



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CATANIA**  
Dipartimento di ingegneria Civile ed Ambientale

Dottorato di ricerca in Ingegneria delle Infrastrutture viarie  
XXIV Ciclo

---

Tesi di dottorato:

**SVILUPPO DI UN SISTEMA DI SUPPORTO ALLE DECISIONI  
PER LA DETERMINAZIONE DEI LIMITI DI VELOCITA'  
SULLE STRADE EXTRAURBANE**

**PAOLA M. E. COZZO**



**Tutor:**

ing. Maria Grazia Augeri  
prof. Salvatore Greco

**Coordinatore:**

prof. Sascia Canale

---

**CATANIA**  
Dicembre 2011



# INDICE

<b>Indice</b> .....	<b>i</b>
<b>Elenco delle Figure</b> .....	<b>vii</b>
<b>Elenco delle Tabelle</b> .....	<b>xi</b>
<b>1. Introduzione</b> .....	<b>1</b>
<b>2. La velocità</b> .....	<b>5</b>
2.1 Premessa .....	5
2.2 Relazione tra velocità e incidentalità.....	6
2.2.1 Velocità e rischio di incidenti .....	6
2.2.2 Velocità e gravità degli incidenti .....	9
2.3 Fattori che influenzano la scelta della velocità.....	11
2.3.1 Atteggiamento e comportamento dei guidatori .....	12
2.3.2 Caratteristiche della strada .....	14
2.3.3 Caratteristiche dei veicoli.....	15
2.3.4 Condizioni ambientali.....	16
2.4 Considerazioni sul concetto di velocità .....	16
2.4.1 Velocità di Progetto (Design Speed).....	17
2.4.2 Velocità Commerciale (Running Speed) .....	18
2.4.3 Velocità Operativa (Operating Speed) .....	19
2.4.4 Velocità Limite Legale (Speed Limit) .....	20
<b>3. I limiti di velocità</b> .....	<b>21</b>
3.1 Generalità .....	21
3.2 Tipologie di limiti di velocità .....	22

3.3	Motivazioni ed Obiettivi.....	23
3.3.1	Giustificazioni per la regolamentazione della velocità .....	23
3.3.2	Obiettivi .....	24
3.4	Limiti di velocità in Italia .....	27
3.4.1	Limiti di velocità fissati dal codice della strada.....	27
3.4.2	Limiti di velocità localizzati e la II direttiva del ministero delle infrastrutture e dei trasporti .....	30
<b>4.</b>	<b>Strategie per la gestione della velocità .....</b>	<b>33</b>
4.1	Premessa.....	33
4.2	Filosofie e strategie di gestione delle velocità .....	33
4.2.1	Paesi Bassi – “Sustainable safety” .....	34
4.2.2	Svezia e altri paesi scandinavi – “Vision Zero” .....	35
4.2.3	Australia .....	36
4.2.4	Unione Europea – politica di sicurezza stradale .....	38
4.3	Determinazione dei limiti di velocità .....	39
4.4	Metodologie per fissare i limiti di velocità generali .....	40
4.5	Metodologie per fissare i limiti di velocità localizzati .....	42
4.5.1	Approccio empirico .....	43
4.5.2	Minimizzazione del danno – SaCredSpeed .....	43
4.5.3	Sistemi Esperti - USLIMITS .....	49
4.6	Limiti variabili e limiti dinamici .....	65
4.6.1	Generalità.....	65
4.6.2	Funzionamento dei sistemi di controllo delle velocità di tipo variabile .....	68
4.6.3	Esperienze con i limiti variabili e dinamici .....	68
<b>5.</b>	<b>Nuove tecnologie per la gestione delle velocità .....</b>	<b>71</b>
5.1	Generalità .....	71
5.2	ITS per la gestione delle velocità.....	74
5.3	<i>Intelligent Speed Adaptation (ISA)</i> .....	74
5.3.1	Tipologie .....	75
5.3.2	Funzionamento.....	76
5.3.3	Effetti sperati.....	79
5.3.4	Progetti e Esperimenti.....	79
5.4	<i>Advanced Cruise Control (ACC)</i> .....	82

5.5	<i>Vision Enhancement Systems (VES)</i> .....	82
5.6	<i>In-vehicle speed enforcement systems</i> .....	83
<b>6.</b>	<b>Definizione delle <i>speed zone</i></b> .....	<b>85</b>
6.1	Premessa .....	85
6.2	Linee guida e procedure di letteratura .....	86
6.2.1	Linee Guida dell'ITE .....	86
6.2.2	Procedura del TxDOT .....	87
6.2.3	Linee Guida del New South Wales Government .....	91
6.3	Considerazioni sull'applicabilità di tali metodologie .....	96
<b>7.</b>	<b>I modelli multi-criteriali e il DRSA</b> .....	<b>97</b>
7.1	Premessa .....	97
7.2	La Ricerca Operativa e i problemi di decisione .....	98
7.3	Dominance-based Rough Set Approach (DRSA) .....	102
7.3.1	Introduzione .....	102
7.3.2	Concetti base .....	104
7.3.3	Vantaggi .....	111
7.4	DRSA con decisori multipli .....	113
<b>8.</b>	<b>Individuazione delle <i>speed zone</i></b> .....	<b>119</b>
8.1	Premessa e definizione del problema .....	119
8.2	Metodologia proposta .....	119
8.2.1	Attributi da considerare .....	120
8.2.2	Il GIS e la segmentazione dinamica .....	121
<b>9.</b>	<b>Definizione dei limiti di velocità con il DRSA e verifiche di applicabilità dei limiti</b> .....	<b>127</b>
9.1	Premessa .....	127
9.2	Introduzione .....	128
9.2.1	Metodologia .....	128
9.2.2	Dati di base .....	129
9.3	Applicazione del DRSA per la determinazione delle regole di decisione .....	133
9.3.1	Tabella d'informazione e relazione di dominanza .....	133
9.3.2	Approssimazioni basate sulla dominanza .....	136
9.3.3	Qualità dell'approssimazione ed insiemi ridotti .....	139
9.3.4	Regole decisionali e strategie di estrazione .....	143

9.4	Determinazione del limite di velocità .....	146
9.5	Verifiche di applicabilità dei limiti .....	152
9.6	Considerazioni sulla metodologia .....	154
<b>10.</b>	<b>Definizione di limiti di velocità dinamici con il DRSA .....</b>	<b>157</b>
10.1	Premessa .....	157
10.2	Introduzione .....	158
10.2.1	Metodologia .....	158
10.2.2	Dati di base .....	158
10.3	Applicazione del DRSA per la determinazione delle regole di decisione .....	163
10.3.1	Tabella d'informazione e relazione di dominanza .....	163
10.3.2	Approssimazioni basate sulla dominanza .....	166
10.3.3	Qualità dell'approssimazione ed insiemi ridotti .....	168
10.3.4	Regole decisionali e strategie di estrazione .....	171
10.4	Determinazione del limite di velocità .....	174
10.5	Considerazioni conclusive .....	177
<b>11.</b>	<b>Definizione dei limiti di velocità mediante DRSA con decisori multipli .....</b>	<b>179</b>
11.1	Premessa .....	179
11.2	Metodologia e dati di base .....	179
11.3	Applicazione del DRSA per la determinazione delle regole di decisione .....	180
11.4	Determinazione del limite di velocità .....	187
11.5	Considerazioni conclusive .....	190
<b>12.</b>	<b>Applicazione del SSD proposto ad una strada extraurbana siciliana .....</b>	<b>191</b>
12.1	Premessa .....	191
12.2	Acquisizione dei dati .....	191
12.2.1	Rilievo delle caratteristiche ambientali ed infrastrutturali .....	192
12.2.2	Rilievi di velocità .....	197
12.2.3	Rilievo dati d'incidentalità .....	198
12.3	Suddivisione della strada in tronchi omogenei .....	200
12.4	Determinazione dei limiti di velocità nelle speed-zone .....	202
12.5	Considerazioni conclusive .....	207
<b>13.</b>	<b>Conclusioni e sviluppi futuri .....</b>	<b>209</b>
<b>14.</b>	<b>Allegati .....</b>	<b>213</b>
14.1	Allegato 1 – <i>Decision Table 1</i> .....	213

