	AND SMS	AND K	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Large	Small	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Large	Small	Normal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Large	Abnormal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Large	Medium	Normal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Small	Normal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Large	Small	Normal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Medium	Medium	Normal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Medium	Normal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Small	Normal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Medium	Medium	Normal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Medium	Normal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Medium	Normal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Medium	Small	Normal
14	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Small	Medium	Normal
15	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Large	Normal
16	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Small	Small	Abnormal

Tabella 29 – Regole per R_FIS1, per codScenario3

Rule	Active	IF DIST_q_k	AND DIST_q_V_s	AND SMS	AND K	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Large	Small	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Large	Small	Normal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Medium	Medium	Normal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Medium	Abnormal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Large	Small	Normal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Medium	Normal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Small	Normal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Medium	Normal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Small	Normal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Large	Abnormal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Small	Medium	Normal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Large	Medium	Normal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Small	Normal
14	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Medium	Small	Normal
15	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Small	Small	Normal
16	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Small	Large	Normal

Tabella 30 – Regole per V_FIS1, per codScenario1

Rule	Active	IF DIST_q_K_L1	AND DIST_q_V_s_L1	AND DIST_q_K_L2	AND DIST_q_V_s_L2	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Small	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Medium	Normal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Large	Normal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Medium	Small	Abnormal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Medium	Small	Abnormal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Small	Abnormal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Small	Large	Normal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Small	Small	Abnormal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Small	Abnormal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Small	Small	Abnormal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Small	Medium	Normal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Medium	Medium	Abnormal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Small	Medium	Abnormal
14	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Medium	Medium	Abnormal
15	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Small	Large	Abnormal
16	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Medium	Abnormal
17	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Small	Large	Abnormal
18	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Large	Large	Abnormal
19	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Small	Abnormal

Tabella 31 – Regole per V_FIS1, per codScenario2

Rule	Active	IF DIST_q_k_L1	AND DIST_q_v_s_L1	AND DIST_q_k_L2	AND DIST_q_v_s_L2	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Small	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Medium	Normal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Large	Normal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Medium	Abnormal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Large	Normal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Small	Normal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Small	Medium	Normal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Small	Small	Normal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Large	Large	Abnormal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Small	Large	Normal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Medium	Medium	Abnormal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Medium	Small	Abnormal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Small	Medium	Normal
14	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Small	Large	Abnormal
15	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Small	Small	Abnormal
16	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Small	Small	Abnormal
17	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Large	Large	Abnormal

Tabella 32 – Regole per V_FIS1, per codScenario3

Rule	Active	IF DIST_q_k_L1	AND DIST_q_v_s_L1	AND DIST_q_k_L2	AND DIST_q_v_s_L2	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Small	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Small	Normal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Medium	Normal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Medium	Small	Normal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Medium	Abnormal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Small	Small	Normal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Large	Medium	Normal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Small	Normal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Small	Small	Abnormal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Medium	Small	Normal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Small	Small	Normal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Small	Small	Abnormal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Large	Medium	Normal
14	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Large	Large	Normal
15	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Small	Small	Normal
16	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Small	Medium	Abnormal
17	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Large	Large	Abnormal
18	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Large	Normal
19	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Small	Medium	Normal
20	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Medium	Medium	Abnormal
21	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Medium	Medium	Abnormal
22	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Small	Small	Normal
23	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Medium	Large	Abnormal
24	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Large	Large	Abnormal
25	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Small	Medium	Normal
26	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Small	Medium	Normal
27	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Small	Large	Normal
28	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Large	Medium	Normal
29	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Large	Medium	Normal
30	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Large	Abnormal
31	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Medium	Small	Abnormal
32	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Large	Small	Small	Normal
33	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Large	Small	Large	Normal

Tabella 33 – Regole per V_FIS2, per codScenario1

Rule	Active	IF SMS_L1	AND K_L1	AND SMS_L2	AND K_L2	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Large	Small	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Large	Small	Normal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Large	Small	Normal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Large	Small	Normal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Medium	Medium	Abnormal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Large	Medium	Normal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Large	Medium	Normal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Medium	Small	Normal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Medium	Small	Normal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Small	Normal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Large	Medium	Normal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Medium	Abnormal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Medium	Medium	Abnormal
14	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Medium	Medium	Abnormal
15	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Medium	Small	Abnormal
16	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Small	Large	Normal

Tabella 34 – Regole per V_FIS2, per codScenario2

Rule	Active	IF SMS_L1	AND K_L1	AND SMS_L2	AND K_L2	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Large	Medium	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Large	Small	Normal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Large	Small	Normal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Large	Small	Normal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Small	Large	Abnormal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Large	Medium	Normal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Medium	Normal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Medium	Normal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Large	Medium	Normal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Large	Small	Normal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Large	Normal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Large	Large	Normal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Small	Normal
14	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Medium	Medium	Normal
15	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Large	Normal
16	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Medium	Small	Normal
17	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Small	Large	Abnormal
18	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Medium	Small	Normal
19	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Small	Normal
20	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Medium	Medium	Normal
21	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Medium	Large	Normal
22	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Large	Medium	Normal
23	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Large	Large	Normal
24	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Large	Large	Normal
25	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Small	Medium	Abnormal
26	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Medium	Normal
27	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Small	Medium	Normal
28	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Small	Large	Abnormal
29	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Small	Medium	Abnormal
30	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Small	Large	Normal
31	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Small	Large	Normal
32	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Small	Small	Normal
33	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Small	Medium	Abnormal

Tabella 35 – Regole per V_FIS2, per codScenario3

Rule	Active	IF SMS_L1	AND K_L1	AND SMS_L2	AND K_L2	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Large	Medium	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Large	Small	Normal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Medium	Medium	Abnormal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Medium	Normal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Large	Medium	Abnormal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Large	Small	Normal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Medium	Medium	Abnormal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Large	Small	Normal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Medium	Small	Abnormal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Small	Normal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Large	Large	Small	Normal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Large	Small	Normal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Medium	Small	Abnormal
14	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Large	Medium	Normal
15	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Small	Normal
16	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Small	Large	Normal

Si integra l'esposizione delle regole, con il confronto tra quante regole sono state generate automaticamente e quante sono state aggiunte in fase di calibrazione:

Tabella 36 – FIS singoli relativi al FIS globale a 5: numero di regole generate automaticamente e numero di regole aggiunte

<i>FIS singolo</i>	<i>incidente</i>	<i>codScenario</i>	<i>numero regole generate con FPA</i>	<i>numero di regole finali</i>	<i>numero di regole aggiunte</i>
M_FIS1	m200	1	18	22	4
		2	28	32	4
		3	40	41	1
M_FIS2	m200	1	27	27	0
		2	28	28	0
		3	33	33	0
R_FIS1	r100	1	15	16	1
		2	16	16	0
		3	15	16	1
V_FIS1	v200	1	17	19	2
		2	13	17	4
		3	27	33	6
V_FIS2	v200	1	15	16	1
		2	33	33	0
		3	15	16	1
totale			340	365	25

È possibile osservare come, al crescere del flusso (codScenario), tenda a crescere il numero di regole. Inoltre, si nota che i sistemi che richiedono la maggiore aggiunta di regole sono quelli che hanno, come variabili di input, le distanze tra le curve di deflusso in condizioni ordinarie e i punti sperimentali ricavati nei vari casi di incidente.

4.2.3.3 Sviluppo del FIS globale

4.2.3.4 Input, output e funzioni di appartenenza

Si sono aggregati i risultati dell'inferenza (output) di ogni FIS singolo, per ogni caso di incidente (m200, r100 e v200) e per ogni codScenario. Quindi si sono creati i dataset di calibrazione e validazione per ogni codScenario e per ogni caso di incidente, con tali risultati dell'inferenza (divenuti input per il FIS globale a 5) e la variabile StatoSistema relativa ad ogni caso di incidente (output per il FIS globale a 5).

Tabella 37 – Descrizione sintetica della variabili di input e di output di FIS globale a 5

FIS globale a 5					
VARIABILI DI INPUT			VARIABILI DI OUTPUT		
Nome della variabile	Tipologia della funzione di appartenenza	Variabile linguistica	Nome della variabile	Tipologia della funzione di appartenenza	Variabile linguistica
M_FIS1_INF	trapezoidale triangolare trapezoidale	low average high	Stato sistema	trapezoidale trapezoidale	Normal Abnormal
M_FIS2_INF	trapezoidale triangolare trapezoidale	low average high			
R_FIS1_INF	trapezoidale triangolare trapezoidale	low average high			
V_FIS1_INF	trapezoidale triangolare trapezoidale	low average high			
V_FIS2_INF	trapezoidale triangolare trapezoidale	low average high			

Questa volta si sono definite manualmente le funzioni di appartenenza, imponendole uguali per ogni variabile di input, mentre le funzioni di appartenenza della variabile di output sono state definite allo stesso modo di quanto già fatto per le parziali.

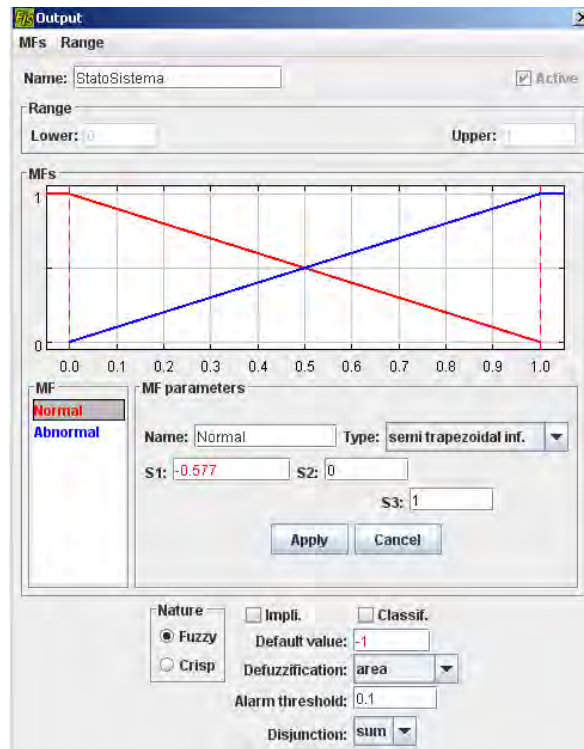


Figura 58 – Variabile di output per ogni singolo FIS

A titolo esemplificativo, nella successiva figura sono mostrate le funzioni di appartenenza di una generica variabile di input. Si precisa che l'output del FIS parziale (i vari FIS singoli) viene passato a quello globale nella forma di valori defuzzificati compresi tra 0 e 1.

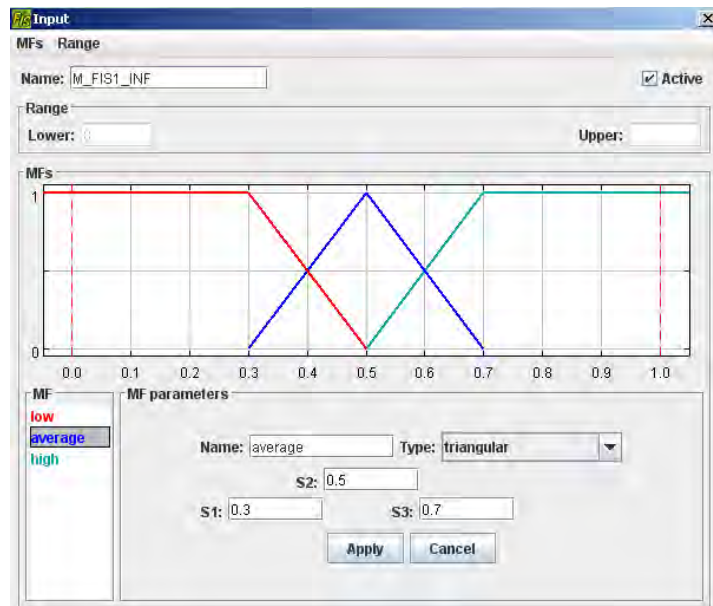


Figura 59 – Funzioni di appartenenza di una variabile di input del FIS globale a 5

4.2.3.5 Generazione delle regole

Come fatto per i FIS singoli, si è proceduto a generare le regole, a calibrare e validare il FIS, per ogni caso di incidente e per ogni codScenario.

Nelle successive tabelle sono riportate le regole ottenute.

Tabella 38 – Regole per il FIS globale a 5, per l'incidente m200, per il codScenario1

Rule	Active	IF M_FIS1_INF	AND M_FIS2_INF	AND R_FIS1_INF	AND V_FIS1_INF	AND V_FIS2_INF	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	low	low	low	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	high	low	low	Normal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	high	high	low	low	low	Abnormal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	high	high	high	low	low	Abnormal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	high	average	low	low	low	Abnormal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	high	low	low	low	low	Normal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	low	average	low	low	low	Normal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	average	low	low	low	low	Normal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	low	average	low	Normal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	average	low	low	Normal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	low	high	high	Normal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	high	high	low	high	low	Abnormal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	low	high	low	Normal
14	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	high	high	low	Normal

Tabella 39 – Regole per il FIS globale a 5, per l'incidente m200, per il codScenario2

Rule	Active	IF M_FIS1_INF	AND M_FIS2_INF	AND R_FIS1_INF	AND V_FIS1_INF	AND V_FIS2_INF	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	low	low	low	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	high	low	low	Normal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	high	high	low	low	low	Abnormal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	high	low	low	low	low	Normal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	average	low	low	low	low	Normal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	high	high	high	low	low	Abnormal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	average	high	low	low	low	Abnormal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	low	high	low	low	low	Abnormal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	low	low	average	Normal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	high	average	low	low	low	Abnormal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	low	average	low	low	low	Normal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	low	low	high	Normal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	low	average	low	Normal
14	<input checked="" type="checkbox"/>	average	high	high	low	low	Abnormal
15	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	average	low	low	Normal
16	<input checked="" type="checkbox"/>	average	low	high	low	low	Normal
17	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	high	low	average	Normal
18	<input checked="" type="checkbox"/>	high	average	high	low	low	Abnormal
19	<input checked="" type="checkbox"/>	high	low	low	high	low	Normal
20	<input checked="" type="checkbox"/>	average	average	low	low	average	Normal
21	<input checked="" type="checkbox"/>	average	low	low	average	low	Normal
22	<input checked="" type="checkbox"/>	average	low	low	high	low	Normal

Tabella 40 – Regole per il FIS globale a 5, per l'incidente m200, per il codScenario3

Rule	Active	IF M_FIS1_INF	AND M_FIS2_INF	AND R_FIS1_INF	AND V_FIS1_INF	AND V_FIS2_INF	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	low	low	low	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	high	low	low	low	low	Normal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	average	low	low	low	low	Normal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	high	high	low	low	low	Abnormal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	high	low	low	Normal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	low	average	low	Normal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	average	high	low	low	low	Abnormal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	low	high	low	low	low	Abnormal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	high	low	high	low	low	Normal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	average	low	high	low	low	Normal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	high	high	high	low	low	Abnormal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	high	low	low	average	low	Normal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	high	average	low	Normal
14	<input checked="" type="checkbox"/>	average	low	low	average	low	Normal
15	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	average	low	low	Normal
16	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	low	low	average	Normal
17	<input checked="" type="checkbox"/>	average	high	high	low	low	Abnormal

Tabella 41 – Regole per il FIS globale a 5, per l'incidente r100, per il codScenario1

Rule	Active	IF M_FIS1_INF	AND M_FIS2_INF	AND R_FIS1_INF	AND V_FIS1_INF	AND V_FIS2_INF	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	low	low	low	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	high	low	low	Abnormal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	average	low	low	Normal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	average	low	low	low	low	Normal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	low	average	low	low	low	Normal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	high	low	low	low	low	Normal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	low	low	average	Normal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	low	average	average	low	low	Abnormal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	high	high	low	Abnormal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	high	low	high	Abnormal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	average	low	high	low	low	Abnormal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	low	high	high	Normal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	low	average	high	low	high	Abnormal
14	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	low	high	low	Normal
15	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	high	average	low	Abnormal

Tabella 42 – Regole per il FIS globale a 5, per l'incidente r100, per il codScenario2

Rule	Active	IF M_FIS1_INF	AND M_FIS2_INF	AND R_FIS1_INF	AND V_FIS1_INF	AND V_FIS2_INF	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	low	low	low	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	high	low	low	Abnormal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	high	low	low	low	low	Normal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	average	low	low	low	low	Normal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	low	low	average	Normal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	high	low	average	Abnormal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	low	high	low	Normal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	low	average	low	low	low	Normal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	high	low	high	Abnormal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	average	low	low	Normal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	average	average	low	low	low	Normal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	average	low	high	low	low	Abnormal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	average	average	low	low	average	Normal
14	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	low	low	high	Normal