14.2	Allegato 2 – <i>Decision Table 2</i> .....	216
14.3	Allegato 3 – <i>Decision Table 3</i> .....	219
14.4	Allegato 4 – Incidenti verificatisi lungo la SS385 (tra il km 25+000 e il km 55+150) tra il 2005 e il 2010 .....	222
	<b>Bibliografia</b> .....	<b>I</b>



## ELENCO DELLE FIGURE

FIGURA 2-1 - RELAZIONE TRA VELOCITÀ E TASSO D'INCIDENTALITÀ (9) .....	7
FIGURA 2-2 – RELAZIONE TRA TASSO DI INCIDENTALITÀ E DEVIAZIONE DALLA VELOCITÀ MEDIA (16) (17) .....	8
FIGURA 2-3 - TASSO D'INCIDENTALITÀ RELATIVO SU STRADE URBANE (13)(15) ED EXTRAURBANE (14) PER VEICOLI CON VELOCITÀ INFERIORI E SUPERIORI ALLA VELOCITÀ MEDIA (=0). (15)-(20). .....	9
FIGURA 2-4 - EFFETTI DEL CAMBIO DI VELOCITÀ ALL'IMPATTO SUL RISCHIO DI MORTE (21) .....	10
FIGURA 2-5 – “POWER MODEL”: RELAZIONE TRA IL CAMBIAMENTO DI VELOCITÀ MEDIO E INCIDENTI (12) .....	11
FIGURA 3-1 - FATTORI DETERMINANTI NELLA SCELTA DEI LIMITI DI VELOCITÀ, SVEZIA 1960-1990 (45) .....	25
FIGURA 4-1 – ALGORITMO GENERALE DI SACREDSPEED (64).....	49
FIGURA 4-2 – USLIMITS2, SCHERMATA INIZIALE .....	58
FIGURA 4-3 – USLIMITS2, INSERIMENTO INFORMAZIONI RELATIVA ALLA SPEED ZONE.....	59
FIGURA 4-4 – USLIMITS2, SCHERMATA PER INSERIMENTO DATI RELATIVI ALLA SPEED ZONE (CON INFORMAZIONI) .....	59
FIGURA 4-5 - USLIMITS2, SCHERMATA PER INSERIMENTO DATI RELATIVI ALLA SPEED ZONE.....	60
FIGURA 4-6 - USLIMITS2, SCHERMATA PER APERTURA DEL CRASH MODULE (SE IN POSSESSO DI DATI D'INCIDENTE) .....	60
FIGURA 4-7 - USLIMITS2, SCHERMATA DEL CRASH MODULE 1 .....	61

FIGURA 4-8 - USLIMITS2, SCHERMATA DEL CRASH MODULE 2 .....	61
FIGURA 4-9 - USLIMITS2, OUTPUT DEL CRASH MODULE .....	62
FIGURA 4-10 - USLIMITS2, OUTPUT .....	62
FIGURA 4-11 – USLIMITS - DIAGRAMMA A BLOCCHI PER <i>ROAD SECTIONS IN UNDEVELOPED AREAS</i> (67) .....	63
FIGURA 4-12 – USLIMITS - DIAGRAMMA A BLOCCHI PER <i>ROAD SECTIONS IN UNDEVELOPED AREAS</i> (APPROCCIO 1)(67).....	64
FIGURA 4-13 – USLIMITS - DIAGRAMMA A BLOCCHI PER <i>ROAD SECTIONS IN UNDEVELOPED AREAS</i> (APPROCCIO 1)(67).....	65
FIGURA 5-1 – SCHEMA DI RIFERIMENTO PER GLI ITS (90) .....	72
FIGURA 5-2 – DIFFERENTI TIPOLOGIE DI ISA.....	76
FIGURA 5-3 - FUNZIONI DI BASE E I FLUSSI DI INFORMAZIONI IN UN SISTEMA ISA .....	77
FIGURA 5-4 - ISA BASATI SULLA NAVIGAZIONE AUTONOMA .....	78
FIGURA 5-5 - ISA BASATI SUI LIMITI DI VELOCITÀ A BORDO STRADA .....	79
FIGURA 6-1 – STRIP MAP DA COMPILARE, TXDOT (116).....	89
FIGURA 6-2- PROCEDURA DI REVISIONE DELLE <i>SPEED ZONES</i> (117) .....	95
FIGURA 7-1 – SINTESI DEL PROCESSO DI AIUTO MULTI-CRITERIALE ALLA DECISIONE.....	100
FIGURA 7-2 – DIFFERENTI APPROCCI ALL’ANALISI MULTI-CRITERIALE DELLE DECISIONI .....	101
FIGURA 7-3 – PRINCIPALI MODELLI MULTICRITERIALI PER L’ANALISI DELLE DECISIONI.....	102
FIGURA 8-1 – STRUMENTI DI ELABORAZIONE DEI SOFTWARE GIS.....	122
FIGURA 8-2 – IL GIS COME STRUMENTO DI GESTIONE DELLA RETE VIARIA (161) .....	123
FIGURA 8-3 – TIPOLOGIE DI <i>FEATURES</i> CHE È POSSIBILE UTILIZZARE IN AMBIENTE GIS .....	123
FIGURA 8-4 – ATTRIBUTI ASSOCIATI AD UN ELEMENTO LINEARE.....	124
FIGURA 8-5- SEGMENTAZIONE DINAMICA PER LE CONDIZIONI DELLA PAVIMENTAZIONE STRADALE	124
FIGURA 8-6 – ESEMPIO DI CAMBIAMENTO NEL TEMPO DI UN ATTRIBUTO CHE DESCRIVE LE CONDIZIONI DI MANUTENZIONE DELLA PAVIMENTAZIONE STRADALE (161).....	125
FIGURA 8-7 – REGISTRAZIONE DI UN SET MULTIPLO DI ATTRIBUTI GRAZIE ALLA REFERENZIAZIONE LINEARE (161).....	126
FIGURA 9-1 – RAPPRESENTAZIONE SCHEMATICA DEL PROCESSO DI DETERMINAZIONE DEI LIMITI DI VELOCITÀ .....	128
FIGURA 9-2 – SCHERMATA DEL PROGRAMMA DI CALCOLO PER L’INSERIMENTO DEI DATI DI INPUT	148
FIGURA 9-3 – REGOLE DECISIONALI CHE RACCOMANDANO UN LIMITE DI VELOCITÀ $\geq 70$ KM/H...	149
FIGURA 9-4 - REGOLE DECISIONALI CHE RACCOMANDANO UN LIMITE DI VELOCITÀ $\leq 70$ KM/H ...	149
FIGURA 9-5 - REGOLE DECISIONALI CHE RACCOMANDANO UN LIMITE DI VELOCITÀ $\leq 80$ KM/H ...	150

FIGURA 9-6 – CASI ESEMPLARI DA CUI “DERIVA” LA REGOLA N.15 TRA QUELLE CHE CONSIGLIANO UN LIMITE DI VELOCITÀ ≤ 70 KM/H .....	150
FIGURA 9-7 – VERIFICA DI CREDIBILITÀ.....	153
FIGURA 10-1 – SCHERMATA DEL PROGRAMMA DI CALCOLO PER L’INSERIMENTO DEI DATI DI INPUT .....	175
FIGURA 11-1 – SCHERMATA DEL PROGRAMMA DI CALCOLO PER L’INSERIMENTO DEI DATI DI INPUT .....	188
FIGURA 12-1 – TIPOLOGIE DI RILIEVI EFFETTUATI .....	192
FIGURA 12-2 - INQUADRAMENTO TERRITORIALE DELLA SS 385 .....	193
FIGURA 12-3 - INQUADRAMENTO TERRITORIALE DELLA SS 385 DAL KM 25+000 AL KM 55+150 .....	194
FIGURA 12-4 – SEZIONE STRADALE CATEGORIA “C” - (166) .....	194
FIGURA 12-5 – SEZIONE TIPO DELLA SS385 .....	195
FIGURA 12-6 – LUNGHI RETTILINEI (IN GRAN PARTE DEL TRACCIATO) .....	195
FIGURA 12-7 – ANDAMENTO TORTUOSO NELLA PARTE TERMINALE, IN PROSSIMITÀ DI CALTAGIRONE .....	196
FIGURA 12-8 – BIVIO DI PALAGONIA .....	196
FIGURA 12-9 – RILIEVI DI VELOCITÀ EFFETTUATI.....	198
FIGURA 12-10- LOCALIZZAZIONE DEGLI INCIDENTI STRADALI VERIFICATISI LUNGO LA SS385 (PARTE IN ESAME) TRA IL 2005 E IL 2010. ....	199
FIGURA 12-11- INDIVIDUAZIONE SU GIS DELLE SPEED ZONE IN CUI È STATA DIVISA LA STRADA OGGETTO DI STUDIO.....	202



# ELENCO DELLE TABELLE

TABELLA 2-I – RELAZIONE TRA VELOCITÀ E CARATTERISTICHE DELLA STRADA E DEL SUO INTORNO (28)	15
TABELLA 3-I – APPROPRIATI RANGE DI VELOCITÀ PER LE DIVERSE CATEGORIE DI STRADE IN FUNZIONE DELL’OBIETTIVO DA RAGGIUNGERE (1)	25
TABELLA 3-II – LIMITE MASSIMO DI VELOCITÀ IMPOSTO DAL N.C.S. IN BASE ALLA TIPOLOGIA STRADALE (ART. 142 COMMA 1)	27
TABELLA 3-III – LIMITE MASSIMO DI VELOCITÀ IMPOSTO DAL N.C.S. IN BASE ALLA CATEGORIA DI VEICOLI (ART. 142 COMMA 3)	29
TABELLA 4-I – PRINCIPI DELLA SUSTAINABLE SAFETY (51) (52)	35
TABELLA 4-II – VELOCITÀ SICURE SULLA BASE DEL TIPO DI STRADA E DEI POSSIBILI CONFLITTI TRA UTENTI (55)	36
TABELLA 4-III – LIMITI DI VELOCITÀ “GENERALI” PER VEICOLI LEGGERI E PER LE DIVERSE CATEGORIE DI STRADE IN UNA SELEZIONE DI PAESI DELL’OECD/ECMT (1)	41
TABELLA 4-IV – PANORAMICA DELLE CARATTERISTICHE ASSOCIATE ALLA SICUREZZA E ALLA CREDIBILITÀ DEI LIMITI DI VELOCITÀ (64)	44
TABELLA 4-V - PANORAMICA DEGLI “ACCELERATORI” E “DECELERATORI” CHE INFLUENZANO LA CREDIBILITÀ DEL LIMITE DI VELOCITÀ (53)	47
TABELLA 4-VI – VARIABILI UTILIZZATE PER TIPOLOGIA DI STRADA	51
TABELLA 4-VII – VARIABILI CONSIDERATE PER DESCRIVERE I CASI STUDIO (SCENARI)	54
TABELLA 4-VIII – SAFETY SURROGATES PER LE DIVERSE TIPOLOGIE DI STRADA	55
TABELLA 4-IX – APPROCCIO 1 (BASATO SULLE VELOCITÀ OPERATIVE E I SAFETY SURROGATES)	56

TABELLA 4-X - APPROCCIO 2 (BASATO SULLE VELOCITÀ OPERATIVE E I <i>CRASH MODULE</i> ).....	56
TABELLA 5-I – ELENCO DEI SISTEMI CHE INTERVENGONO IN CASO DI COMPORTAMENTO SCORRETTO ALLA GUIDA (91) .....	72
TABELLA 6-I – INFORMAZIONI DA REGISTRARE SULLE STRIP MAPS (116).....	90
TABELLA 6-II – LUNGHEZZE MINIME PER LE SPEED ZONE (117).....	92
TABELLA 8-I – LUNGHEZZE MINIME PER LE SPEED ZONE (117).....	121
TABELLA 9-I – DESCRIZIONE DEGLI ATTRIBUTI CONSIDERATI NELLA TABELLA DEI CASI ESEMPLARI..	130
TABELLA 9-II – CLASSIFICAZIONE DEGLI ATTRIBUTI CONSIDERATI NELLA TABELLA DEI CASI ESEMPLARI .....	132
TABELLA 9-III- TABELLA DI DECISIONE ( <i>DECISION TABLE</i> ) - STRALCIO.....	135
TABELLA 9-IV – COPPIE DI OGGETTI INCONSISTENTI .....	140
TABELLA 9-V – RIDOTTI PER LIMITE DI VELOCITÀ CONSIGLIATO 70 KM/H.....	141
TABELLA 9-VI – RIDOTTI PER LIMITE DI VELOCITÀ CONSIGLIATO 80 KM/H.....	141
TABELLA 9-VII – RIDOTTI PER LIMITE DI VELOCITÀ CONSIGLIATO 90 KM/H.....	142
TABELLA 9-VIII – ESEMPI DI REGOLE DECISIONALI GENERATE .....	146
TABELLA 10-I – DESCRIZIONE DEGLI ATTRIBUTI CONSIDERATI NELLA TABELLA DEI CASI ESEMPLARI	159
TABELLA 10-II - CLASSIFICAZIONE DEGLI ATTRIBUTI CONSIDERATI NELLA TABELLA DEI CASI ESEMPLARI .....	162
TABELLA 10-III- TABELLA DI DECISIONE ( <i>DECISION TABLE</i> ) – STRALCIO .....	165
TABELLA 10-IV – RIDOTTI PER LIMITE DI VELOCITÀ CONSIGLIATO 60 KM/H.....	169
TABELLA 10-V – RIDOTTI PER LIMITE DI VELOCITÀ CONSIGLIATO 70 KM/H.....	170
TABELLA 10-VI – RIDOTTI PER LIMITE DI VELOCITÀ CONSIGLIATO 80 KM/H.....	170
TABELLA 10-VII – RIDOTTI PER LIMITE DI VELOCITÀ CONSIGLIATO 90 KM/H.....	171
TABELLA 10-VIII – ESEMPI DI REGOLE DECISIONALI GENERATE .....	174
TABELLA 11-I - TABELLA DI DECISIONE ( <i>DECISION TABLE</i> ) UTILIZZATA PER LA DETERMINAZIONE DEI LIMITI STATICI CON DECISORI MULTIPLI (STRALCIO) .....	182
TABELLA 11-II – ESEMPI DI REGOLE DECISIONALI GENERATE PER UN UNICO DECISORE (D1, D2 O D3) .....	185
TABELLA 11-III – ESEMPI DI REGOLE DECISIONALI GENERATE NEL CASO IN CUI DUE DECISORI CONCORDANO SULLA DECISIONE FINALE.....	186
TABELLA 11-IV – ESEMPI DI REGOLE DECISIONALI GENERATE NEL CASO IN CUI TUTTI E TRE I DECISORI CONCORDANO SULLA DECISIONE FINALE.....	186
TABELLA 12-I - RILIEVI DI VELOCITÀ E CALCOLO DELLA V85 .....	197