Tabella 43 – Regole per il FIS globale a 5, per l'incidente r100, per il codScenario3

Rule	Active	IF M_FIS1_INF	AND M_FIS2_INF	AND R_FIS1_INF	AND V_FIS1_INF	AND V_FIS2_INF	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	low	low	low	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	high	low	low	Abnormal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	high	low	low	low	low	Normal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	average	low	low	low	low	Normal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	low	average	low	Normal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	average	low	low	Normal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	high	low	average	Abnormal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	high	low	high	low	low	Abnormal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	average	low	high	low	low	Abnormal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	average	low	low	average	low	Normal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	low	low	average	Normal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	high	low	low	average	low	Normal

Tabella 44 – Regole per il FIS globale a 5, per l'incidente v200, per il codScenario1

Rule	Active	IF M_FIS1_INF	AND M_FIS2_INF	AND R_FIS1_INF	AND V_FIS1_INF	AND V_FIS2_INF	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	low	low	low	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	high	low	low	Normal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	low	high	high	Abnormal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	average	high	high	Abnormal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	high	high	high	Abnormal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	low	average	high	Abnormal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	high	low	low	high	high	Abnormal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	high	low	high	high	high	Abnormal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	low	high	low	Abnormal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	high	low	low	low	low	Normal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	average	low	low	Normal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	high	low	average	high	high	Abnormal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	average	low	low	high	high	Abnormal
14	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	average	low	high	Abnormal
15	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	high	high	low	Abnormal
16	<input checked="" type="checkbox"/>	low	average	average	high	high	Abnormal
17	<input checked="" type="checkbox"/>	low	average	low	high	high	Abnormal
18	<input checked="" type="checkbox"/>	low	average	low	low	low	Normal
19	<input checked="" type="checkbox"/>	high	low	low	average	high	Abnormal
20	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	low	low	high	Abnormal
21	<input checked="" type="checkbox"/>	low	high	low	low	high	Normal

Tabella 45 – Regole per il FIS globale a 5, per l'incidente v200, per il codScenario2

Rule	Active	IF M_FIS1_INF	AND M_FIS2_INF	AND R_FIS1_INF	AND V_FIS1_INF	AND V_FIS2_INF	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	low	low	low	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	high	low	low	Normal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	low	low	high	Abnormal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	low	high	high	Abnormal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	high	low	low	low	low	Normal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	high	high	high	Abnormal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	low	average	high	Abnormal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	high	low	high	Abnormal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	high	low	low	low	high	Abnormal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	average	low	low	low	low	Normal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	high	low	low	high	high	Abnormal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	low	low	average	Normal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	average	low	low	high	high	Abnormal
14	<input checked="" type="checkbox"/>	average	low	low	low	high	Abnormal
15	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	average	low	low	Normal
16	<input checked="" type="checkbox"/>	low	average	low	low	high	Abnormal
17	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	high	low	average	Normal
18	<input checked="" type="checkbox"/>	low	average	low	low	low	Normal
19	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	low	average	low	Normal
20	<input checked="" type="checkbox"/>	high	low	low	average	high	Abnormal
21	<input checked="" type="checkbox"/>	high	low	high	high	high	Abnormal
22	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	low	high	low	Abnormal
23	<input checked="" type="checkbox"/>	average	low	high	low	high	Abnormal
24	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	high	average	high	Abnormal
25	<input checked="" type="checkbox"/>	high	low	high	low	high	Abnormal
26	<input checked="" type="checkbox"/>	high	high	low	high	high	Abnormal
27	<input checked="" type="checkbox"/>	low	high	high	low	high	Abnormal
28	<input checked="" type="checkbox"/>	average	average	high	low	high	Abnormal
29	<input checked="" type="checkbox"/>	high	low	high	average	low	Normal
30	<input checked="" type="checkbox"/>	average	high	low	low	low	Normal

Tabella 46 – Regole per il FIS globale a 5, per l'incidente v200, per il codScenario3

Rule	Active	IF M_FIS1_INF	AND M_FIS2_INF	AND R_FIS1_INF	AND V_FIS1_INF	AND V_FIS2_INF	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	low	low	low	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	high	low	low	low	low	Normal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	average	low	low	low	low	Normal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	high	low	low	Normal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	low	average	low	Normal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	low	high	high	Abnormal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	average	low	low	Normal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	high	high	high	Abnormal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	high	low	low	high	high	Abnormal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	average	low	low	high	high	Abnormal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	high	low	high	high	high	Abnormal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	low	low	high	Abnormal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	average	low	low	low	high	Abnormal
14	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	high	average	high	Abnormal
15	<input checked="" type="checkbox"/>	high	low	high	low	low	Normal
16	<input checked="" type="checkbox"/>	average	low	high	low	low	Normal
17	<input checked="" type="checkbox"/>	average	low	high	high	high	Abnormal
18	<input checked="" type="checkbox"/>	high	low	low	average	low	Normal
19	<input checked="" type="checkbox"/>	high	low	high	low	high	Abnormal
20	<input checked="" type="checkbox"/>	high	low	average	low	low	Normal
21	<input checked="" type="checkbox"/>	high	low	low	low	high	Abnormal
22	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	low	low	average	Normal
23	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	high	low	high	Abnormal
24	<input checked="" type="checkbox"/>	average	low	average	low	low	Normal
25	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	low	average	high	Abnormal
26	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	high	low	average	Abnormal
27	<input checked="" type="checkbox"/>	high	low	low	average	high	Abnormal
28	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	low	high	low	Normal
29	<input checked="" type="checkbox"/>	high	low	high	low	average	Abnormal
30	<input checked="" type="checkbox"/>	high	low	high	high	low	Abnormal

Si integra l'esposizione delle regole, con il confronto tra quante regole sono state generate automaticamente e quante sono state aggiunte in fase di calibrazione:

Tabella 47 – FIS globale a 5: numero di regole generate automaticamente e numero di regole aggiunte

<i>incidente</i>	<i>codScenario</i>	<i>numero regole generate con FPA</i>	<i>numero di regole finali</i>	<i>numero di regole aggiunte</i>
m200	1	10	14	4
	2	15	22	7
	3	17	17	0
r100	1	7	15	8
	2	10	14	4
	3	12	12	0
v200	1	14	21	7
	2	25	30	5
	3	28	30	2
totale		138	175	37

È possibile osservare come, al crescere del flusso (codScenario), tenda a crescere il numero di regole. Inoltre, si nota la maggiore aggiunta di regole si ha per i valori di flusso più basso (codScenario 1 e 2)

4.2.3.6 Definizione degli stati del sistema

Siano **0** il codice che corrisponde allo *stato del sistema in condizioni normali* (no incidente), **1** il codice che corrisponde allo *stato del sistema nell'istante in cui si verifica l'incidente*, e **2** il codice che corrisponde allo *stato anomalo del sistema dato dalle perturbazioni che l'incidente induce sul deflusso veicolare dopo che si è verificato*.

Si sono importati i file di testo relativi ai risultati dell'inferenza del FIS globale a 5 in un database relazionale, in particolare il campo INF (valori tra 0 e 1, output fuzzy) dei vari file di testo ottenuti per ogni caso di incidente e per ogni codScenario. I dati sono stati elaborati per definire gli stati del sistema, nel seguente ordine:

- a. attribuzione del codice 1, quando il campo INF risulta maggiore o uguale a 0.5;
- b. conferma dei codici 1, quando esiste una sequenza di codici 1, composta da tre termini temporalmente adiacenti (tre minuti successivi in cui viene inferito codice 1);

- c. attribuzione del codice 2, quando lo scarto temporale tra gli istanti in cui sono stati dichiarati i codici 1 risulta inferiore o uguale a due minuti.

4.2.3.7 Misure di prestazione

Si sono calcolate le misure di prestazione (§1.4.4.2) relative alla capacità di identificare l'incidente per ogni caso di incidente e per ogni codScenario.

Per il parametro *numero di applicazioni dell'algoritmo* si è scelto il valore 180 (numero totale di istanti temporali su cui è applicato l'algoritmo). Tale scelta è stata adottata in quanto la variabile "spazio" è fissata (dipende dal caso di incidente e dalle spire scelte per la costruzione del sistema), perciò l'algoritmo lavora solo sulla variabile "tempo".

Per il parametro *intervallo temporale* si è di nuovo scelto il valore 180 (180 sono i minuti di durata di ogni simulazione relativa agli incidenti).

Si riportano di seguito le misure di prestazione aggregate per codScenario.

Tabella 48 – Misure di prestazione del FIS globale a 5 in funzione del tipo di incidente (localizzazione) e dello scenario

incidente	codScenario	DR	FAR1	FAR2	FAR3	ATTD
m200	1	100	0,0	0,0	0,0	1,1
	2	100	0,0	0,0	0,0	1,6
	3	100	0,0	0,0	0,0	2,0
r100	1	100	0,0	0,0	0,0	2,6
	2	100	0,0	0,0	0,0	3,3
	3	100	0,0	0,0	0,0	3,0
v200	1	100	0,0	0,0	0,0	0,3
	2	100	0,0	0,0	0,0	0,4
	3	100	0,1	10,0	0,1	0,4

Si ricorda che per ogni codScenario e per ogni caso di incidente sono state lanciate 10 simulazioni, cioè un totale di $10 \times 3(\text{codScenario}) \times 3(\text{casi di incidente}) = 90$ simulazioni. Quindi le misure di prestazione per ogni codScenario vanno intese rispetto al verificarsi di 10 incidenti.

È possibile osservare che l'incidente viene sempre rilevato ($DR=100\%$) e che i tassi di falsi allarmi (FAR) differiscono da zero solo per il caso di incidente v200 quando il flusso sulla strada principale è pari a 3000 aeq/h, tuttavia tali indicatori presentano valori molto bassi; infine si può notare che il tempo medio necessario a rilevare l'incidente (ATTD) varia tra i 0,3 minuti (incidente v200, codScenario 1) e i 3,3 minuti (incidente r100, codScenario 2), cioè il sistema risponde prontamente alla presenza di incidenti.

4.2.3.8 Analisi dei possibili conflitti

Esistendo la possibilità che un FIS calibrato per un determinato caso di incidente, dia allarmi anche per gli altri due casi, si è verificata tale situazione, usando i dataset di validazione degli altri due casi, calcolando le misure di prestazione che ne conseguono.

L'esito del calcolo è che le misure di prestazione risultano nulle per ogni possibile conflitto, cioè non esiste alcun conflitto. Pertanto è possibile identificare l'incidente spazialmente (per le tre posizioni considerate nelle prove) oltre che temporalmente.

4.2.4 FIS globale a 3

4.2.4.1 Schematizzazione

Per la schematizzazione del FIS globale che sarà ora presentato, si veda la Figura 50 – FIS globale a 3: spire di riferimento e localizzazioni dell'incidente, nonché la Tabella 13 – Spire, FIS globali, FIS singoli e durata di ogni incidente.

4.2.4.2 FIS singoli

I 3 FIS singoli sono stati calibrati e validati per ogni caso di incidente (posizioni m200, r100 e v200; si veda §3.2.1) e per ogni codScenario.

Tabella 49 – Situazioni per le quali sono stati calibrati e validati i FIS singoli relativi al FIS globale a 3

<i>FIS singolo</i>	<i>incidente</i>	<i>codScenario</i>
M_FIS1	m200	1
		2
		3
	r100	1
		2
		3
	v200	1
		2
		3
R_FIS1	m200	1
		2
		3
	r100	1
		2
		3
	v200	1
		2
		3
V_FIS2	m200	1
		2
		3
	r100	1
		2
		3
	v200	1
		2
		3

È stato necessario considerare ogni caso di incidente per “rafforzare” i FIS singoli (calibrazione e validazione dei FIS singoli per ogni caso di incidente), al fine di migliorare le prestazioni del FIS globale a 3 che ne consegue, soprattutto in termini di conflitti³² nella rilevazione dei diversi incidenti. Diversamente, i FIS singoli del FIS globale a 5 erano stati calibrati e validati ognuno per la posizione di incidente più prossima alla spira cui il FIS singolo faceva riferimento.

³² Per conflitto si è intesa la risposta di un FIS globale calibrato per il verificarsi di un incidente in una posizione diversa da quella in cui viene effettivamente a verificarsi l'incidente.

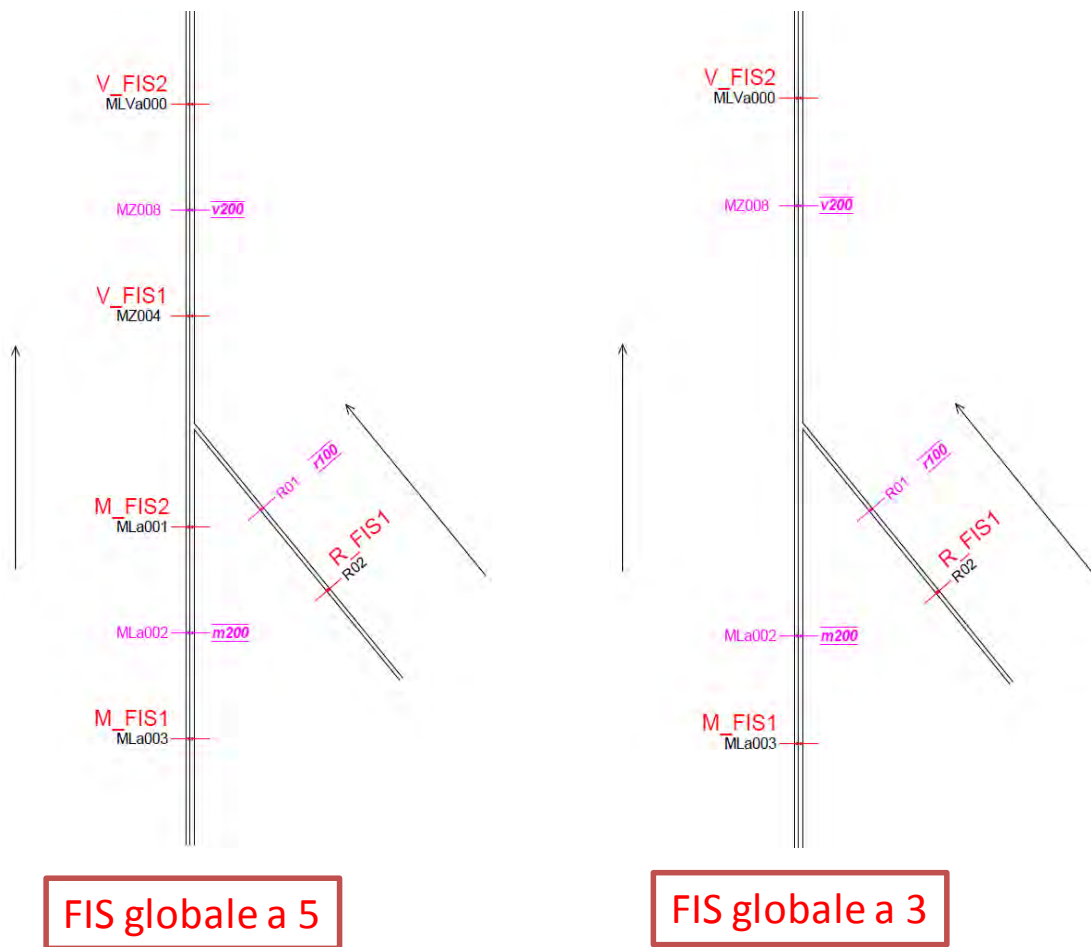


Figura 60 – Spire di riferimento e localizzazioni dell'incidente per i due FIS globali

Dunque, per il FIS globale a 3, parte dei FIS singoli erano già stati preparati per determinati casi di incidente, cioè secondo quanto riporta la Tabella 20 – FIS globale a 5, incidenti relativi ai FIS singoli.

Si riportano le regole complete dei FIS singoli.