TABELLA 12-II – SPEED ZONES INDIVIDUATE LUNGO LA SS385, DAL KM 25+000 AL KM 55+150 .....	201
TABELLA 12-III – CARATTERISTICHE DELLE SPEED-ZONE INDIVIDUATE .....	201
TABELLA 12-IV - OUTPUT DEL SSD PER LA <i>SPEED-ZONE 1</i> .....	205
TABELLA 12-V – LIMITI DI VELOCITÀ CALCOLATI CON IL DRSA PER LE <i>SPEED ZONE</i> INDIVIDUATE LUNGO LA SS385 .....	205
TABELLA 14-I - TABELLA DI DECISIONE (DECISION TABLE) UTILIZZATA PER LA DETERMINAZIONE DEI LIMITI STATICI .....	213
TABELLA 14-II - TABELLA DI DECISIONE (DECISION TABLE) UTILIZZATA PER LA DETERMINAZIONE DEI LIMITI DINAMICI .....	216
TABELLA 14-III - TABELLA DI DECISIONE (DECISION TABLE) UTILIZZATA PER LA DETERMINAZIONE DEI LIMITI STATICI CON DECISORI MULTIPLI .....	219
TABELLA 14-IV – INCIDENTI VERIFICATISI LUNGO LA SS385 (TRA IL KM 25+000 E IL KM 55+150) TRA IL 2005 E IL 2010 .....	222



# 1. INTRODUZIONE

Il controllo della velocità sulle strade, in considerazione della stretta correlazione tra velocità e severità degli incidenti, costituisce ad oggi una delle più importanti strategie per il miglioramento della sicurezza stradale.

Lo strumento principale per il controllo delle velocità è rappresentato dall'imposizione dei limiti di velocità. La determinazione del limite più corretto però non è una problematica di facile risoluzione, poiché entrano in gioco moltissimi fattori in contrasto gli uni con gli altri: un limite di velocità appropriato per un determinato tronco stradale deve infatti tenere conto contemporaneamente di esigenze legate alla sicurezza, alla mobilità e alla tipologia di infrastruttura, oltre che all'impatto che esso stesso produce sulla qualità della vita delle persone che vivono intorno alla stessa e ne usufruiscono. Chi ha il compito di fissare i limiti di velocità deve pertanto cercare di bilanciare la sicurezza degli utenti della strada e i tempi di percorrenza, oltre a tutti gli altri fattori che determinano la scelta della velocità da parte degli stessi – compresa l'applicabilità e la credibilità degli stessi limiti. Il risultato è un complesso "compromesso" tra svariati fattori (quali rischio di incidenti, tempo di viaggio, attitudini sociali, questioni ambientali, considerazioni politiche, etc...) e l'importanza relativa che si assegna ad ognuno di essi. Sulla base degli obiettivi che si intendono raggiungere con l'imposizione di tali limiti, si prediligeranno alcuni aspetti rispetto ad altri, e con essi l'"approccio" più adeguato.

Al momento non esiste una metodologia generalmente accettata che consenta di individuare la velocità più appropriata per un determinato tronco stradale, tenendo conto di una tale quantità di fattori. Ed è per questa ragione che ogni paese, nonostante miri al medesimo obiettivo che è quello di aumentare la sicurezza sulle proprie strade, ha orientato le proprie scelte secondo politiche ed approcci differenti. L'approccio più innovativo, utilizzato negli ultimi anni, si basa sull'utilizzo di "sistemi esperti", che simulano il processo

decisionale degli “esperti” nella definizione dei limiti appropriati per le *speed zone*, ed hanno lo scopo di assistere i gestori nella determinazione dei limiti di velocità localizzati.

Obiettivo del presente lavoro, sulla scia dei sistemi esperti già sviluppati in altri paesi, è quello di sviluppare una metodologia che consenta facilmente al gestore della strada di fissare dei limiti di velocità sicuri e credibili.

Tale metodologia consentirà di stabilire tali limiti sulla base di tutta una serie di parametri descrittivi di ciascun tronco stradale - quali le caratteristiche geometriche, operative e di manutenzione dello stesso - e si configurerà come Sistema di Supporto alle Decisioni (SSD) o *Decision Support System* (DSS) - in grado di consigliare l’ente gestore della strada sulla scelta del limite di velocità più corretto per ciascun tronco stradale, in base alle caratteristiche della stessa.

Il SSD proposto nel presente lavoro, si basa su un’analisi di tipo multi-criteriale che, sulla base delle informazioni necessarie alla determinazione delle decisioni esemplari date da un gruppo di esperti, consentirà la costruzione di un modello decisionale di facile comprensione, espresso mediante regole decisionali del tipo “if..... then.....”.

Il Sistema di Supporto alle Decisioni presentato in questa sede, è stato messo a punto prendendo in considerazione un’unica tipologia di strade, ossia le strade extraurbane secondarie (strade statali o provinciali) ancor oggi molto utilizzate come strade di collegamento, ma può essere adeguato a qualunque tipologia di strada. La scelta si è orientata su tali strade poiché sono quelle lungo le quali si pone maggiormente il problema dei limiti di velocità localizzati – spesso eccessivamente ridotti a tutela del gestore ma a discapito della credibilità dei limiti stessi – e di velocità operative molto superiori ai limiti imposti per legge.

Il SSD proposto vuole essere uno strumento in grado di supportare l’ente gestore nelle fasi di:

- identificazione delle *speed zone*
- determinazione del limite di velocità più idoneo sulla base delle caratteristiche della *speed zone* in esame
- verifiche di omogeneità e credibilità dei limiti di velocità

Il lavoro è stato organizzato in due parti: la prima parte – dal capitolo 2 al capitolo 6 – illustra il problema dell’eccessiva velocità sulle strade e gli strumenti e le strategie attualmente disponibili per contrastarlo, mentre la seconda parte illustra la metodologia proposta e un’applicazione della stessa ad una strada extraurbana siciliana.

Più nel dettaglio, nel capitolo 2 si espongono le problematiche legate alla velocità, nei capitoli 3, 4 e 5 si illustrano le varie tipologie di limiti di velocità e le strategie per fissare tali limiti utilizzate in alcuni paesi, nel capitolo 6 si espongono le metodologie utilizzate per la definizione dei tronchi stradali omogenei su cui fissare un limite di velocità uniforme

(definite *speed zone*). Nel capitolo 7, dopo un breve cenno ai sistemi multi-criteriali di supporto alle decisioni, si illustrerà la metodologia utilizzata nel presente lavoro (nota come Dominance-based Rough Set Approach), nel capitolo 8 si illustrerà la metodologia messa a punto per l'identificazione delle *speed zone*, nel capitolo 9 si mostrerà un'applicazione del DRSA nel caso di *speed zone* descritte esclusivamente da attributi di tipo "statico", e l'utilizzo delle regole decisionali per la determinazione del limite di velocità più adeguato per ogni *speed zone* individuata, nonché le procedure per la revisione di tali limiti; nel capitolo 10 si mostrerà un'applicazione del DRSA nel caso di *speed zone* descritte sia da attributi di tipo "statico" che "dinamico" (ossia variabili nel tempo) e l'utilizzo delle regole decisionali per la determinazione del limite di velocità più adeguato per ogni *speed zone* individuata; nel capitolo 11 si mostrerà un'ulteriore applicazione del DRSA, nel caso in cui sono presenti un maggior numero di decisori. Nel capitolo 12 si mostrerà infine un'applicazione del Sistema di Supporto alle Decisioni (SSD) messo a punto nel caso dei limiti statici ad una strada extraurbana secondaria siciliana.



## 2. LA VELOCITÀ

### 2.1 PREMESSA

Negli ultimi 50 anni la società e gli individui hanno tratto notevoli benefici dai rapidi miglioramenti del sistema viario e della costruzione di veicoli in grado di raggiungere velocità sempre più elevate.

Il trasporto ad alta velocità ha avuto notevoli risvolti positivi, avendo contribuito notevolmente allo sviluppo economico dei vari paesi oltre che al generale miglioramento della qualità della vita degli individui, ma ha avuto allo stesso tempo degli effetti negativi sia in termini di danni materiali e sociali (a causa dell'incremento del numero di incidenti e della severità delle loro conseguenze) sia in termini di danni ambientali (inquinamento acustico e atmosferico) sia in termini di vivibilità delle zone urbane e residenziali (1).

L'eccessiva ed inadeguata velocità tenuta sulle strade rappresenta oggi il principale problema di sicurezza stradale in moltissimi paesi. Secondo le statistiche ISTAT (2), infatti, l'eccesso di velocità rappresenta la prima causa di morte per incidente stradale in Italia.

In generale si stima che il 25-30% degli incidenti mortali abbiano avuto luogo in condizioni di velocità eccessive o inadeguate (3)(1).

Oltre a essere una delle principali cause di incidente, la velocità è un fattore aggravante in tutti gli incidenti: più elevate sono le velocità di guida e maggiori sono le velocità di impatto, e dunque le forze che devono essere assorbite dagli occupanti del veicolo in caso di incidente.

La necessità dunque di un maggiore controllo sulle velocità è divenuta una priorità negli ultimi anni, così come dimostrato anche dall'interesse della Commissione Europea

relativamente a tale tema, indicato quale uno dei principali su cui realizzare investimenti in sicurezza stradale (misure per ridurre la velocità media dei veicoli a motore<sup>1</sup>)(4).

## 2.2 RELAZIONE TRA VELOCITÀ E INCIDENTALITÀ

L'eccesso di velocità, comunemente noto come "*speeding*"<sup>2</sup>, è una delle principali cause in circa il 10% degli incidenti e in circa il 30% degli incidenti mortali (3).

L'eccesso di velocità dunque oltre a incidere sul numero di incidenti si ripercuote anche sulla gravità degli stessi.

La velocità può pertanto essere messa in relazione alla sicurezza del traffico da due punti di vista:

1. la probabilità di essere coinvolti in un incidente
2. le conseguenze dell'incidente.

Nonostante i numerosi studi sul tema però non è ancora perfettamente nota l'esatta relazione e i fattori che entrano in gioco tra la velocità di percorrenza di una strada e la sua sicurezza (5) (6).

### 2.2.1 VELOCITÀ E RISCHIO DI INCIDENTI

La relazione esistente tra la velocità e il rischio di incidenti è molto forte ed è valida ad ogni velocità e per ogni tipo di strada.

Ad alte velocità infatti:

- si riducono i tempi di elaborazione delle informazioni che giungono dallo spazio circostante, ed è dunque meno immediata da parte del conducente (e degli altri utenti della strada) la reazione agli stimoli provenienti dallo spazio circostante;
- aumenta la distanza tra l'inizio della frenata e il completo arresto: la velocità di frenata è proporzionale al quadrato delle velocità, per cui la possibilità di evitare una collisione diventa sempre più piccola all'aumentare della velocità;
- aumentano le distanze di frenatura (che sono proporzionali al quadrato della velocità) e con esse la possibilità di evitare un incidente.

---

<sup>1</sup> A tale proposito la Commissione, nel citato programma, indica che una riduzione della velocità media di 5 Km/h determina una riduzione tendenziale del numero di morti per incidenti stradali pari a -25%.

<sup>2</sup> Per *speeding* si intende la guida ad eccessive velocità (superiori ai limiti imposti) o ad inappropriate velocità (velocità eccessive rispetto alle condizioni ma entro i limiti imposti) - "*Speeding encompasses excessive speed (driving above the speed limit) or inappropriate speed (driving too fast for the conditions, but within the limits)*" (1) - (45)

La relazione tra velocità e incidentalità è stata studiata in maniera estensiva, ed è ormai chiaro che maggiormente elevata è la velocità e più alta è la probabilità di essere coinvolti in un incidente, così come che l'incidente sia grave (5) (7). Di tale asserzione si sono avuti diversi riscontri empirici, da differenti tipologie di studi (8).

In generale è possibile affermare che **più alta è la velocità e più elevato è il rischio di incorrere in un incidente** (9). Secondo Finch (10), ad ogni incremento di 1 km/h corrisponde un aumento del 3% di incorrere in un incidente.

Numerosi studi hanno esaminato la relazione che intercorre tra la velocità e il tasso d'incidentalità (6) e, indipendentemente dal metodo di ricerca utilizzato, tutti gli studi concordano su una **relazione di potenza**: il tasso d'incidentalità cresce più velocemente all'aumentare della velocità e viceversa (Figura 2-1), (5).

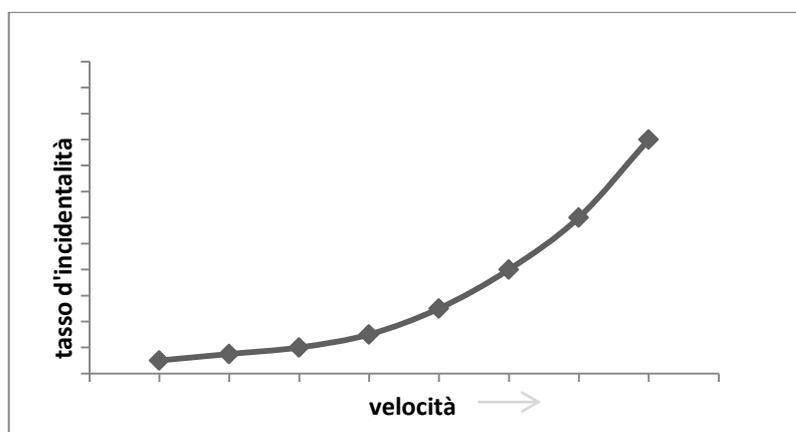


FIGURA 2-1 - RELAZIONE TRA VELOCITÀ E TASSO D'INCIDENTALITÀ (9)

Gli studi effettuati da Nilsson (11)(12), hanno esaminato gli effetti sul numero di incidenti dell'incremento o del decremento della velocità media su una sezione stradale dovuta al cambiamento del limite di velocità imposto. Da questi emerge una relazione di potenza (quadratica) tra la variazione del tasso di incidentalità e la velocità media<sup>3</sup>.

Altri studi condotti in Australia sugli effetti della velocità individuale dei veicoli sul tasso di incidentalità (13)(14)(15) hanno invece mostrato una relazione esponenziale tra la velocità individuale e il tasso d'incidentalità.

<sup>3</sup> L'esatta relazione è la seguente:  $A_2 = A_1 \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2$ , in cui con A si indica il tasso d'incidentalità e con V la velocità media su una sezione stradale, con i pedici 1 e 2 i valori rispettivamente prima e dopo il cambio del limite di velocità imposto.