Tabella 50 – Regole per M_FIS1, per l'incidente m200, per codScenario1

Rule	Active	IF DIST_q_k_L1	AND DIST_q_V_s_L1	AND DIST_q_k_L2	AND DIST_q_V_s_L2	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Small	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Small	Small	Normal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Small	Small	Normal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Medium	Normal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Small	Large	Abnormal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Large	Abnormal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Small	Small	Abnormal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Medium	Abnormal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Large	Abnormal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Small	Medium	Abnormal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Medium	Abnormal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Small	Small	Abnormal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Large	Medium	Medium	Abnormal
14	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Small	Large	Abnormal
15	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Small	Small	Abnormal
16	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Small	Large	Abnormal
17	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Large	Abnormal
18	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Small	Medium	Abnormal
19	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Medium	Small	Abnormal
20	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Small	Abnormal
21	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Large	Medium	Abnormal
22	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Large	Abnormal

Tabella 51 – Regole per M_FIS1, per l'incidente m200, per codScenario2

Rule	Active	IF DIST_q_k_L1	AND DIST_q_V_s_L1	AND DIST_q_k_L2	AND DIST_q_V_s_L2	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Small	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Small	Small	Normal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Small	Small	Normal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Small	Small	Normal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Medium	Abnormal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Medium	Abnormal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Large	Medium	Abnormal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Small	Small	Normal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Large	Large	Abnormal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Large	Normal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Small	Normal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Small	Small	Normal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Large	Small	Small	Normal
14	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Small	Small	Abnormal
15	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Small	Medium	Abnormal
16	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Large	Normal
17	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Small	Medium	Abnormal
18	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Small	Medium	Normal
19	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Medium	Medium	Abnormal
20	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Large	Large	Abnormal
21	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Large	Medium	Abnormal
22	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Medium	Normal
23	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Medium	Large	Normal
24	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Medium	Abnormal
25	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Small	Medium	Abnormal
26	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Large	Normal
27	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Medium	Abnormal
28	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Large	Large	Abnormal
29	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Large	Large	Abnormal
30	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Medium	Medium	Abnormal
31	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Small	Large	Abnormal
32	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Large	Medium	Abnormal

Tabella 52 – Regole per M_FIS1, per l'incidente m200, per codScenario3

Rule	Active	IF DIST_q_k_L1	AND DIST_q_V_s_L1	AND DIST_q_k_L2	AND DIST_q_V_s_L2	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Small	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Medium	Abnormal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Small	Small	Normal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Medium	Abnormal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Large	Normal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Small	Small	Normal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Small	Small	Normal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Large	Small	Small	Normal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Large	Large	Normal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Small	Small	Normal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Small	Small	Normal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Large	Medium	Abnormal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Small	Medium	Normal
14	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Small	Medium	Normal
15	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Medium	Normal
16	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Small	Normal
17	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Small	Medium	Abnormal
18	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Medium	Medium	Normal
19	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Large	Normal
20	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Large	Normal
21	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Medium	Medium	Abnormal
22	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Medium	Large	Normal
23	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Medium	Large	Normal
24	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Large	Large	Normal
25	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Small	Medium	Abnormal
26	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Medium	Normal
27	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Small	Medium	Abnormal
28	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Small	Small	Normal
29	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Large	Normal
30	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Large	Medium	Abnormal
31	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Large	Large	Normal
32	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Small	Small	Normal
33	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Medium	Medium	Abnormal
34	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Large	Large	Normal
35	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Small	Large	Normal
36	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Large	Normal
37	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Large	Large	Normal
38	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Large	Medium	Medium	Normal
39	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Large	Medium	Abnormal
40	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Large	Large	Abnormal
41	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Small	Large	Normal

Tabella 53 – Regole per M_FIS1, per l'incidente r100, per codScenario1

Rule	Active	IF DIST_q_k_L1	AND DIST_q_V_s_L1	AND DIST_q_k_L2	AND DIST_q_V_s_L2	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Small	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Small	Small	Normal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Small	Small	Normal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Small	Normal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Medium	Normal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Large	Medium	Normal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Small	Small	Normal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Small	Small	Normal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Large	Normal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Small	Small	Normal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Large	Medium	Normal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Large	Large	Normal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Medium	Normal
14	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Medium	Normal
15	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Large	Normal

Tabella 54 – Regole per M_FIS1, per l'incidente r100, per codScenario2

Rule	Active	IF DIST_q_k_L1	AND DIST_q_V_s_L1	AND DIST_q_k_L2	AND DIST_q_V_s_L2	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Small	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Small	Small	Normal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Small	Small	Normal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Small	Small	Normal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Small	Small	Normal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Small	Normal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Large	Small	Small	Normal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Small	Small	Normal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Medium	Normal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Large	Small	Normal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Small	Small	Normal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Large	Medium	Normal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Large	Medium	Large	Normal

Tabella 55 – Regole per M_FIS1, per l'incidente r100, per codScenario3

Rule	Active	IF DIST_q_k_L1	AND DIST_q_v_s_L1	AND DIST_q_k_L2	AND DIST_q_v_s_L2	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Small	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Small	Small	Normal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Small	Small	Normal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Small	Small	Normal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Large	Small	Small	Normal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Small	Small	Normal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Medium	Normal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Small	Normal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Small	Small	Normal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Medium	Normal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Large	Large	Normal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Medium	Abnormal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Small	Small	Normal
14	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Medium	Medium	Normal
15	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Large	Medium	Normal
16	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Small	Normal
17	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Small	Medium	Normal
18	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Small	Medium	Normal
19	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Large	Normal
20	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Large	Large	Normal
21	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Large	Medium	Medium	Normal
22	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Small	Medium	Normal
23	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Medium	Medium	Normal
24	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Medium	Small	Normal
25	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Small	Medium	Normal
26	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Large	Normal
27	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Medium	Normal
28	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Small	Large	Normal
29	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Small	Large	Normal
30	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Large	Large	Normal
31	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Small	Large	Normal

Tabella 56 – Regole per M_FIS1, per l'incidente v200, per codScenario1

Rule	Active	IF DIST_q_k_L1	AND DIST_q_v_s_L1	AND DIST_q_k_L2	AND DIST_q_v_s_L2	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Small	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Small	Small	Normal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Small	Small	Normal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Small	Normal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Medium	Normal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Small	Small	Normal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Small	Small	Normal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Small	Small	Normal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Medium	Normal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Large	Small	Small	Abnormal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Small	Small	Normal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Medium	Medium	Normal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Large	Large	Large	Abnormal
14	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Medium	Abnormal
15	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Large	Abnormal
16	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Large	Large	Abnormal
17	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Large	Medium	Abnormal

Tabella 57 – Regole per M_FIS1, per l'incidente v200, per codScenario2

Rule	Active	IF DIST_q_k_L1	AND DIST_q_v_s_L1	AND DIST_q_k_L2	AND DIST_q_v_s_L2	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Small	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Small	Small	Normal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Small	Small	Normal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Small	Small	Normal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Small	Small	Normal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Small	Small	Abnormal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Small	Normal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Medium	Normal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Large	Small	Small	Normal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Small	Small	Abnormal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Medium	Abnormal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Small	Medium	Abnormal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Small	Medium	Abnormal
14	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Large	Abnormal
15	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Large	Abnormal
16	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Large	Abnormal
17	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Small	Abnormal
18	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Large	Medium	Abnormal
19	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Large	Medium	Abnormal
20	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Small	Abnormal
21	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Medium	Abnormal
22	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Large	Medium	Abnormal

Tabella 58 – Regole per M_FIS1, per l'incidente v200, per codScenario3

Rule	Active	IF DIST_q_k_L1	AND DIST_q_V_s_L1	AND DIST_q_k_L2	AND DIST_q_V_s_L2	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Small	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Small	Small	Normal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Large	Normal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Medium	Normal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Medium	Normal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Small	Small	Normal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Medium	Large	Normal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Small	Medium	Normal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Medium	Medium	Normal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Large	Large	Abnormal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Small	Abnormal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Large	Normal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Small	Medium	Normal
14	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Small	Large	Normal
15	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Large	Large	Normal
16	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Medium	Medium	Normal
17	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Medium	Large	Normal

Tabella 59 – Regole per R_FIS1, per l'incidente m200, per codScenario1

Rule	Active	IF DIST_q_k	AND DIST_q_V_s	AND SMS	AND K	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Large	Medium	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Large	Small	Normal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Large	Small	Normal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Large	Normal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Large	Small	Normal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Medium	Normal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Medium	Normal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Medium	Small	Normal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Small	Normal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Medium	Normal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Medium	Normal

Tabella 60 – Regole per R_FIS1, per l'incidente m200, per codScenario2

Rule	Active	IF DIST_q_k	AND DIST_q_V_s	AND SMS	AND K	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Large	Small	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Large	Medium	Normal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Large	Small	Normal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Large	Normal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Large	Small	Normal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Medium	Normal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Medium	Normal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Large	Small	Normal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Small	Normal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Medium	Small	Normal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Medium	Normal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Medium	Large	Normal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Medium	Large	Normal
14	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Large	Medium	Medium	Normal
15	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Large	Medium	Small	Normal
16	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Large	Normal
17	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Small	Large	Normal

Tabella 61 – Regole per R_FIS1, per l'incidente m200, per codScenario3

Rule	Active	IF DIST_q_k	AND DIST_q_V_s	AND SMS	AND K	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Large	Small	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Large	Small	Normal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Large	Normal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Large	Medium	Normal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Large	Small	Normal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Medium	Normal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Large	Medium	Normal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Small	Normal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Medium	Large	Normal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Medium	Small	Normal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Small	Large	Normal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Medium	Medium	Normal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Medium	Normal
14	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Small	Large	Normal
15	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Medium	Medium	Normal
16	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Small	Medium	Normal
17	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Medium	Normal
18	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Small	Medium	Normal
19	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Large	Normal

Tabella 62 – Regole per R_FIS1, per l'incidente r100, per codScenario1

Rule	Active	IF DIST_q_k	AND DIST_q_V_s	AND SMS	AND K	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Large	Medium	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Large	Small	Normal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Large	Abnormal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Large	Small	Normal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Small	Normal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Large	Small	Normal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Medium	Normal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Medium	Normal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Medium	Medium	Normal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Medium	Small	Normal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Small	Normal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Medium	Normal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Medium	Medium	Normal
14	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Medium	Normal
15	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Small	Medium	Abnormal
16	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Small	Small	Abnormal

Tabella 63 – Regole per R_FIS1, per l'incidente r100, per codScenario2

Rule	Active	IF DIST_q_k	AND DIST_q_V_s	AND SMS	AND K	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Large	Small	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Large	Small	Normal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Large	Abnormal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Large	Medium	Normal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Small	Normal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Large	Small	Normal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Medium	Medium	Normal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Medium	Normal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Small	Normal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Medium	Medium	Normal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Medium	Normal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Medium	Normal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Medium	Small	Normal
14	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Small	Medium	Normal
15	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Large	Normal
16	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Small	Small	Abnormal

Tabella 64 – Regole per R_FIS1, per l'incidente r100, per codScenario3

Rule	Active	IF DIST_q_k	AND DIST_q_V_s	AND SMS	AND K	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Large	Small	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Large	Small	Normal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Medium	Medium	Normal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Medium	Abnormal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Large	Small	Normal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Medium	Normal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Small	Normal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Medium	Normal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Small	Normal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Large	Abnormal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Large	Medium	Normal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Large	Medium	Normal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Small	Normal
14	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Medium	Small	Normal
15	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Small	Small	Normal
16	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Small	Large	Normal

Tabella 65 – Regole per R_FIS1, per l'incidente v200, per codScenario1

Rule	Active	IF DIST_q_k	AND DIST_q_V_s	AND SMS	AND K	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Large	Small	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Large	Medium	Normal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Large	Small	Normal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Large	Normal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Large	Small	Normal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Large	Medium	Normal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Medium	Normal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Medium	Abnormal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Medium	Small	Normal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Medium	Medium	Normal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Small	Medium	Abnormal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Medium	Medium	Normal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Medium	Medium	Abnormal
14	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Small	Abnormal
15	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Medium	Abnormal
16	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Small	Medium	Abnormal
17	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Medium	Abnormal

Tabella 66 – Regole per R_FIS1, per l'incidente v200, per codScenario2

Rule	Active	IF DIST_q_k	AND DIST_q_V_s	AND SMS	AND K	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Large	Small	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Large	Small	Normal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Large	Normal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Large	Medium	Normal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Large	Small	Normal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Medium	Medium	Normal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Medium	Normal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Small	Medium	Abnormal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Medium	Normal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Medium	Medium	Normal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Medium	Small	Normal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Small	Normal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Small	Medium	Abnormal
14	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Small	Small	Abnormal
15	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Small	Small	Abnormal
16	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Medium	Normal
17	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Small	Small	Abnormal

Tabella 67 – Regole per R_FIS1, per l'incidente v200, per codScenario3

Rule	Active	IF DIST_q_k	AND DIST_q_V_s	AND SMS	AND K	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Large	Small	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Medium	Medium	Normal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Large	Normal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Large	Small	Normal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Medium	Medium	Normal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Large	Small	Normal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Medium	Medium	Normal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Medium	Normal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Medium	Normal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Small	Medium	Abnormal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Small	Normal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Small	Small	Abnormal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Small	Medium	Normal
14	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Small	Medium	Normal
15	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Small	Small	Abnormal
16	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Small	Large	Medium	Normal
17	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Small	Normal
18	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Large	Small	Normal
19	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Medium	Small	Normal
20	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Small	Small	Abnormal

Tabella 68 – Regole per V_FIS2, per l'incidente m200, per codScenario1

Rule	Active	IF SMS_L1	AND K_L1	AND SMS_L2	AND K_L2	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Large	Small	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Large	Medium	Normal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Large	Small	Normal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Large	Medium	Normal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Large	Small	Normal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Large	Small	Normal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Medium	Small	Normal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Medium	Abnormal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Medium	Small	Normal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Medium	Normal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Large	Medium	Normal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Medium	Medium	Normal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Small	Normal
14	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Medium	Medium	Normal
15	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Large	Medium	Normal
16	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Small	Normal
17	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Large	Small	Normal
18	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Small	Large	Normal

Tabella 69 – Regole per V_FIS2, per l'incidente m200, per codScenario2

Rule	Active	IF SMS_L1	AND K_L1	AND SMS_L2	AND K_L2	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Large	Small	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Large	Medium	Normal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Medium	Abnormal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Large	Normal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Medium	Small	Abnormal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Large	Small	Normal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Medium	Medium	Normal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Large	Small	Normal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Large	Medium	Normal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Medium	Normal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Large	Medium	Normal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Large	Normal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Large	Large	Normal
14	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Large	Small	Normal
15	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Large	Medium	Normal
16	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Small	Large	Normal
17	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Medium	Normal
18	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Small	Medium	Normal
19	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Medium	Small	Normal
20	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Large	Normal
21	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Small	Normal
22	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Small	Large	Normal
23	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Large	Medium	Large	Normal
24	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Large	Large	Medium	Normal
25	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Small	Medium	Normal
26	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Small	Large	Normal
27	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Small	Medium	Normal
28	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Large	Small	Normal
29	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Small	Abnormal
30	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Small	Small	Normal
31	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Medium	Medium	Normal
32	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Small	Medium	Normal
33	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Medium	Large	Normal
34	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Large	Medium	Medium	Normal
35	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Large	Large	Normal
36	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Small	Medium	Normal
37	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Small	Small	Normal
38	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Large	Large	Normal
39	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Small	Small	Normal
40	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Small	Normal
41	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Large	Small	Large	Normal
42	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Small	Large	Normal
43	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Small	Large	Normal
44	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Small	Small	Normal
45	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Medium	Medium	Normal
46	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Small	Large	Normal

Tabella 70 – Regole per V_FIS2, per l'incidente m200, per codScenario3

Rule	Active	IF SMS_L1	AND K_L1	AND SMS_L2	AND K_L2	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Large	Medium	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Large	Large	Normal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Large	Small	Abnormal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Large	Medium	Normal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Large	Medium	Normal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Large	Large	Normal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Large	Normal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Large	Large	Normal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Large	Normal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Medium	Normal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Large	Small	Normal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Medium	Large	Normal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Large	Medium	Normal
14	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Medium	Medium	Normal
15	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Large	Medium	Normal
16	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Large	Normal
17	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Medium	Small	Abnormal
18	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Medium	Normal
19	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Large	Small	Abnormal
20	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Large	Small	Normal
21	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Large	Large	Normal
22	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Medium	Medium	Normal
23	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Medium	Normal
24	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Medium	Small	Abnormal
25	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Large	Medium	Normal
26	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Medium	Large	Normal
27	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Medium	Medium	Normal
28	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Small	Normal
29	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Medium	Large	Normal
30	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Large	Small	Normal
31	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Large	Large	Normal
32	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Small	Large	Normal

Tabella 71 – Regole per V_FIS2, per l'incidente r100, per codScenario1

Rule	Active	IF SMS_L1	AND K_L1	AND SMS_L2	AND K_L2	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Large	Medium	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Large	Small	Normal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Large	Medium	Normal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Large	Small	Normal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Large	Small	Normal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Large	Small	Normal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Large	Medium	Normal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Medium	Small	Normal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Medium	Small	Normal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Medium	Normal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Medium	Normal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Medium	Medium	Normal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Large	Medium	Normal
14	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Small	Normal
15	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Medium	Medium	Normal
16	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Small	Normal