Nella pratica la relazione tra queste due variabili dipende da numerosissimi fattori quali la velocità tenuta dagli altri utenti, a tipologia di strada etc.

Numerosi studi hanno messo a confronto la velocità (stimata) tenuta dai veicoli coinvolti in incidenti e la velocità media tenuta sulla stessa tipologia di strada. I primi studi effettuati negli Stati Uniti negli anni 60 e 70 (16) (17) hanno messo in luce una relazione tra la deviazione dalla velocità media di viaggio e il tasso d'incidentalità che è ben illustrata da una curva ad U (Figura 2-2): il tasso d'incidentalità è più basso per velocità vicine al valore medio, mentre aumenta per maggiori deviazioni dalla media, sia verso valori più alti che verso valori più bassi.

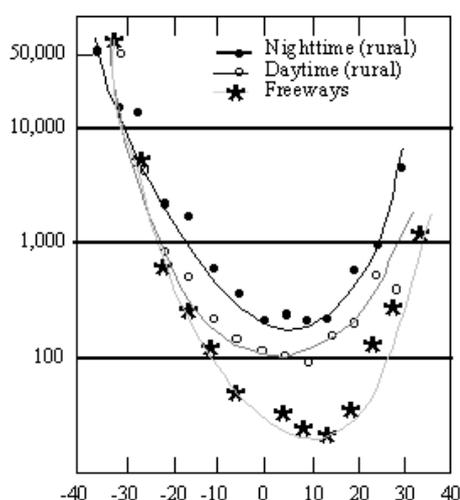


FIGURA 2-2 – RELAZIONE TRA TASSO DI INCIDENTALITÀ E DEVIAZIONE DALLA VELOCITÀ MEDIA (16) (17)

Mentre tali studi mostrano che sia i guidatori “più veloci” che quelli “più lenti” incorrono in una maggiore probabilità di essere coinvolti in incidenti, studi più recenti condotti in Australia (15) e in Gran Bretagna (18), hanno riscontrato invece un **rischio maggiore per i guidatori che tengono velocità molto superiori alla media**, mentre non hanno riscontrato lo stesso per quelli che tengono velocità di molto inferiori (15) (Figura 2-3).

Dunque anche le grandi differenze di velocità incidono anche sulla probabilità di incidente. Il rischio di incidente è più alto inoltre in situazioni di traffico maggiormente complesse, ovvero nel caso di strade caratterizzate da differenti tipologie di veicoli, differenti utenze, numerose intersezioni, etc... (ad es. per un'autostrada la situazione del traffico è sicuramente meno complessa che per una strada urbana), ed aumenta all'aumentare del “grado di complessità” del traffico (18)(19).

Pertanto, volendo mettere in relazione la velocità e il tasso di incidentalità, si può dire che:

- la relazione tra velocità (assoluta) e tasso d'incidentalità non è lineare: segue una legge di potenza se si considera la velocità media lungo una sezione stradale, o una legge esponenziale se si considera la velocità individuale del veicolo;
- grandi differenze di velocità tra i veicoli influenzano il tasso d'incidentalità;
- il tasso d'incidentalità aumenta in situazioni di traffico maggiormente complesse, ed aumenta al crescere del "grado di complessità" del traffico.

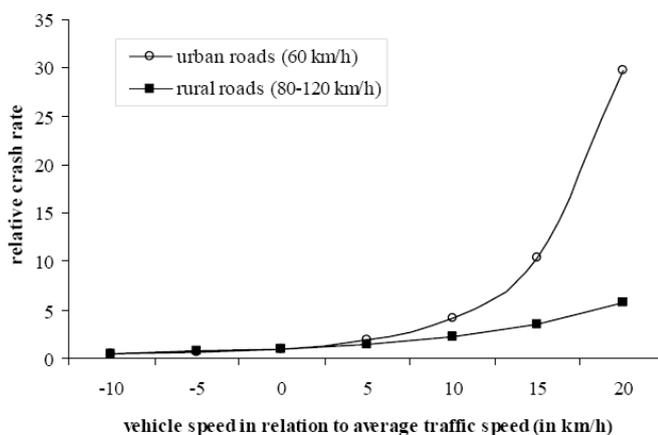


FIGURA 2-3 - TASSO D'INCIDENTALITÀ RELATIVO SU STRADE URBANE (13)(15) ED EXTRAURBANE (14) PER VEICOLI CON VELOCITÀ INFERIORI E SUPERIORI ALLA VELOCITÀ MEDIA (=0). (15)-(20).

### 2.2.2 VELOCITÀ E GRAVITÀ DEGLI INCIDENTI

La relazione tra velocità dei veicoli e severità degli incidenti è indubbia ed è basata su leggi della fisica.

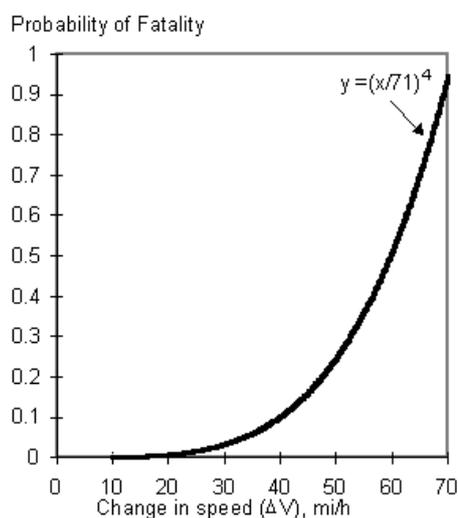
L'energia cinetica di un veicolo in movimento è infatti funzione della sua massa e del quadrato della sua velocità. In caso di collisione, l'energia cinetica è dissipata dall'attrito, dal calore e dalla deformazione di materia: una parte dell'energia dissipata nell'urto viene assorbita dal corpo umano dei passeggeri, che è in grado di tollerare solo una limitata quantità di energia, oltre la quale le conseguenze possono essere molto gravi o addirittura fatali.

Data la relazione di tipo quadratico che lega l'energia cinetica alla velocità, **la probabilità di ferimento e la gravità del ferimento in caso di incidente crescono esponenzialmente con la**

**velocità del veicolo**, in particolar modo per i passeggeri di veicoli leggeri o per utenti non protetti come pedoni o ciclisti. Ad esempio, ad un aumento del 30% della velocità (ad es. da 80 km/h a 105 km/h) corrisponde un incremento del 69% dell'energia cinetica del veicolo (20).

Il rischio per un conducente di restare ucciso in un incidente aumenta con la quarta potenza della velocità (21). Il rischio di restare uccisi comincia a crescere quando il cambio di velocità al momento dell'impatto è superiore a 30 mi/h (48 km/h) ed è superiore al 50% quando tale valore raggiunge le 60 mi/h (96 km/h): la probabilità di restare uccisi in uno scontro a 50 mi/h (80 km/h) è dunque 15 volte più probabile che in uno scontro a 25 mi/h (40 km/h).

In un incidente ad una velocità di 80 km/h la possibilità che i passeggeri del veicolo rimangano uccisi è 20 volte superiore a quella di un incidente a 30 km/h (22).



**FIGURA 2-4 - EFFETTI DEL CAMBIO DI VELOCITÀ ALL'IMPATTO SUL RISCHIO DI MORTE (21)**

Nilsson (12) ha studiato la relazione tra incidenti con feriti gravi, incidenti mortali e velocità e l'ha illustrata con il cosiddetto "power model", secondo il quale gli incidenti con feriti gravi è funzione della terza potenza della velocità, e gli incidenti mortali con la quarta potenza della velocità media del flusso veicolare (Figura 2-5) - (12), (23), (7).