Tabella 72 – Regole per V_FIS2, per l'incidente r100, per codScenario2

Rule	Active	IF SMS_L1	AND K_L1	AND SMS_L2	AND K_L2	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Large	Medium	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Large	Small	Normal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Large	Medium	Normal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Large	Medium	Normal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Large	Large	Normal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Large	Small	Normal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Large	Small	Normal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Large	Normal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Large	Large	Normal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Large	Small	Normal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Large	Normal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Medium	Normal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Medium	Medium	Normal
14	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Large	Large	Normal
15	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Medium	Medium	Abnormal
16	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Medium	Normal
17	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Medium	Small	Abnormal
18	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Medium	Small	Normal
19	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Medium	Large	Normal
20	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Large	Medium	Normal
21	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Small	Normal
22	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Medium	Large	Abnormal
23	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Large	Medium	Normal
24	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Medium	Medium	Normal
25	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Medium	Large	Large	Normal
26	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Small	Large	Normal
27	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Medium	Medium	Normal

Tabella 73 – Regole per V_FIS2, per l'incidente r100, per codScenario3

Rule	Active	IF SMS_L1	AND K_L1	AND SMS_L2	AND K_L2	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Large	Medium	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Large	Medium	Normal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Large	Medium	Normal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Large	Small	Normal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Large	Small	Normal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Medium	Normal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Large	Small	Normal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Medium	Medium	Normal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Large	Small	Abnormal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Large	Medium	Normal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Medium	Normal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Medium	Medium	Abnormal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Medium	Small	Abnormal
14	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Medium	Small	Normal
15	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Small	Abnormal
16	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Large	Medium	Normal
17	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Medium	Normal
18	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Large	Small	Normal
19	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Large	Small	Normal
20	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Large	Medium	Normal
21	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Small	Normal
22	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Medium	Medium	Normal
23	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Medium	Small	Normal

Tabella 74 – Regole per V_FIS2, per l'incidente v200, per codScenario1

Rule	Active	IF SMS_L1	AND K_L1	AND SMS_L2	AND K_L2	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Large	Small	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Large	Small	Normal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Large	Small	Normal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Large	Small	Normal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Medium	Medium	Abnormal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Large	Medium	Normal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Large	Medium	Normal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Medium	Small	Normal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Medium	Small	Normal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Small	Normal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Large	Medium	Normal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Medium	Abnormal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Medium	Medium	Abnormal
14	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Medium	Medium	Abnormal
15	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Medium	Small	Abnormal
16	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Small	Large	Normal

Tabella 75 – Regole per V_FIS2, per l'incidente v200, per codScenario2

Rule	Active	IF SMS_L1	AND K_L1	AND SMS_L2	AND K_L2	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Large	Medium	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Large	Small	Normal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Large	Small	Normal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Large	Small	Normal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Small	Large	Abnormal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Large	Medium	Normal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Medium	Normal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Medium	Normal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Large	Medium	Normal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Large	Small	Normal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Large	Normal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Large	Large	Normal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Small	Normal
14	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Medium	Medium	Normal
15	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Medium	Large	Normal
16	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Medium	Small	Normal
17	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Small	Large	Abnormal
18	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Medium	Small	Normal
19	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Small	Normal
20	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Medium	Medium	Normal
21	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Medium	Large	Normal
22	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Large	Medium	Normal
23	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Large	Large	Normal
24	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Large	Large	Normal
25	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Small	Medium	Abnormal
26	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Medium	Normal
27	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Small	Medium	Normal
28	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Small	Large	Abnormal
29	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Small	Medium	Abnormal
30	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Small	Large	Normal
31	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Small	Large	Normal
32	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Small	Small	Small	Normal
33	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Small	Medium	Abnormal

Tabella 76 – Regole per V_FIS2, per l'incidente v200, per codScenario3

Rule	Active	IF SMS_L1	AND K_L1	AND SMS_L2	AND K_L2	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Large	Medium	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Large	Small	Normal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Medium	Medium	Abnormal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Medium	Normal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Large	Medium	Abnormal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Large	Small	Normal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Medium	Medium	Abnormal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Medium	Large	Small	Normal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Small	Medium	Small	Abnormal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Medium	Medium	Small	Normal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	Large	Large	Large	Small	Normal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Large	Small	Normal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	Small	Large	Medium	Small	Abnormal
14	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Large	Medium	Normal
15	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Medium	Small	Normal
16	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium	Large	Small	Large	Normal

Si commentano ora le tabelle appena presentate, mettendo in luce soprattutto la conclusione delle regole (*THEN StatoSistema*), quando questa riguarda i casi diversi da quelli evidenziati di seguito:

Tabella 77 – Situazioni per le quali sono stati calibrati e validati i FIS singoli relativi al FIS globale a 3, tra le quali si evidenziano quelle dove la localizzazione dell'incidente è più prossima alla spira cui si riferisce ogni FIS singolo

<i>FIS singolo</i>	<i>incidente</i>	<i>codScenario</i>
M_FIS1	m200	1
		2
		3
	r100	1
		2
		3
	v200	1
		2
		3
R_FIS1	m200	1
		2
		3
	r100	1
		2
		3
	v200	1
		2
		3
V_FIS2	m200	1
		2
		3
	r100	1
		2
		3
	v200	1
		2
		3

Si vuole portare l'attenzione su tali casi, in quanto quelli sopra evidenziati forniscono le medesime osservazioni riferibili ai FIS singoli del FIS globale a 5, cioè ogni FIS singolo riesce sempre ad interpretare la situazione di incidente quando questo è localizzato sulla spira più prossima a quella a cui il FIS singolo stesso fa riferimento, ossia sono deducibili le regole che hanno come conclusione che lo stato del sistema è anomalo (*Abnormal*).

Commenti

- I. Osservando il campo *THEN StatoSistema* delle tabelle precedenti (dalla Tabella 50 alla Tabella 58: regole per M_FIS1), è possibile notare che M_FIS1 riesce ad interpretare la situazione dell'incidente v200 (dalla Tabella 56 alla Tabella 58: regole per M_FIS1, per l'incidente v200), mentre altrettanto non si può dire per l'incidente r100 (dalla Tabella 53 alla Tabella 55: regole per M_FIS1, per l'incidente r100). Infatti, con riferimento all'incidente v200, si riscontra che il campo *THEN StatoSistema*, più volte assume il valore *Abnormal* (incidente), mentre lo stesso non capita per l'incidente r100.
- II. Osservando il campo *THEN StatoSistema* delle tabelle precedenti (dalla Tabella 59 alla Tabella 67: regole per R_FIS1), è possibile notare che R_FIS1 riesce ad interpretare la situazione dell'incidente v200 (dalla Tabella 65 alla Tabella 67: regole per R_FIS1, per l'incidente v200), mentre altrettanto non si può dire per l'incidente m200 (dalla Tabella 59 alla Tabella 61: regole per R_FIS1, per l'incidente m200). Infatti, con riferimento all'incidente v200, si riscontra che il campo *THEN StatoSistema*, più volte assume il valore *Abnormal* (incidente), mentre lo stesso non capita per l'incidente m200.
- III. Osservando il campo *THEN StatoSistema* delle tabelle precedenti (dalla Tabella 68 alla Tabella 76: regole per V_FIS2), è possibile notare che V_FIS2 riesce ad interpretare la situazione dell'incidente m200 (dalla Tabella 68 alla Tabella 70: regole per V_FIS2, per l'incidente m200), come pure quella dell'incidente r100 (dalla Tabella 71 alla Tabella 73: regole per V_FIS2, per l'incidente r100). Infatti, con riferimento agli incidenti m200 e r100, si riscontra che il campo *THEN StatoSistema*, più volte assume il valore *Abnormal* (incidente).

Si integra l'esposizione delle regole, con il confronto tra quante regole sono state generate automaticamente e quante sono state aggiunte in fase di calibrazione:

Tabella 78 – FIS singoli relativi al FIS globale a 3: numero di regole generate automaticamente e numero di regole aggiunte

<i>FIS singolo</i>	<i>incidente</i>	<i>codScenario</i>	<i>numero regole generate con FPA</i>	<i>numero di regole finali</i>	<i>numero di regole aggiunte</i>
M_FIS1	m200	1	18	22	4
		2	28	32	4
		3	40	41	1
	r100	1	11	15	4
		2	12	13	1
		3	31	31	0
	v200	1	12	17	5
		2	19	22	3
		3	17	17	0
R_FIS1	m200	1	11	11	0
		2	17	17	0
		3	19	19	0
	r100	1	15	16	1
		2	16	16	0
		3	15	16	1
	v200	1	17	17	0
		2	17	17	0
		3	20	20	0
V_FIS2	m200	1	16	18	2
		2	45	46	1
		3	31	32	1
	r100	1	16	16	0
		2	24	27	3
		3	23	23	0
	v200	1	15	16	1
		2	33	33	0
		3	15	16	1
totale			553	586	33

È possibile osservare come il maggior numero di regole tenda a verificarsi per il codScenario 2 (strada principale con flusso pari a 2000 aeq/h). Inoltre, si nota che a richiedere la maggiore aggiunta di regole è M_FIS1, in particolare per il codScenario 1; per gli altri FIS singoli, mediamente, il numero di regole aggiunte è molto contenuto, risultando, in particolare, nullo per R_FIS1 per gli incidenti m200 e v200.

4.2.4.3 Sviluppo del FIS globale

4.2.4.4 Input, output e funzioni di appartenenza

Si sono aggregati i risultati dell'inferenza (output) di ogni FIS singolo, per ogni caso di incidente (m200, r100 e v200) e per ogni codScenario. Quindi si sono creati i dataset di calibrazione e validazione per ogni codScenario e per ogni caso di incidente, con tali risultati dell'inferenza (divenuti input per il FIS globale a 3) e la variabile StatoSistema relativa ad ogni caso di incidente (output per il FIS globale a 3).

Tabella 79 – Descrizione sintetica della variabili di input e di output di *FIS globale a 3*

FIS globale a 3					
VARIABILI DI INPUT			VARIABILI DI OUTPUT		
Nome della variabile	Tipologia della funzione di appartenenza	Variabile linguistica	Nome della variabile	Tipologia della funzione di appartenenza	Variabile linguistica
M_FIS1_INF	trapezoidale triangolare trapezoidale	low average high	Stato sistema	trapezoidale trapezoidale	Normal Abnormal
R_FIS1_INF	trapezoidale triangolare trapezoidale	low average high			
V_FIS2_INF	trapezoidale triangolare trapezoidale	low average high			

Analogamente a quanto fatto per il FIS globale a 5, si sono definite manualmente le funzioni di appartenenza, imponendole uguali per ogni variabile di input.

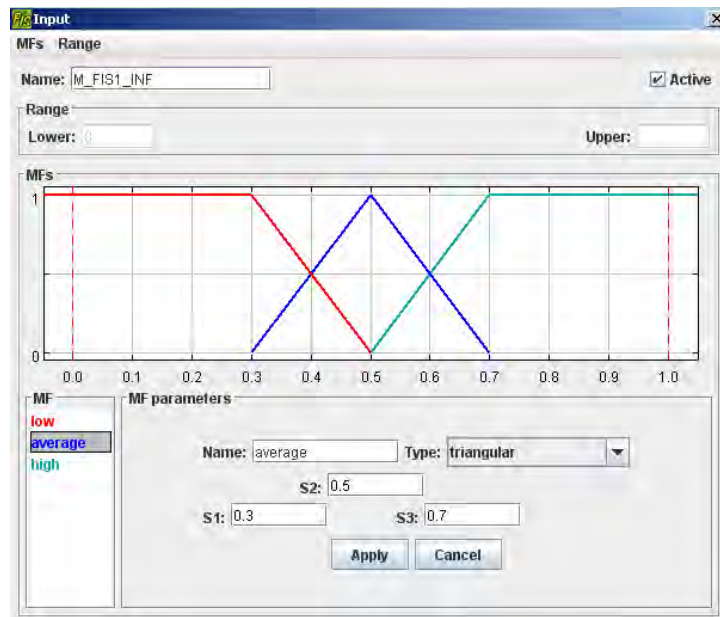


Figura 61 – Funzioni di appartenenza di una variabile di input del FIS globale a 3

Le funzioni di appartenenza della variabile di output sono state definite in modo da risultare identiche ad ogni FIS.

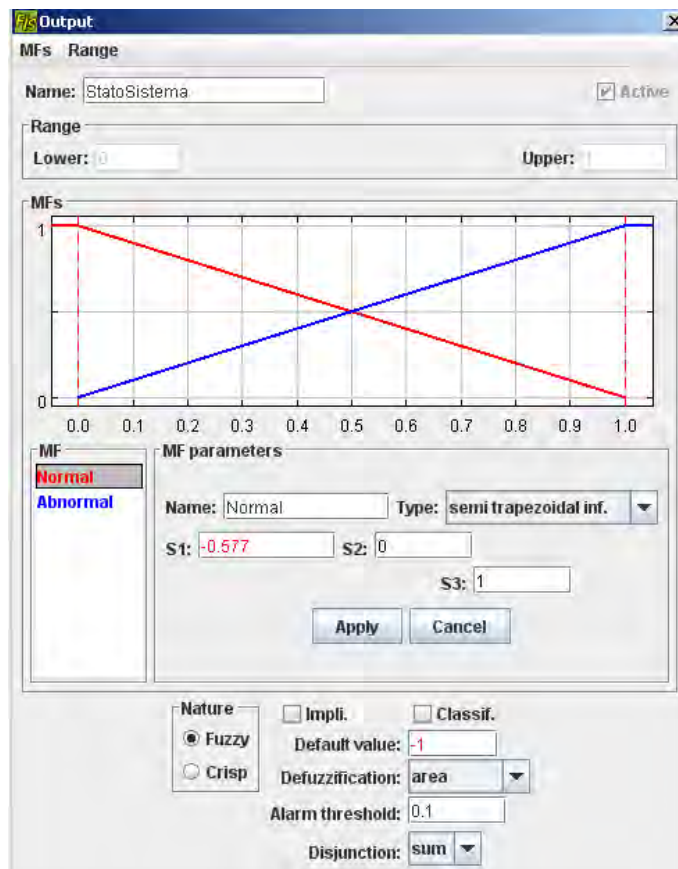


Figura 62 – Funzioni di appartenenza della variabile di output del FIS globale a 3

4.2.4.5 Generazione delle regole

Come fatto per i FIS singoli, si è proceduto a generare le regole, a calibrare e validare il FIS globale, per ogni caso di incidente e per ogni codScenario.

Nelle successive tabelle sono riportate le regole ottenute.