Secondo tale modello, un aumento del 5% nella velocità media da luogo ad un aumento approssimato del 10% negli incidenti con feriti e del 20% negli incidenti mortali. Allo stesso

modo, se la velocità media si riduce di un 5% si ha una riduzione di circa il 10% negli incidenti con feriti e di circa il 20% negli incidenti mortali.<sup>4</sup>

L'effetto nel numero di feriti è maggiore che nel numero di incidenti mortali ed equivale, in media, alla potenza di 4.5 (7).

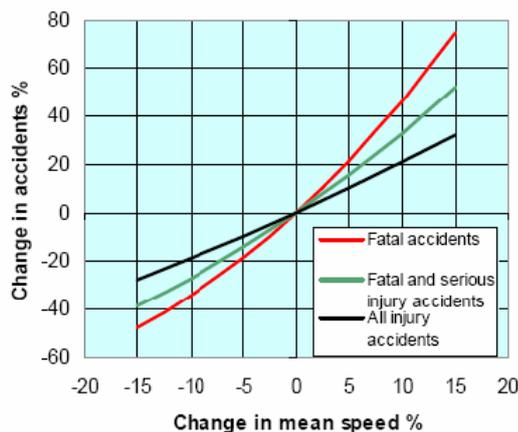


FIGURA 2-5 – “POWER MODEL”: RELAZIONE TRA IL CAMBIAMENTO DI VELOCITÀ MEDIO E INCIDENTI (12)

## 2.3 FATTORI CHE INFLUENZANO LA SCELTA DELLA VELOCITÀ

La grande maggioranza dei guidatori considera la velocità come un problema molto grave per la sicurezza delle strade, e più dell'80% dei guidatori europei si dichiara convinto che guidare ad eccessive velocità spesso, o quasi sempre, un fattore determinante nel verificarsi di incidenti stradali (24).

Allo stesso tempo però molti conducenti superano il limite di velocità imposto: violazioni del limite di velocità sono fatte dal 40% al 60% dei guidatori, e circa il 10-20% di queste superano il limite imposto di oltre 10 km/h (1).

<sup>4</sup> Sono cifre approssimate, facili da ricordare. Le cifre esatte presentate da Nilsson sono le seguenti: un aumento del 10% sulla velocità media si traduce in un aumento del 21% in tutti gli incidenti con feriti, del 33% in tutti gli incidenti mortali o con feriti gravi, del 46% negli incidenti mortali. Con una riduzione del 10% della velocità media si ha invece il 19% in meno di incidenti con feriti, il 27% in meno di incidenti mortali e con feriti gravi e il 34% in meno di incidenti mortali. È doveroso ricordare che quello presentato da Nilsson è un modello che non tiene conto del traffico o delle caratteristiche della strada, da cui dipendono le conseguenze reali degli incidenti.

Sono molti i fattori che possono influenzare la velocità alla quale un automobilista sceglie di guidare. La scelta della velocità può essere influenzata da preferenze personali, dalla pressione sociale, dalle caratteristiche della strada, dalle caratteristiche del veicolo e da tutti i tipi di interazioni tra questi, ma può anche essere influenzata da fattori ambientali come le condizioni climatiche, le caratteristiche della strada o la suddivisione in speed-zone. In questa sede si analizzeranno esclusivamente le condizioni in cui la velocità di guida è una scelta individuale (20).

### 2.3.1 ATTEGGIAMENTO E COMPORTAMENTO DEI GUIDATORI

Numerosi studi sono stati condotti fin dagli anni '50 allo scopo di indagare sulle caratteristiche dei conducenti che maggiormente influenzano la loro scelta della velocità di guida.

Solomon (16) ha individuato le tipologie di guidatori e le caratteristiche dei veicoli correlate alle elevate velocità tenute nelle strade extraurbane secondarie alla fine degli anni '50: le velocità medie più elevate le ha riscontrate per i conducenti di giovane età, i veicoli provenienti da altri stati, gli autobus e gli ultimi modelli di automobili in particolar modo quelle ad alte prestazioni.

Più recentemente Fildes et al. (25), effettuando dei rilievi di velocità su diverse strade urbane ed interurbane nello stato di Victoria (Australia) e intervistando alcuni conducenti, hanno riscontrato che le categorie di conducenti che più facilmente viaggiano a velocità superiori alla media o superano i limiti di velocità sono quelli di giovane età, quelli privi di passeggeri a bordo, quelli alla guida di veicoli nuovi, quelli in viaggio per lavoro e quelli che compiono abitualmente viaggi molto lunghi.

Mustyn e Sheppard (26) hanno riscontrato che oltre il 75% dei conducenti ritiene di guidare ad una velocità idonea alle condizioni del traffico e della strada, a prescindere dal limite dal limite di velocità imposto. Nonostante i conducenti intervistati considerassero infatti l'eccesso di velocità come una delle prime cause di incidente e considerassero un reato grave superare il limite di velocità di 20mph (32 km/h), non ritenevano eccessivamente pericoloso guidare a 10mph (16 km/h) oltre il limite di velocità imposto.

Le indagini condotte nell'ambito del progetto denominato SARTRE3(24) forniscono informazioni sui comportamenti tenuti dai conducenti, così come dagli stessi "auto-riportati" per differenti tipologie di strade. La maggior parte delle violazioni vengono segnalate nelle autostrade, mentre quelle meno frequentemente segnalate sono nelle zone urbane. La percentuale di veicoli che ammette di superare spesso, molto spesso, o sempre, i limiti di velocità in relazione alle diverse tipologie di strade sono:

- Il 24% nelle autostrade
- Il 18% nelle strade extraurbane principali

- Il 12% nelle extraurbane secondarie
- L'8% nelle strade urbane

La percentuale di conducenti che però ammette una violazione dei limiti di velocità è notevolmente inferiore alle percentuali osservate. Tale sottostima è certamente dovuta al fatto che il superamento dei limiti di velocità è un considerato un **comportamento socialmente inaccettabile**, e al fatto che spesso un superamento del limite di pochi km/h non viene considerato dai conducenti stessi una violazione.

Molti conducenti preferiscono guidare a velocità superiori rispetto a quelle oggettivamente giustificabili in funzione del rischio e rispetto a quelle che essi stessi considerano velocità "sicure". **I motivi per cui si superano i limiti di velocità possono essere razionali o irrazionali** e possono dipendere sia dallo stato momentaneo del conducente e/o dalla situazione in cui si trova a guidare, ma possono dipendere anche dall'indole del conducente o di una categoria di conducenti.

Sicuramente esiste una stretta relazione tra alcune caratteristiche individuali dei conducenti e la velocità di guida: sicuramente coloro che hanno maggiori inclinazioni a "correre rischi" e "provare forti emozioni" avranno una maggiore tendenza a guidare a velocità più elevate di quelle consentite (27) (28) (29). Ma, anche in funzione della categoria a cui appartengono, è possibile distinguere delle preferenze di velocità di guida (30) (28) (9):

- gli uomini tendono a superare i limiti di velocità più spesso delle donne,
- i giovani tendono a superare i limiti di velocità più spesso dei più anziani,
- coloro che guidano per ragioni di lavoro superano i limiti di velocità più di frequente rispetto a coloro che utilizzano l'automobile per spostamenti casa-lavoro e lavoro-casa,
- coloro che guidano per lavoro tendono a superare i limiti di velocità più spesso rispetto a quelli che guidano per ragioni personali.