Tabella 80 – Regole per il FIS globale a 3, per l'incidente m200, per il codScenario1

Rule	Active	IF M_FIS1_INF	AND R_FIS1_INF	AND V_FIS2_INF	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	low	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	high	low	low	Abnormal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	average	Normal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	high	low	high	Abnormal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	high	low	average	Abnormal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	high	Normal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	average	low	low	Normal

Tabella 81 – Regole per il FIS globale a 3, per l'incidente m200, per il codScenario2

Rule	Active	IF M_FIS1_INF	AND R_FIS1_INF	AND V_FIS2_INF	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	low	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	high	low	low	Abnormal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	average	Normal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	average	low	low	Normal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	high	low	average	Abnormal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	high	low	high	Abnormal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	high	Normal

Tabella 82 – Regole per il FIS globale a 3, per l'incidente m200, per il codScenario3

Rule	Active	IF M_FIS1_INF	AND R_FIS1_INF	AND V_FIS2_INF	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	low	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	high	low	low	Normal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	average	low	low	Normal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	high	low	high	Abnormal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	high	Normal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	average	Normal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	average	low	high	Abnormal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	high	low	average	Abnormal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	average	low	average	Abnormal

Tabella 83 – Regole per il FIS globale a 3, per l'incidente r100, per il codScenario1

Rule	Active	IF M_FIS1_INF	AND R_FIS1_INF	AND V_FIS2_INF	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	low	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	low	high	low	Abnormal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	low	average	low	Normal

Tabella 84 – Regole per il FIS globale a 3, per l'incidente r100, per il codScenario2

Rule	Active	IF M_FIS1_INF	AND R_FIS1_INF	AND V_FIS2_INF	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	low	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	low	high	low	Abnormal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	average	Normal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	high	Normal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	low	high	high	Abnormal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	low	high	average	Abnormal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	low	average	low	Normal

Tabella 85 – Regole per il FIS globale a 3, per l'incidente r100, per il codScenario3

Rule	Active	IF M_FIS1_INF	AND R_FIS1_INF	AND V_FIS2_INF	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	low	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	low	high	low	Abnormal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	average	Normal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	high	Normal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	low	high	high	Abnormal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	low	high	average	Abnormal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	average	low	low	Normal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	low	average	low	Normal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	high	low	low	Normal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	high	high	high	Abnormal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	average	high	low	Abnormal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	high	high	low	Abnormal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	average	low	high	Normal

Tabella 86 – Regole per il FIS globale a 3, per l'incidente v200, per il codScenario1

Rule	Active	IF M_FIS1_INF	AND R_FIS1_INF	AND V_FIS2_INF	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	low	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	low	high	high	Abnormal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	high	Abnormal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	low	high	low	Normal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	low	average	high	Abnormal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	low	average	low	Normal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	high	high	high	Abnormal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	average	Normal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	high	low	high	Abnormal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	high	low	low	Normal

Tabella 87 – Regole per il FIS globale a 3, per l'incidente v200, per il codScenario2

Rule	Active	IF M_FIS1_INF	AND R_FIS1_INF	AND V_FIS2_INF	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	low	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	high	high	high	Abnormal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	low	high	high	Abnormal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	high	Abnormal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	high	low	high	Abnormal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	low	average	low	Normal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	high	low	low	Normal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	average	high	high	Abnormal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	average	Normal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	low	high	low	Normal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	average	low	low	Normal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	average	low	high	Abnormal

Tabella 88 – Regole per il FIS globale a 3, per l'incidente v200, per il codScenario3

Rule	Active	IF M_FIS1_INF	AND R_FIS1_INF	AND V_FIS2_INF	THEN StatoSistema
1	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	low	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	low	high	high	Abnormal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	high	Abnormal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	low	average	low	Normal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	low	low	average	Normal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	average	low	low	Normal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	low	high	low	Normal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	average	low	high	Abnormal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	high	high	high	Abnormal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	high	low	low	Normal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	low	high	average	Abnormal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	high	low	high	Abnormal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	average	high	high	Abnormal

Si integra l'esposizione delle regole del FIS globale a 3, con il confronto tra quante regole sono state generate automaticamente e quante sono state aggiunte in fase di calibrazione:

Tabella 89 – FIS globale a 3: numero di regole generate automaticamente e numero di regole aggiunte

incidente	codScenario	numero regole generate con FPA	numero di regole finali	numero di regole aggiunte
m200	1	7	7	0
	2	7	7	0
	3	9	9	0
r100	1	3	3	0
	2	7	7	0
	3	10	13	3
v200	1	10	10	0
	2	12	12	0
	3	13	13	0
totale		78	81	3

È possibile osservare che il numero di regole tende a crescere al crescere del flusso sulla strada principale (codScenario); inoltre è osservabile che il numero di regole aggiunte è molto contenuto e limitato al codScenario 3 per l'incidente r100.

4.2.4.6 Definizione degli stati del sistema

Si sono definiti gli stati del sistema in modo del tutto uguale a quello usato per il FIS globale a 5 (§4.2.3.6).

4.2.4.7 Misure di prestazione

Si sono calcolate le misure di prestazione (§1.4.4.2) relative alla capacità di identificare l'incidente per ogni caso di incidente e per ogni codScenario.

Per il parametro *numero di applicazioni dell'algoritmo* si è scelto il valore 180 (numero totale di istanti temporali su cui è applicato l'algoritmo). Tale scelta è stata adottata in quanto la variabile "spazio" è fissata (dipende dal caso di incidente e dalle spire scelte per la costruzione del sistema), perciò l'algoritmo lavora solo sulla variabile "tempo".

Per il parametro *intervallo temporale* si è di nuovo scelto il valore 180 (180 sono i minuti di durata di ogni simulazione relativa agli incidenti).

Si riportano di seguito le misure di prestazione aggregate per codScenario.

Tabella 90 – Misure di prestazione del FIS globale a 3

incidente	codScenario	DR	FAR1	FAR2	FAR3	ATTD
m200	1	100	0,0	0,0	0,0	0,9
	2	100	0,1	8,3	0,1	4,0
	3	70	0,1	7,1	0,1	5,9
r100	1	90	0,2	22,2	0,2	2,1
	2	100	0,0	0,0	0,0	3,2
	3	100	0,0	0,0	0,0	3,0
v200	1	100	0,0	0,0	0,0	0,9
	2	100	0,0	0,0	0,0	0,8
	3	100	0,0	0,0	0,0	0,5

4.2.4.8 *Analisi dei possibili conflitti*

Esistendo la possibilità che un FIS calibrato per un determinato caso di incidente, dia allarmi anche per gli altri due casi, si è verificata tale situazione, usando i dataset di validazione degli altri due casi, calcolando le misure di prestazione che ne conseguono.

L'esito del calcolo è riportato nelle successive tabelle (ci si limita a riportare i conflitti, altrimenti nulla viene rilevato).

Tabella 91 – FIS globale a 3, calibrato per l'incidente m200: conflitti con gli altri FIS globale 3 calibrati per i restanti due casi di incidente

incidente	codScenario	DR	FAR1	FAR2	FAR3	ATTD
v200	2	40	0,0	0,0	0,0	13,8

Tabella 92 – FIS globale a 3, calibrato per l'incidente r100: conflitti con gli altri FIS globale 3 calibrati per i restanti due casi di incidente

incidente	codScenario	DR	FAR1	FAR2	FAR3	ATTD
v200	2	40	0,0	0,0	0,0	8,4
	3	80	0,0	0,0	0,0	4,5

Dunque per conflitto si è intesa la risposta di un FIS globale calibrato per il verificarsi di un incidente in una posizione diversa da quella in cui viene effettivamente a verificarsi l'incidente.

Considerando che siano fatti funzionare contemporaneamente tutti i FIS globali a 3 (quello calibrato per l'incidente m200, quello calibrato per l'incidente r100 e quello calibrato per l'incidente v200) e considerando che l'incidente avvenga in una delle 3 posizioni simulate (m200, r100 e v200), la risposta contemporanea di più di un FIS globale a 3 (codice 1) ha il significato dell'identificazione di più incidenti in più posizioni (m200 e/o r100 e/o v200), ma solo un sistema su tre fornisce la corretta identificazione dell'incidente che si è verificato, in particolare in termini spaziali.

Guardando ad un versione più semplice di un conflitto, qualora risponda solamente un FIS globale, diverso da quello calibrato per l'incidente che si è effettivamente verificato (ad esempio, il FIS globale a 3, calibrato per l'incidente r100 che inferisce il codice 1 quando l'incidente che si verifica è il v200), allora viene segnalata la presenza dell'incidente in una posizione diversa da quella a cui si riferisce l'evento reale (errata identificazione spaziale).

Valutando il manifestarsi di uno dei 3 possibili incidenti scelti per le prove (m200, r100 e v200), si nota che i conflitti riscontrati non sono mai falsi allarmi (indicatori FAR1, FAR2 e FAR3 nella Tabella 91 e nella Tabella 92), cioè viene inferito il codice 1 nel periodo in cui sicuramente si ha l'incidente. Questo significa che, dal punto di vista meramente temporale, si ha comunque l'identificazione dell'incidente, anche qualora risponda un FIS globale calibrato per il verificarsi di un incidente in una posizione diversa da quella in cui viene effettivamente a verificarsi l'incidente.

Invece, dal punto di vista spaziale, i conflitti riscontrati, portano a una errata identificazione dell'incidente (l'incidente viene segnalato dal sistema in una posizione diversa da quella in cui si verifica), tuttavia non è trascurabile in che istante si verifica il conflitto, cioè quando i sistemi rispondano ad un incidente diverso da quello per cui sono stati calibrati (indicatore ATTD nella Tabella 91 e nella Tabella 92). Infatti, se i conflitti si verificano in momenti successivi a quello in cui è avvenuta la corretta identificazione dell'incidente, ma tali momenti sono ancora relativi al perdurare dell'incidente, allora i conflitti di cui sopra assumono un significato molto più modesto, in quanto devono già essere state attuate le procedure di intervento per il soccorso e la rimozione dell'incidente.

Ciò è quanto si può riscontrare confrontando, in particolare la misura di prestazione ATTD che emerge dai conflitti con la stessa misura di prestazione offerta invece dal FIS globale a 3 calibrato proprio per la posizione in cui si è simulato avvenga l'incidente.

Tabella 93 – Differenza tra le misure di prestazione del FIS globale a 3 calibrato per l'incidente v200 applicato al dataset relativo all'incidente v200 e le misure di prestazione del FIS globale a 3 calibrato per l'incidente m200 applicato al dataset relativo all'incidente v200

incidente	codScenario	Δ DR	Δ FAR1	Δ FAR2	Δ FAR3	Δ ATTD
v200	2	60	0	0	0	-12,95

Tabella 94 – Differenza tra le misure di prestazione del FIS globale a 3 calibrato per l'incidente v200 applicato al dataset relativo all'incidente v200 e le misure di prestazione del FIS globale a 3 calibrato per l'incidente r100 applicato al dataset relativo all'incidente v200

incidente	codScenario	Δ DR	Δ FAR1	Δ FAR2	Δ FAR3	Δ ATTD
v200	2	60	0	0	0	-7,575
	3	20	0	0	0	-4

Infine, si osserva che il FIS globale a 3, calibrato per l'incidente v200, non manifesta alcun conflitto con gli altri FIS globale a tre calibrati per i restanti casi di incidente.

4.3 Confronto tra FIS globale a 5 e FIS globale a 3

Per costruzione e per i casi di incidente esaminati (m200, r100 e v200), il FIS globale a 5 tende ad essere spazialmente più vincolato del FIS globale a 3, in quanto le spire di riferimento del primo FIS sono disposte in modo da considerare proprio le particolari condizioni indotte dall'incidente sul deflusso³³. A proposito si veda la successiva figura. Questo fatto, fintanto che non saranno simulati ulteriori incidenti localizzati in particolare tra la spira MLa001, la spira MZ004 e la spira R01, porta alla seguente conclusione: il FIS globale a 3 offre il vantaggio di considerare già, per quanto parzialmente, ciò che succede tra spire tra loro più distanti di quelle di riferimento per il FIS globale a 5, in relazione alle specifiche condizioni indotte dall'incidente sul deflusso.

Un altro vantaggio offerto dal FIS globale a 3 è il costo più contenuto dei sensori, in quanto richiede un numero minore di spire rispetto al FIS globale a 5.

³³ A valle del punto in cui è localizzato l'incidente, si hanno l'aumento della velocità V_s e il calo della densità K , mentre viceversa si verifica a monte (Škorput, Sadko, & Niko, 2010).

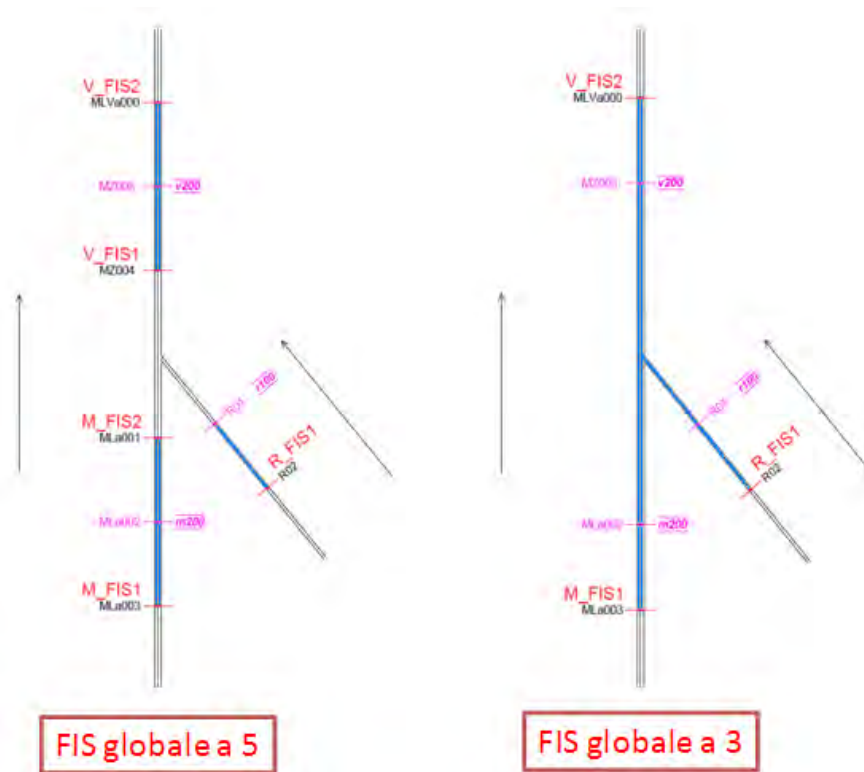


Figura 63 –Spire di riferimento e localizzazioni dell'incidente per i due FIS globali, con evidenziazione delle zone indagate

Si sono poi confrontate le prestazioni tra i due FIS globali, mettendo in luce la differenza delle misure di prestazione rispetto al FIS globale a 3, in modo da mostrare i cali/aumenti di tali misure rispetto al precedente sistema, come mostrato nella successiva tabella.

Per semplificare l'interpretazione delle tabelle di comparazione delle misure di prestazione si può ricorrere al seguente schema:

- si considerano due sistemi, i cui nomi sono *primo sistema* e *secondo sistema*;
- se $\Delta DR > 0$, il primo sistema è migliore del secondo, per quanto riguarda l'indicatore DR;
- se $\Delta FAR1 > 0$, il primo sistema è peggiore del secondo, per quanto riguarda l'indicatore FAR1;
- se $\Delta FAR2 > 0$, il primo sistema è peggiore del secondo, per quanto riguarda l'indicatore FAR2;
- se $\Delta FAR3 > 0$, il primo sistema è peggiore del secondo, per quanto riguarda l'indicatore FAR3;
- se $\Delta ATTD > 0$, il primo sistema è peggiore del secondo, per quanto riguarda l'indicatore ATTD.

Per rappresentare quando il primo sistema si dimostra migliore del secondo, si è adottata la colorazione azzurra per lo sfondo delle celle delle tabelle che seguono; quando, all'opposto, il secondo sistema si dimostra migliore del secondo, si è adottata la colorazione verde.

Tabella 95 – Differenza di prestazioni tra il FIS globale a 3 e il FIS globale a 5. Primo sistema: FIS globale a 3. Secondo sistema: FIS globale a 5.

incidente	codScenario	Δ DR	Δ FAR1	Δ FAR2	Δ FAR3	Δ ATTD
m200	1	0	0,0	0,0	0,0	-0,2
	2	0	0,1	8,3	0,1	2,4
	3	-30	0,1	7,1	0,1	3,9
r100	1	-10	0,2	22,2	0,2	-0,5
	2	0	0,0	0,0	0,0	-0,1
	3	0	0,0	0,0	0,0	0,0
v200	1	0	0,0	0,0	0,0	0,6
	2	0	0,0	0,0	0,0	0,4
	3	0	-0,1	-10,0	-0,1	0,1

Dal confronto, appare un generale calo di ogni misura di prestazione, per quanto contenuto. Il calo di prestazioni, che appare più significativo, si ha per l'incidente m200. Perciò si possono ritenere le performance del FIS globale a 3 ancora sufficientemente buone.

Infine, si può facilmente notare il numero più esiguo di regole del FIS globale a 3 rispetto al FIS globale a 5. Ciò significa che il FIS globale a 3 è più semplice e quindi potrebbe essere più facilmente implementabile in altre situazioni.

Tabella 96 – Confronto tra FIS globale a 5 e FIS globale a 3: differenza di numero di regole generate automaticamente e differenza di numero di regole aggiunte, rispetto al FIS globale a 5

incidente	codScenario	differenza numero regole generate con FPA	differenza numero di regole finali	differenza numero di regole aggiunte
m200	1	3	7	4
	2	8	15	7
	3	8	8	0
r100	1	4	12	8
	2	3	7	4
	3	2	-1	-3
v200	1	4	11	7
	2	13	18	5
	3	15	17	2
totale		60	94	34

5 Confronto con l'algoritmo California #7

Il seguente capitolo presenta l'analisi comparativa tra i sistemi proposti ed un algoritmo noto in letteratura (California #7) già impiegato come riferimento per la valutazione di sistemi automatici di identificazione degli incidenti.

5.1 Scenari e simulazioni

La situazione, in termini di flussi, è quella già presentata nella Tabella 12 (pag. 80); invece, con riferimento alle casistiche di incidente, si rimanda a §2.9 (pag. 57) e in particolare alla Figura 15 (pag. 59).

5.2 Algoritmo California #7

5.2.1 Introduzione

L'algoritmo California #7³⁴ è del tipo, cosiddetto, *comparativo*, infatti compara le misure di occupazione con soglie predefinite (secondo il principio che un incidente causa un significativo incremento dell'occupazione a monte dell'incidente), quindi segnala il verificarsi di tale evento se i valori eccedono tali soglie. Di questi algoritmi comparativi, il più noto è il "California", qui proposto nella sua variante #7, per ragioni di semplicità a proposito delle soglie e di performance, rispetto alle altre varianti, inoltre il California#7 è frequentemente preso a riferimento per le comparazioni con altri algoritmi (Parkany & Xie, 2005).

³⁴ (H. J. Payne, 1978), (Levin & Krause, Incident Detection: A Bayesian Approach, 1978), (Levin & Krause, Incident-Detection Algorithms: Part 1. Off-Line Evaluation, Part 2. On-Line Evaluation, 1979)

Le misure di prestazione restano le medesime degli altri algoritmi (§1.4.4.2, pag.34).

5.2.2 Principio di funzionamento

5.2.2.1 Riferimento spaziale

Si considera una serie di spire, separate tra loro in modo uniforme (passo costante), i indica la generica spira ed $i+1$ la spira successiva (a valle), mentre sia t è il generico istante.

5.2.2.2 Grandezze

Viene indicata come OCC l'occupazione della generica spira calcolata con riferimento ad un intervallo base di ampiezza pari ad un minuto.

Orbene, l'algoritmo California #7 ricorre ai seguenti parametri per valutare la variazione di occupazione nello spazio e nel tempo:

$$DOCC(t) = OCC(i + 1, t) \quad (28)$$

$$OCCDF(i, t) = OCC(i, t) - OCC(i + 1, t) \quad (29)$$

$$OCCRDF(i, t) = \frac{OCC(i,t) - OCC(i+1,t)}{OCC(i,t)} \quad (30)$$

Si osserva che il California "classico" utilizza un ulteriore parametro, che rappresenta la differenza tra i valori di occupazione della spira $i+1$ agli istanti $t-2$ e t , rapportata al valore di occupazione della spira $i+1$ all'istante $t-2$, ossia si tratta di una variazione relativa di occupazione nel tempo della spira di valle:

$$DOCCTD = \frac{OCC(i+1,t-2) - OCC(i+1,t)}{OCC(i+1,t-2)} \quad (31)$$

5.2.2.3 Soglie

Le soglie (§5.2.1) necessarie per attuare la comparazione tra stato normale e stato anomalo del sistema, sono definite per ogni parametro in condizioni normali (senza incidente) e vengono chiamate $T1$, $T2$, $T3$.

La soglia $T1$ è relativa al parametro $OCCDF$. La soglia $T2$ è relativa al parametro $OCCRDF$. La soglia $T3$ è relativa al parametro $DOCC$.

5.2.2.4 Verifica

La verifica avviene, dunque, rispetto alle 3 soglie, valutando una soglia alla volta, arrivando, secondo un definito albero decisionale (Figura 64), ad attribuire una codifica allo stato del sistema. Ciò, qualitativamente, corrisponde a confrontare le massime variazioni di occupazione e il massimo valore di occupazione della spira di valle, che si hanno in condizioni normali (soglie), con quelle che si hanno in condizioni di incidente.

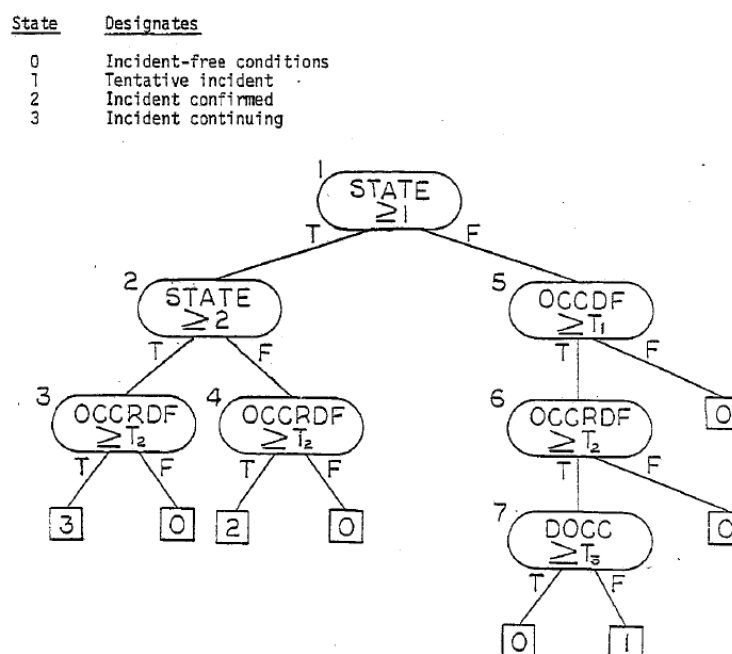


Figura 64 – Albero decisionale per l' algoritmo California #7 (Levin & Krause, Incident Detection: A Bayesian Approach, 1978)

5.2.3 Ipotesi semplificative

Per valutare la condizione post-incidente, oltre a quanto mostrato dall' albero decisionale (persistenza dell' indicatore OCCRDF oltre la sua soglia), si è considerato lo scarto temporale tra un allarme e il successivo, ponendo tale differenza contenuta in

5 minuti perché presumibilmente i due allarmi siano riferiti allo stesso incidente. Questa scelta è stata fatta per semplificare l'implementazione dell'algoritmo.

Tali considerazioni hanno permesso di definire il perdurare del medesimo incidente, considerato come analogo al codice 3 indicato dall'albero decisionale e nel contempo confrontabile con quello definito per i FIS globali (§4.2.3.6).

Analogamente ai FIS globali si sono costruiti due sistemi che impiegano il California #7 per identificare l'incidente, in termini di scelta di spire dalle quali interpretare i dati:

1. riferimento alle medesime spire disposte sulla strada principale, del FIS globale a 5 (Figura 49 a pag.114), altresì non si ha a disposizione alcuna coppia di spire sulla rampa per poter applicare il California #7;
2. riferimento alle medesime spire disposte sulla strada principale, del FIS globale a 3 (Figura 50 – FIS globale a 3: spire di riferimento e localizzazioni dell'incidente), altresì non si ha a disposizione alcuna coppia di spire sulla rampa per poter applicare il California #7.

5.2.4 Misure di prestazione

Si sono calcolate le misure di prestazione dell'algoritmo usando i medesimi parametri *numero di applicazioni dell'algoritmo e intervallo temporale* impiegati per la valutazione dei FIS globali (§4.2.3.7).

Si riportano nelle successive tabelle i risultati ottenuti.

Tabella 97 – Misure di prestazione del California#7 con spire su strada principale coincidenti con quelle usate per l'applicazione del FIS globale a 5

incidente	codScenario	DR	FAR1	FAR2	FAR3	ATTD
m200	1	10	0,1	66,7	0,1	7,5
	2	0	0,1	100,0	0,1	
	3	5	0,1	83,3	0,1	18,0
r100	1	10	0,1	62,5	0,1	4,5
	2	10	0,2	83,3	0,2	13,0
	3	0	0,1	100,0	0,1	
v200	1	0	0,2	100,0	0,2	
	2	50	0,1	52,5	0,1	6,0
	3	50	0,2	31,7	0,2	2,5

Tabella 98 – Misure di prestazione del California#7 con spire su strada principale coincidenti con quelle usate per l'applicazione del FIS globale a 3

incidente	codScenario	DR	FAR1	FAR2	FAR3	ATTD
m200	1	10	0,3	91,7	0,3	0,0
	2	100	0,1	5,0	0,1	6,1
	3	100	0,4	33,3	0,4	2,9
r100	1	20	0,2	75,0	0,2	11,0
	2	10	0,0	0,0	0,0	8,0
	3	10	0,1	50,0	0,1	1,0
v200	1	0	0,3	100,0	0,3	
	2	0	0,1	100,0	0,1	
	3	100	0,4	31,7	0,4	10,0

Si è quindi calcolata la differenza tra le misure ottenute dal primo sistema e quelle ottenute dal secondo (“5”-“3”).

Tabella 99 – Differenza tra le misure di prestazione del California#7 con spire su strada principale coincidenti con quelle usate per l'applicazione del FIS globale a 5 e quelle del California#7 con spire su strada principale coincidenti con quelle usate per l'applicazione del FIS globale a 3

incidente	codScenario	Δ DR	Δ FAR1	Δ FAR2	Δ FAR3	Δ ATTD
m200	1	0	-0,2	-25,0	-0,2	7,5
	2	-100	0,0	95,0	0,0	
	3	-95	-0,3	50,0	-0,3	15,1
r100	1	-10	-0,1	-12,5	-0,1	-6,5
	2	0	0,2	83,3	0,2	5,0
	3	-10	0,1	50,0	0,1	
v200	1	0	-0,2	0,0	-0,2	
	2	50	0,1	-47,5	0,1	
	3	-50	-0,2	0,0	-0,2	-7,5

Dunque la Tabella 99 mostra quanto segue:

- quando $\Delta DR < 0$, allora l'indicatore DR, del California #7, con le spire sulla strada principale coincidenti con quelle usate per l'applicazione del FIS globale a 5, è peggiore dell'indicatore DR, del California #7, con le spire sulla strada principale coincidenti con quelle usate per l'applicazione del FIS globale a 3, e questo fatto si verifica per 5 casi su 9 nella Tabella 99, in particolare emerge un valore ΔDR pari a -100 per l'incidente m200 per il codScenario 2; mentre una sola volta su 9 l'indicatore DR, del California #7, con le spire sulla strada principale coincidenti con quelle usate per l'applicazione del FIS globale a 5, è migliore dell'indicatore DR, del California #7, con le spire sulla strada principale coincidenti con quelle usate per l'applicazione del FIS globale a 3, e ciò capita per l'incidente v200 per il codScenario 2 con un valore ΔDR pari a 50; mentre 3 volte su 9 il parametro ΔDR assume valore pari a zero e cioè l'indicatore DR, del California #7, con le spire sulla strada principale coincidenti con quelle usate per l'applicazione del FIS globale a 5, è uguale all'indicatore DR, del California #7, con le spire sulla strada principale coincidenti con quelle usate per l'applicazione del FIS globale a 3, e quindi non si ha né un miglioramento né un peggioramento ad usare un sistema piuttosto dell'altro in questa particolare situazione;
- quando i parametri $\Delta FAR1$, $\Delta FAR2$ e $\Delta FAR3$ risultano minori di zero, allora gli indicatori FAR1, FAR2 e FAR3 del California #7, con le spire sulla strada principale coincidenti con quelle usate per l'applicazione del FIS globale a 5, sono migliori di quelli del California #7, con le spire sulla strada principale coincidenti con quelle usate per l'applicazione del FIS globale a 3; questo fatto si verifica nella maggioranza dei casi, nonché, quando capita l'opposto, il miglioramento è molto più contenuto del peggioramento, con l'eccezione del valore -47,5 assunto dal parametro $\Delta FAR2$ per l'incidente v200 per il codScenario 2;
- quando il campo $\Delta ATTD$ è nullo significa che solo uno dei due sistemi o nessuno dei due è riuscito ad identificare correttamente l'incidente, perciò si rimanda alla Tabella 97 e alla Tabella 98; da queste è possibile osservare che mediamente il California #7, con le spire sulla strada principale coincidenti con quelle usate per l'applicazione del FIS globale a 3, riesce mediamente a ad identificare meglio

l'incidente dell'altro sistema (indicatore DR) e in tempi minori (indicatore ATTD).

Complessivamente è possibile osservare che il sistema del California #7, con le spire sulla strada principale coincidenti con quelle usate per l'applicazione del FIS globale a 3, offre le prestazioni migliori.

5.3 Confronto tra California #7 e FIS

Si mettono ora a confronto le misure di prestazioni tra i due sistemi del California #7 e i due FIS globali. Tale confronto è mostrato dalle successive tabelle e completato da istogrammi che comparano le misure di prestazione di tutti i sistemi (negli istogrammi si è trascurato l'indicatore FAR3, in quanto coincidente con FAR2).

Il paragrafo viene concluso commentando i risultati più significativi.

Per semplificare l'interpretazione delle tabelle di comparazione delle misure di prestazione si può ricorrere al seguente schema:

- si considerano due sistemi, i cui nomi sono *primo sistema* e *secondo sistema*;
- se $\Delta DR > 0$, il primo sistema è migliore del secondo, per quanto riguarda l'indicatore DR;
- se $\Delta FAR1 > 0$, il primo sistema è peggiore del secondo, per quanto riguarda l'indicatore FAR1;
- se $\Delta FAR2 > 0$, il primo sistema è peggiore del secondo, per quanto riguarda l'indicatore FAR2;
- se $\Delta FAR3 > 0$, il primo sistema è peggiore del secondo, per quanto riguarda l'indicatore FAR3;
- se $\Delta ATTD > 0$, il primo sistema è peggiore del secondo, per quanto riguarda l'indicatore ATTD.

Tabella 100 – Differenza tra le misure di prestazione del California#7 con spire su strada principale coincidenti con quelle usate per l'applicazione del FIS globale a 3 e le misure di prestazione del FIS globale a 3. Primo sistema: California#7 con spire su strada principale coincidenti con quelle usate per l'applicazione del FIS globale a 3. Secondo sistema: FIS globale a 3.

incidente	codScenario	ΔDR	$\Delta FAR1$	$\Delta FAR2$	$\Delta FAR3$	$\Delta ATTD$
m200	1	-90	0,3	91,7	0,3	-0,9
	2	0	-0,1	-3,3	-0,1	2,1
	3	30	0,4	26,2	0,4	-3,0
r100	1	-70	0,0	52,8	0,0	8,9
	2	-90	0,0	0,0	0,0	4,8
	3	-90	0,1	50,0	0,1	-2,0
v200	1	-100	0,3	100,0	0,3	-0,9
	2	-100	0,1	100,0	0,1	-0,8
	3	0	0,4	31,7	0,4	9,5
<i>media</i>		-56,7	0,2	49,9	0,2	2,0

Tabella 101 – Differenza tra le misure di prestazione del California#7 con spire su strada principale coincidenti con quelle usate per l'applicazione del FIS globale a 3 e quelle del FIS globale a 5. Primo sistema: California#7 con spire su strada principale coincidenti con quelle usate per l'applicazione del FIS globale a 3. Secondo sistema: FIS globale a 5

incidente	codScenario	ΔDR	$\Delta FAR1$	$\Delta FAR2$	$\Delta FAR3$	$\Delta ATTD$
m200	1	-90	0,3	91,7	0,3	-1,1
	2	0	0,1	5,0	0,1	4,5
	3	0	0,4	33,3	0,4	0,9
r100	1	-80	0,2	75,0	0,2	8,4
	2	-90	0,0	0,0	0,0	4,7
	3	-90	0,1	50,0	0,1	-2,0
v200	1	-100	0,3	100,0	0,3	-0,3
	2	-100	0,1	100,0	0,1	-0,4
	3	0	0,3	21,7	0,3	9,6
<i>media</i>		-61,1	0,2	53,0	0,2	2,7

Tabella 102 – Differenza tra le misure di prestazione del California#7 con spire su strada principale coincidenti con quelle usate per l'applicazione del FIS globale a 5 e quelle del FIS globale a 3. Primo sistema: California#7 con spire su strada principale coincidenti con quelle usate per l'applicazione del FIS globale a 5. Secondo sistema: FIS globale a 3.

incidente	codScenario	ΔDR	$\Delta FAR1$	$\Delta FAR2$	$\Delta FAR3$	$\Delta ATTD$
m200	1	-90	0,1	66,7	0,1	6,6
	2	-100	0,0	91,7	0,0	-4,0
	3	-65	0,0	76,2	0,0	12,1
r100	1	-80	-0,1	40,3	-0,1	2,4
	2	-90	0,2	83,3	0,2	9,8
	3	-100	0,1	100,0	0,1	-3,0
v200	1	-100	0,2	100,0	0,2	-0,9
	2	-50	0,1	52,5	0,1	5,2
	3	-50	0,2	31,7	0,2	2,0
<i>media</i>		-80,6	0,1	71,4	0,1	3,4

Tabella 103 – Differenza tra le misure di prestazione del California#7 con spire su strada principale coincidenti con quelle usate per l'applicazione del FIS globale a 5 e quelle del FIS globale a 5. Primo sistema: California#7 con spire su strada principale coincidenti con quelle usate per l'applicazione del FIS globale a 5. Secondo sistema: FIS globale a 5.

incidente	codScenario	ΔDR	$\Delta FAR1$	$\Delta FAR2$	$\Delta FAR3$	$\Delta ATTD$
m200	1	-90	0,1	66,7	0,1	6,4
	2	-100	0,1	100,0	0,1	-1,6
	3	-95	0,1	83,3	0,1	16,0
r100	1	-90	0,1	62,5	0,1	1,9
	2	-90	0,2	83,3	0,2	9,7
	3	-100	0,1	100,0	0,1	-3,0
v200	1	-100	0,2	100,0	0,2	-0,3
	2	-50	0,1	52,5	0,1	5,6
	3	-50	0,1	21,7	0,1	2,1
<i>media</i>		-85,0	0,1	74,4	0,1	4,1



Figura 65 – Confronto DR per gli incidenti m200, r100, v200

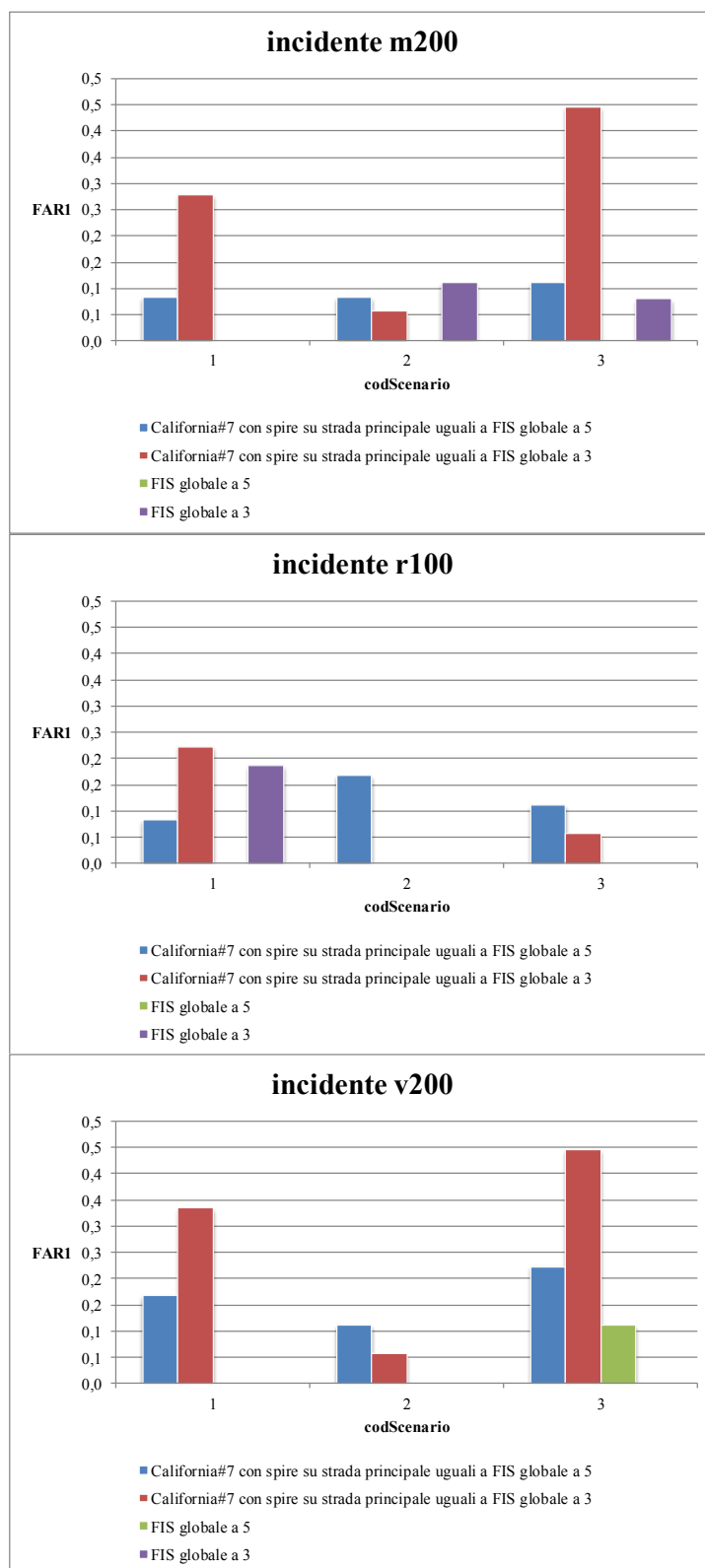


Figura 66 – Confronto FAR1 per gli incidenti m200, r100, v200

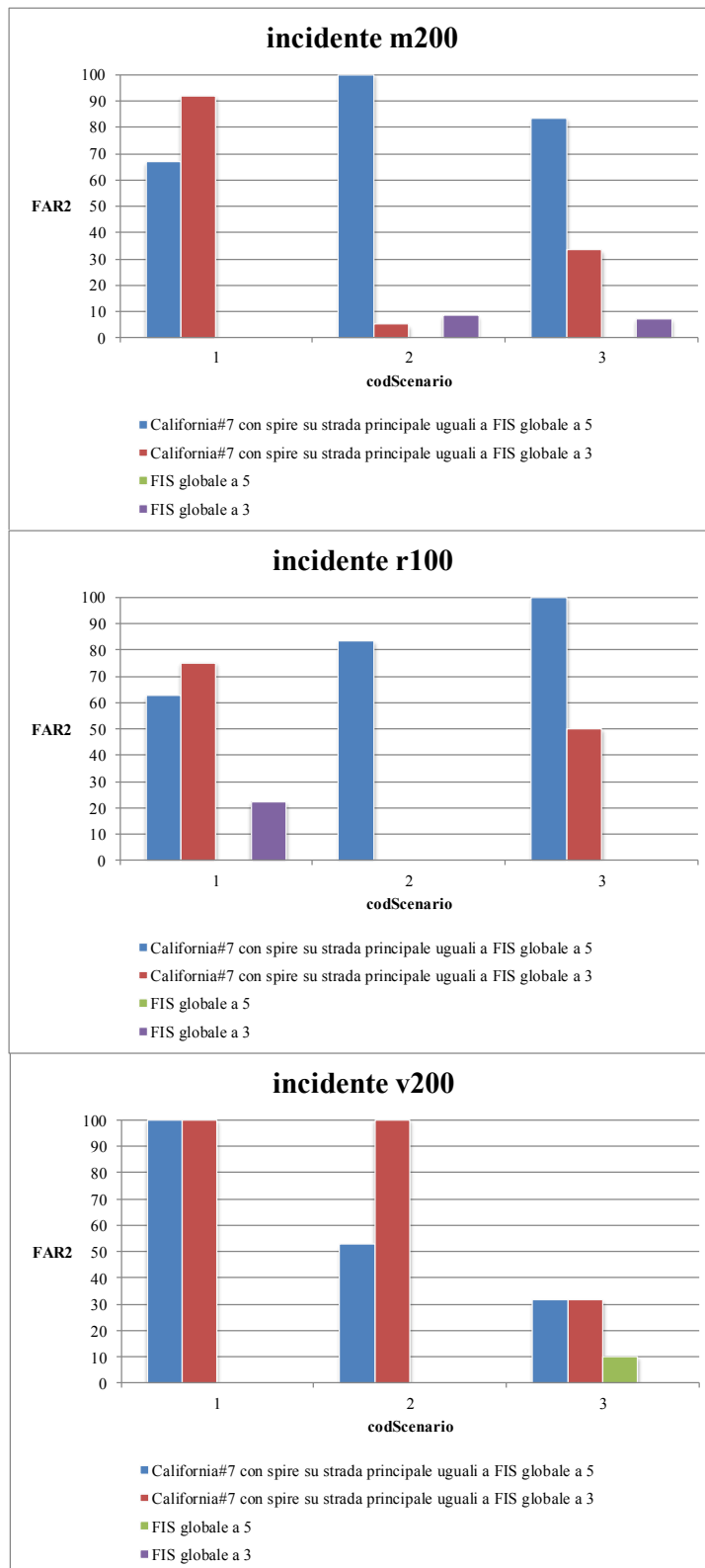


Figura 67 – Confronto FAR2 per gli incidenti m200, r100, v200

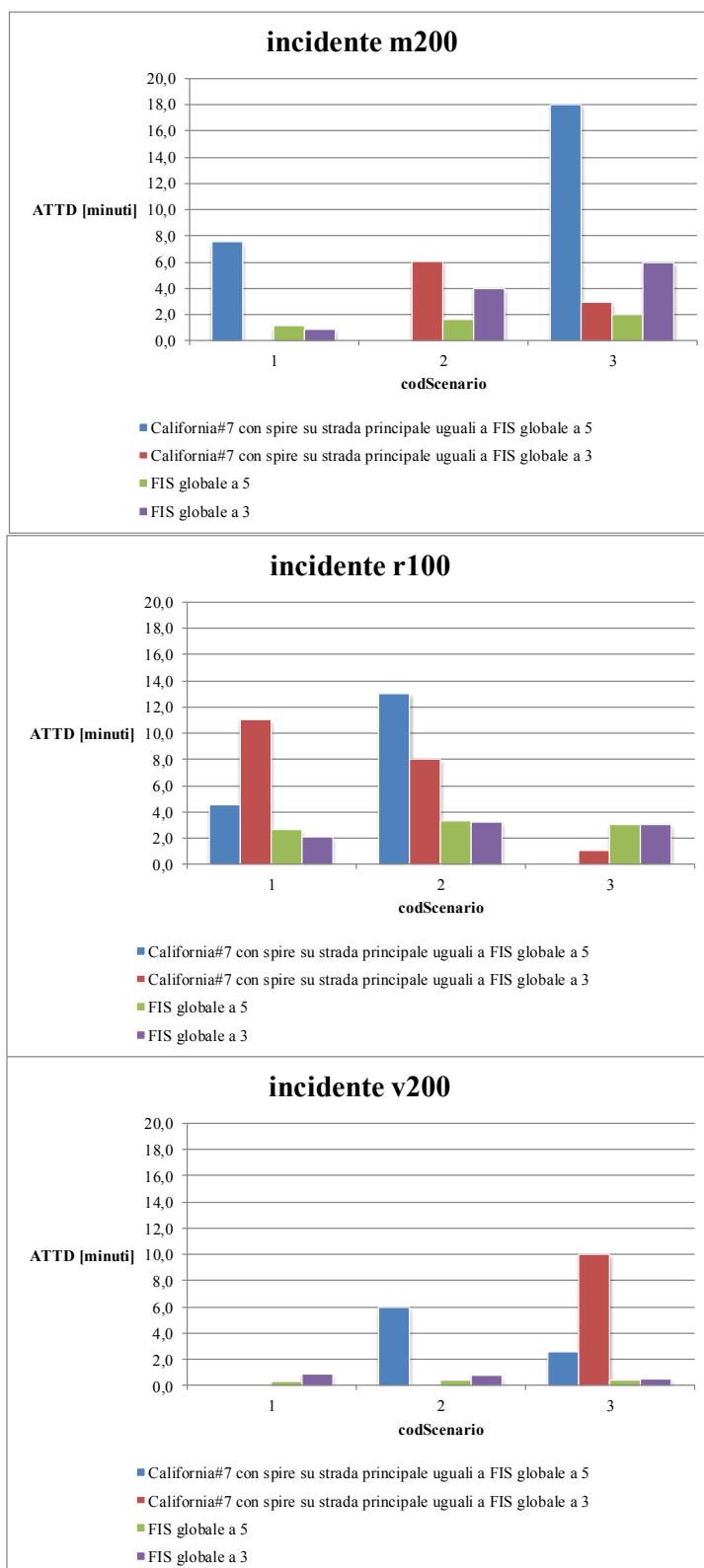


Figura 68 – Confronto ATTD per gli incidenti m200, r100, v200

Dal confronto emerge quanto segue:

- le misure di prestazione del FIS globale a 5 e del FIS globale a 3 sono quasi sempre comparabili, dimostrandosi leggermente superiore il FIS globale a 5 (§4.3, pag. 166);
- le misure di prestazione del FIS globale a 5 e del FIS globale a 3, nelle diverse situazioni (codScenario 1,2,3, e incidenti m200, r100, v200) risultano nettamente superiori a quelle offerte dai sistemi California #7, con le seguenti eccezioni:
 - incidente r100 per il codScenario 3: il California #7, con le spire sulla strada principale coincidenti con quelle usate per l'applicazione del FIS globale a 3, si dimostra superiore ai due FIS globali nell'indicatore ATTD (risposta con 2 minuti di anticipo del suddetto California #7 sui FIS globali, Tabella 101), tuttavia gli altri indicatori per il medesimo caso (r100, codScenario 3) sono decisamente a favore dei FIS globali, Tabella 101;
 - incidente m200 per il codScenario 3: il California #7, con le spire sulla strada principale coincidenti con quelle usate per l'applicazione del FIS globale a 3, si dimostra superiore al FIS globale a 3 nell'indicatore ATTD (risposta con 3 minuti di anticipo del suddetto California #7 sui FIS globali, Tabella 100), tuttavia gli indicatori FAR1, FAR2 e FAR3 per il medesimo caso (m200, codScenario 3) sono decisamente a favore dei FIS globali, Tabella 100;
- l'indicatore DR, per gli incidenti m200 e v200m, per il codScenario 3, offerto dai due FIS globali e dal California #7, con le spire sulla strada principale coincidenti con quelle usate per l'applicazione del FIS globale a 3, risulta confrontabile e pari a 100 (Figura 65), a meno dell'incidente m200 in cui l'indicatore DR relativo al FIS globale a 3 assume il valore 70 (Figura 65).

Giacché le misure di prestazione DR, FAR1, FAR2, FAR3 e ATTD vanno osservate insieme in ogni situazione (codScenario 1,2,3, e incidenti m200, r100, v200), si conclude che i FIS globali sono ampiamente superiori rispetto ai sistemi basati sul California #7.

Conclusioni

Con la presente tesi di laurea, si è sviluppato un sistema esperto basato sulla logica fuzzy per l'identificazione di incidenti in prossimità di rampe autostradali (in particolare rampe d'ingresso).

Durante la fase di inquadramento del problema (§1) si è studiata l'architettura dei sistemi di identificazione automatica degli incidenti, arrivando alla scelta dei sensori, alla loro disposizione nell'intorno della rampa d'ingresso, e alla scelta dell'algoritmo di identificazione; nella fase di progettazione del sistema si è optato per un'applicazione della logica fuzzy e scegliendo opportune variabili di stato del sistema (grandezze fondamentali del deflusso e distanze tra le curve di deflusso in condizioni di assenza di incidente e i punti sperimentali relativi alle condizioni di incidente). L'analisi della letteratura esistente ha evidenziato l'assenza di precedenti esperienze relative al caso di incidente nell'intorno di una rampa d'ingresso; la letteratura invece appare ampiamente sviluppata con riferimento al caso di un segmento base (deflusso ininterrotto).

Le difficoltà implicite nel reperire dati reali hanno reso necessario procedere per via simulativa (§2); sono stati studiati molteplici scenari in assenza e presenza di incidente (così, da un lato, è stato possibile ricavare le curve di deflusso in condizioni ordinarie e, dall'altra, i punti sperimentali riferiti alla simulazione di incidenti).

Durante la fase di calibrazione del modello di simulazione sviluppato con il software S-Paramics (§2.11), sono emerse delle difficoltà nel simulare realisticamente l'interazione delle correnti in corrispondenza della rampa d'ingresso; tali limiti sono stati confermati da altre esperienze riportate in letteratura (Sarvi & Kuwahara, 2007), di conseguenza si è intervenuti al punto di sostituire la rampa ottenibile dal comando predefinito di S-Paramics con una intersezione a T opportunamente configurata in termini di priorità.

L'esecuzione delle simulazioni ha reso possibile disporre delle curve di deflusso in condizioni ordinarie e dei punti sperimentali associati al verificarsi di incidenti, conseguentemente sono stati quantificati gli scostamenti tra le curve ordinarie e detti punti sperimentali (§3) che sono stati assunti come indicatori di stato.

Le variabili necessarie all'identificazione dell'incidente sono state quindi selezionate opportunamente attraverso database relazionali, producendo gli input dei successivi sistemi di inferenza fuzzy (§4).

Lo sviluppo di tali sistemi (FIS) ha permesso di verificare l'efficacia delle variabili di input scelte nell'identificazione dell'incidente.

Si sono costruiti diversi FIS, operanti in diverse posizioni e per diverse localizzazioni degli incidenti, i quali sono poi stati fatti cooperare tra loro per ottimizzare la procedura di identificazione dell'incidente; l'obiettivo era la minimizzazione del numero di sensori necessari (minimizzazione dei costi di impianto).

In questo modo si è potuto verificare come il sistema proposto garantisca buone performance anche con tre sole spire, consentendo anche la corretta identificazione spaziale dell'incidente.

Infine, i sistemi sviluppati sono stati messi a confronto con due sistemi analoghi in termini di numero di sensori (spire) e diversi in termini di algoritmo di identificazione (§5). Si è perciò scelto il confronto con l'algoritmo California #7, in quanto largamente adottato.

È interessante notare che il sistema a 3 spire su cui viene applicato il California #7 offre prestazioni superiori a quello con 5 spire, dimostrandosi migliore nell'interpretare le variazioni di occupazione nell'intorno della rampa, separando le parti di infrastruttura in gioco (monte e valle della strada principale, rispetto al punto di innesto della rampa); questo fatto suggerisce che l'occupazione si dimostra una variabile significativa nell'interpretare il sistema e che, nel contempo, viste le ridotte prestazioni offerte comunque dal California #7, la sola occupazione è insufficiente all'ottenimento di buone prestazioni. Al di là di questa nota, i risultati ottenuti mostrano la superiorità dei sistemi fuzzy proposti rispetto a quelli costruiti con il California #7.

Possibili sviluppi futuri:

1. calibrazione e validazione dei sistemi per ulteriori casistiche di incidente (localizzazione e durata);
2. calibrazione e validazione dei sistemi con ulteriori dataset relativi a infrastrutture esistenti, in particolare dove già sono impiegati sistemi di identificazione automatica degli incidenti;
3. valutazioni del sistema adottando diverse posizioni delle spire;
4. valutazioni del sistema con diverse variabili di input, per ottimizzare l'interpretazione dell'evento incidente, per le sue molteplici ubicazioni;
5. monitoraggio dello stato del sistema post-incidente;

6. sviluppo di analoghi sistemi esperti per le restanti parti di infrastruttura autostradale e studio della cooperazione tra sistemi per avere un'informazione continua su molteplici fenomeni legati al traffico, ottimizzando il monitoraggio.

Appendice: il caso del segmento base

La seguente appendice illustra l'applicazione di un algoritmo comparativo per l'identificazione degli incidenti, California #7, illustrato in §5.2.2, ai dati sperimentali ottenuti in una precedente tesi (Barbaro, 2015), nella quale si era sviluppato un sistema esperto basato sulla logica fuzzy per l'identificazione di incidenti stradali.

Scenari e simulazioni

La parte strutturale del sistema di trasporto analizzato è siffatta:

Tabella 104 – Dati sull'infrastruttura considerata nel caso del segmento base

<i>larghezza della carreggiata</i>	<i>numero di corsie</i>	<i>tipologia di link</i>
7,3 m	2	Highway Major

Il limite di velocità è pari a 90 km/h. La strada è una freeway (autostrada senza pedaggio). Il caso corrisponde ad un tronco isolato monodirezionale, lungo 10 km, in cui si è simulato il verificarsi di un incidente alla progressiva 8 km, in prima corsia (L1, mentre l'altra, di sorpasso, è chiamata L2), dove tale incidente perdura 20 minuti. Il traffico è composto unicamente da autovetture.

Sono state lanciate 10 simulazioni (*IDScenarioRun*) della durata di 3 ore, per ogni scenario (*codScenario*). Ogni scenario differisce dall'altro per il valore di flusso che carica le corsie.

Tabella 105 – Scenari considerati nel caso del segmento base

<i>codScenario</i>	<i>IDScenarioRun</i>										<i>Flusso sulle due corsie [aeq/h]</i>
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1000
2	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	2000
3	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	3000
4	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	3500

Ogni simulazione ha una durata pari a 3 ore.

Si sono poste spire ogni cento metri. Per poi considerare serie di spire diverse, cioè come se si avessero spire con passo 100 m, 500 m e 1000 m.

Algoritmo California #7

Ipotesi semplificative

Per valutare la condizione post-incidente, oltre a quanto mostrato dall'albero decisionale (persistenza dell'indicatore OCCRDF oltre la sua soglia), si è considerato lo scarto temporale tra un allarme e il successivo, ponendo tale differenza contenuta in 5 minuti perché presumibilmente i due allarmi siano riferiti allo stesso incidente, analogamente si è fatto per le spire, ritenendo opportuno che se due allarmi sono vicini nello spazio (spire successive) e nel tempo (i 5 minuti) si possa ancora parlare in realtà di un unico allarme, cioè di un unico incidente.

Tali considerazioni hanno permesso di definire uno stato di perdurare del medesimo incidente.

Misure di prestazione

Si sono calcolate le misure di prestazioni per gli scenari presentati a pag. 187. La prima tabella, riportata di seguito, riassume i risultati relativi al caso in cui l'incidente si verifichi proprio sopra ad una spira, mentre le successive considerano le situazioni in cui gli incidenti avvengano a diverse distanze da una spira e quindi non in corrispondenza ad essa (si veda il campo *distanza_relativa* nelle successive tabelle).

Si precisa che nel calcolo del FAR3 si è considerato un *intervallo temporale* pari a 180 minuti (le 3 ore di ogni simulazione), mentre nel calcolo del FAR1 si è considerato un *numero di applicazioni dell'algoritmo* pari al prodotto tra l'intervallo temporale di 180 minuti e il numero di spire (dipende dal passo).

Nelle tabelle seguenti, la *distanza_relativa* e il *passo* sono espressi in metri.

Tabella 106 – Caso d'incidente in corrispondenza di una spira per vari tassi di flusso

<i>distanza relativa</i>	<i>passo</i>	<i>codScenario</i>	<i>incidenti rilevati</i>	<i>incidenti accaduti</i>	<i>falsi allarmi</i>	<i>DR</i>	<i>FAR1</i>	<i>FAR2</i>	<i>FAR3</i>	<i>ATTD</i>
0	100	1	34	10	24	100	0	54,3	0	5,8
0	100	2	20	10	10	100	0	28	0	6,1
0	100	3	648	10	638	100	0,4	98,4	0,4	15,3
0	100	4	1611	10	1601	100	0,9	99,4	0,9	20,7
0	500	1	11	10	1	100	0	5	0	4,8
0	500	2	10	10	0	100	0	0	0	1,4
0	500	3	70	10	60	100	0,2	82,3	0	14,5
0	500	4	138	10	128	100	0,3	92,2	0,1	15,8
0	1000	1	10	10	0	100	0	0	0	1
0	1000	2	15	10	5	100	0	25	0	6,1
0	1000	3	13	10	3	100	0	15	0	4,6
0	1000	4	22	10	12	100	0,1	40	0	7,9

Tabella 107 – Caso d'incidente verificatosi a diverse distanze da una spira per vari tassi di flusso, per passo 500m

<i>distanza relativa</i>	<i>passo</i>	<i>codScenario</i>	<i>incidenti rilevati</i>	<i>incidenti accaduti</i>	<i>falsi allarmi</i>	<i>DR</i>	<i>FAR1</i>	<i>FAR2</i>	<i>FAR3</i>	<i>ATTD</i>
-100	500	1	4	10	0	40	0	0	0	14
-100	500	2	11	10	1	100	0	5	0	3,7
-100	500	3	25	10	15	100	0	41,3	0	8,2
-100	500	4	88	10	78	100	0,2	87,6	0	17,2
-200	500	1	1	10	0	10	0	0	0	13
-200	500	2	10	10	0	100	0	0	0	4,1
-200	500	3	26	10	16	100	0	45,2	0	9,3
-200	500	4	68	10	58	100	0,2	82,3	0	17
-300	500	1	10	10	2	80	0	12,5	0	10,3
-300	500	2	11	10	1	100	0	5	0	3,9
-300	500	3	27	10	17	100	0	42,7	0	9,2
-300	500	4	77	10	67	100	0,2	85,8	0	17,4
-400	500	1	0	10	0					
-400	500	2	10	10	0	100	0	0	0	3,1
-400	500	3	20	10	10	100	0	30,5	0	7,4
-400	500	4	82	10	72	100	0,2	77,5	0	15,8

Tabella 108 – Caso d’incidente verificatosi a diverse distanze da una spira per vari tassi di flusso, per passo 1000m

<i>distanza relativa</i>	<i>passo</i>	<i>codScenario</i>	<i>incidenti rilevati</i>	<i>incidenti accaduti</i>	<i>falsi allarmi</i>	<i>DR</i>	<i>FAR1</i>	<i>FAR2</i>	<i>FAR3</i>	<i>ATTD</i>
-100	1000	1	2	10	0	20	0	0	0	16
-100	1000	2	9	10	1	80	0	6,3	0	12,8
-100	1000	3	12	10	2	100	0	10	0	8,6
-100	1000	4	11	10	1	100	0	5	0	4,5
-200	1000	1	0	10		0				
-200	1000	2	0	10		0				
-200	1000	3	0	10		0				
-200	1000	4	14	10	4	100	0	16,7	0	7,4
-300	1000	1	0	10		0				
-300	1000	2	1	10	0	10	0	0	0	29
-300	1000	3	14	10	4	100	0	16,7	0	10,8
-300	1000	4	14	10	4	100	0	16,7	0	6,2
-400	1000	1	0	10		0				
-400	1000	2	0	10		0				
-400	1000	3	12	10	2	100	0	10	0	9
-400	1000	4	13	10	3	100	0	15	0	7,1
-500	1000	1	0	10		0				
-500	1000	2	0	10		0				
-500	1000	3	13	10	3	100	0	15	0	9,5
-500	1000	4	16	10	6	100	0	23,3	0	9,9
-600	1000	1	0	10		0				
-600	1000	2	0	10		0				
-600	1000	3	9	10	1	80	0	6,3	0	11,7
-600	1000	4	15	10	5	100	0	18,3	0	8,8
-700	1000	1	1	10	0	10	0	0	0	7
-700	1000	2	0	10		0				
-700	1000	3	10	10	0	100	0	0	0	5,7
-700	1000	4	11	10	1	100	0	5	0	5,1
-800	1000	1	8	10	1	70	0	7,1	0	10,1
-800	1000	2	1	10	0	10	0	0	0	7
-800	1000	3	10	10	0	100	0	0	0	5,8
-800	1000	4	13	10	3	100	0	11,7	0	6,3
-900	1000	1	1	10	0	10	0	0	0	10
-900	1000	2	2	10	0	20	0	0	0	5,5
-900	1000	3	10	10	0	100	0	0	0	5,3
-900	1000	4	11	10	1	100	0	5	0	5

Dalla prima tabella emerge che la migliore identificazione dell'incidente si ha per un passo delle spire pari a mille metri, in particolare il numero di falsi allarmi risulta contenuto rispetto alle altre situazioni.

Nelle altre situazioni, si nota che certe distanze dell'incidente, da una spira, inficiano sui risultati, sull'efficacia della rilevazione, infatti le variazioni di occupazioni sono lette dall'algorithm in modo diverso.

Si osserva che i falsi allarmi emergono nei casi in cui il tasso di flusso è maggiore in quanto l'algorithm fatica a distinguere la situazione dell'incidente, dalla situazione post-incidente, cioè risente della difficoltà a smaltire l'anomalia in termini di valori dell'occupazione.

Confrontando le misure di prestazione ottenute applicando l'algorithm California #7 con quelle ottenute nel sistema esperto, basato sulla logica fuzzy, sviluppato per il caso del segmento base (Barbaro, 2015), esce vincente, ancora una volta, il sistema basato sulla logica fuzzy.

Per le misure di prestazione di quest'ultimo sistema, si rimanda alla già citata tesi di laurea.

Bibliografia

- ANAS Spa. (2012). 2.1 Sistema nazionale di rilevamento del traffico PANAMA. *Area Tematica 2: Mobilità & Traffico*, (p. 29-33). Padova.
- Balke, K. N. (1993). *An evaluation of existing incident detection algorithms*. Research Report, FHWA/TX-93/1232-20, Texas Transportation Institute, the Texas A&M University System, College Station, TX.
- Barbaro, V. (2015). *Sviluppo di un sistema esperto basato sulla logica fuzzy per l'identificazione di incidenti stradali. Simulazioni in contesti autostradali*. Padova: Università degli Studi di Padova.
- Bonarni, A. (2003). Sistemi fuzzy. *Mondo digitale 2.5* , 3-14.
- Dowling, R., Skabardonis, A., & Alexiadis, V. (2004). *Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Software*. Washington D.C.: Federal Highway Administration.
- ENEA. (2011). *Sistema di monitoraggio e previsione della mobilità veicolare per l'integrazione tra la rete della illuminazione pubblica e la rete della mobilità*. Roma: Sapienza - Università di Roma.
- Glorennec, P. Y. (1996). Quelques aspects analytiques des systèmes d'inférence floue. *Journal européen des systèmes automatisés 30 (2-3)* , 231-254.
- Guillaume, S., & Charnomordic, B. (2012). Fuzzy inference systems: An integrated modeling environment for collaboration between expert knowledge and data using FisPro. *Expert Systems with Applications 39.10* , 8744-8755.
- Guillaume, S., & Charnomordic, B. (2011). Learning interpretable fuzzy inference systems with FisPro. *Information Sciences 181.20* , 4409-4427.
- H. J. Payne, S. C. (1978). Freeway Incident-Detection Algorithms Based On Decision Trees With States. *57th Annual Meeting of the Transportation Research Board* (p. 30-37). Washington District of Columbia, United States: Transportation Research Record.

- Jeannotte, K., Chandra, A., Alexiadis, V., & Skabardonis, A. (2003). *Traffic Analysis Toolbox Volume II: Decision Support Methodology for Selecting Traffic Analysis Tools*. Washington D.C.: Federal Highway Administration.
- Klein, L. A., Mills, M. K., & Gibson, D. R. (2006). *Traffic Detector Handbook: Third Edition—Volume I. Research, Development, and Technology* Turner-Fairbank Highway Research Center 6300 Georgetown Pike McLean, VA 22101-2296: U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.
- Levin, M., & Krause, G. M. (1978). Incident Detection: A Bayesian Approach. *57th Annual Meeting of the Transportation Research Board* (p. 52-58). Washington District of Columbia, United States: Transportation Research Record.
- Levin, M., & Krause, G. M. (1979). Incident-Detection Algorithms: Part 1. Off-Line Evaluation, Part 2. On-Line Evaluation. *Transportation research record* 722 , 49-64.
- Li, H. (2014). Automatically Generating Empirical Speed-Flow Traffic Parameters from Archived Sensor Data. *9TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON TRAFFIC AND TRANSPORTATION STUDIES (ICTTS 2014), Volume:138*, (p. 54-66).
- Lindley, J. (1987). Urban freeway congestion: quantification of the problem and effectiveness of potential solutions. *ITE journal* 57.1 , 27-32.
- Luk, J., Han, C., & Chin, D. (2010). Freeway incident detection: technologies and techniques. *Sydney, Australia: Austroads* , 72.
- Maerivoet, S., & De Moor, B. (2008). *Traffic Flow Theory*. Kasteelpark Arenberg 10, 3001 Leuven, Belgium: Department of Electrical Engineering ESAT-SCD (SISTA)†, Katholieke Universiteit Leuven.
- Mamdani, E. H., & Sedrak, A. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International journal of man-machine studies* 7.1 , 1-13.
- Nelson, D. (2000). *ITS subsystems and technologies—managing traffic, vehicles and systems*. Intelligent Transportation Primer, Chapter 14, Institute of Transportation Engineers.
- Parkany, E., & Xie, C. (2005). *A Complete Review of Incident Detection Algorithms & Their Deployment: What Works and What Doesn't*. New England Transportation Consortium.
- Sarvi, M., & Kuwahara, M. (2007). Microsimulation of freeway ramp merging processes under congested traffic conditions. *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on* 8.3 , 470-479.

- Skabardonis, A., & et al. (1997). I-880 field experiment: analysis of incident data. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1603 , 72-79.
- Škorput, P., Sadko, M., & Niko, J. (2010). Real-time detection of road traffic incidents. *PROMET-Traffic&Transportation* 22.4 , 273-283.
- Stephanedes, Y. J., Chassiakos, A. P., & Michalopoulos, P. G. (1992). Comparative performance evaluation of incident detection algorithms. *Transportation Research Record, No.1360, TRB, National Research Council* , 50-57.
- Subramaniam, S. (1991). *Literature review of incident detection algorithms to initiative diversion strategies*. University Center of Transportation Research, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA: Working Paper.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and control* 8.3 , 338-353.
- Zadeh, L. A. (2008). Is there a need for fuzzy logic? *Information sciences* 178.13 , 2751-2779.