Generalmente comunque **quasi tutti i guidatori vogliono guidare a velocità superiori rispetto a quelle che essi stessi considerano sicure**, a conferma che in generale i conducenti sono convinti di guidare meglio e in maniera più sicura degli altri, anche tenendo velocità superiori agli altri (29). Secondo le indagini del SARTRE3 (24) quasi il 10% degli automobilisti europei concorda sul fatto che è molto più "divertente" guidare ad alte velocità.

**Spesso però il superamento dei limiti di velocità può essere del tutto non intenzionale**: più del 15% dei guidatori infatti ammette di superare il limite di velocità imposto in maniera inconsapevole. Nonostante tutti i veicoli siano dotati di un tachimetro, che fornisce la velocità istantanea dei veicoli, molti guidatori sono maggiormente influenzati dalla personale percezione della velocità tenuta più che da quella reale, il che porta spesso ad una sovrastima o - sicuramente peggio - ad una sottostima della velocità istantanea tenuta dal veicolo.

Sulla base dei numerosi studi effettuati fin dagli anni '60 e '70 e di studi più recenti (31) (32)(33) è possibile distinguere **tre situazioni nelle quali è possibile sottostimare** - come risultato combinato del feedback visivo, uditivo e ricettivo associato a diversi valori di velocità - **la propria velocità di guida**:

1. situazioni in cui il conducente ha tenuto velocità elevate per un lungo periodo (come ad esempio di lunghe percorrenze in autostrada): con l'andare del tempo si ha una sottostima della velocità tenuta e un aumento progressivo ed inconsapevole della velocità di guida.
2. situazioni "di transizione", in cui il conducente deve ridurre significativamente la propria velocità di guida dopo una lunga percorrenza a velocità elevate: entrando in speed-zone a velocità inferiore si ha una sottostima della propria velocità di guida, come nel caso in cui si entra in una zona abitata provenendo da un'autostrada o quando si incontrano una serie di curve provenendo da un lungo rettilineo.
3. situazioni in cui si ha una ridotta visione periferica, come nel caso di strade strette prive di punti di riferimento, in caso di guida notturna o in caso di nebbia, nelle quali le ridotte informazioni sul proprio intorno spingono a sottostimare la propria velocità di guida.

Infine un'altra ragione per superare i limiti di velocità è la mancata conoscenza dei limiti imposti, la quale può essere considerata anch'essa una violazione non intenzionale o inconsapevole.

### 2.3.2 CARATTERISTICHE DELLA STRADA

Anche le caratteristiche della strada contribuiscono a determinare la velocità alla quale i conducenti guidano i loro veicoli.

Secondo Warren (34) le caratteristiche che maggiormente influiscono sulle velocità tenute dagli utenti sono la curvatura, la pendenza, la lunghezza delle livellette, il numero di corsie, le condizioni della pavimentazione, la lunghezza della visuale libera, le condizioni dei margini e il numero di intersezioni. Tignor e Warren (35) riportano inoltre tra i fattori che hanno maggiore influenza sulle velocità il numero di accessi e la vicinanza con agglomerati commerciali, mentre secondo Fildes (36) invece i fattori che hanno maggiore influenza sulla velocità scelta sono la larghezza della strada e il numero di corsie.

Più recentemente l'European Transport Safety Council (31) ha pubblicato uno studio secondo il quale determinanti nella scelta della velocità su un determinato tratto di strada sono la larghezza, la pendenza, la lunghezza dei rettilineo e la coerenza fra queste variabili.

**Sono le caratteristiche della strada a determinare cosa è fisicamente possibile per il veicolo, e ad influenzare di conseguenza la decisione del singolo guidatore.** Le

caratteristiche della strada e del contesto in cui questa si trova con maggiore influenza sulla scelta della velocità sono (37):

- la sezione stradale
- l'allineamento orizzontale e verticale
- il contesto ambientale.

Più nel dettaglio, la relazione che lega la velocità a queste caratteristiche è descritta in Tabella 2-I.

**TABELLA 2-I – RELAZIONE TRA VELOCITÀ E CARATTERISTICHE DELLA STRADA E DEL SUO INTORNO (28)**

SEZIONE STRALE	
NUMERO DI CORSIE	PIÙ CORSIE → MAGGIORE VELOCITÀ
LARGHEZZA DELLA CORSIA	MAGGIORE LARGHEZZA → MAGGIORE VELOCITÀ
LARGHEZZA DELLA ZONA "LIBERA DA OSTACOLI"	MAGGIORE LARGHEZZA → MAGGIORE VELOCITÀ
PRESENZA/ASSENZA DI CORSIA D'EMERGENZA	PRESENTE → MAGGIORE VELOCITÀ
PRESENZA/ASSENZA DI PISTA CICLABILE O DI STRADA DI SERVIZIO	PRESENTE → MAGGIORE VELOCITÀ
PRESENZA/ASSENZA DI SEGNALETICA ORIZZONTALE	PRESENTE → MAGGIORE VELOCITÀ
ALLINEAMENTO	
CURVATURA DELLA STRADA (DISTANZA DI VISIBILITÀ)	MINORE CURVATURA → MAGGIORE VELOCITÀ
TIPO E CONDIZIONI DELLA PAVIMENTAZIONE STRADALE	MIGLIORI CONDIZIONI DELLA PAVIMENTAZIONE → MAGGIORE VELOCITÀ
CONTESTO	
EDIFICI LUNGO LA STRADA	MINOR NUMERO DI EDIFICI → MAGGIORE VELOCITÀ
VEGETAZIONE LUNGO LA STRADA	MINORE VEGETAZIONE → MAGGIORE VELOCITÀ

L'influenza sulla scelta della velocità delle sopraelencate caratteristiche della strada possono anche influire sul superamento dei limiti di velocità. Ciò, nella maggior parte dei casi, dipende dall'**incoerenza tra i limiti di velocità imposti** per quella particolare tipologia di strada o speed-zone **e le caratteristiche della stessa**.

Le caratteristiche della strada, infatti, forniscono un "messaggio implicito" all'utente sulla velocità da tenere, che spesso non coincide con quella che è stabilita dai gestori come "velocità sicura", facendo in modo così che i limiti imposti vengano percepiti come poco "credibili" (38). È pertanto molto importante che i limiti di velocità imposti dai gestori siano adeguati a quelle che sono le caratteristiche della strada.

### 2.3.3 CARATTERISTICHE DEI VEICOLI

I veicoli, specialmente le automobili, hanno subito nel tempo notevoli miglioramenti: ciò influenza direttamente o indirettamente la scelta della velocità dei conducenti (28).

Nel corso degli ultimi decenni ad esempio il confort di guida è notevolmente aumentato, riducendo notevolmente il rumore e le vibrazioni del veicolo ad alte velocità, sia nei veicoli di notevoli dimensioni e peso ma anche nelle piccole vetture, provocando così la scomparsa di quanto segnalasse il superamento di una certa velocità.

Nel tempo anche la potenza dei motori delle vetture è aumentata considerevolmente, consentendo grandi accelerazioni e più elevate velocità massime raggiungibili: ciò influenza la scelta della velocità, soprattutto in quelle strade in cui il raggiungimento di tali velocità è possibile.

#### 2.3.4 CONDIZIONI AMBIENTALI

Anche le condizioni meteorologiche influenzano la velocità scelta dal guidatore di ciascun veicolo.

Secondo uno studio condotto su una strada extraurbana in Minnesota (CRC, 1995) una ridotta visibilità dovuta alla presenza di nebbia è causa di una diminuzione di circa 6mph (10 km/h) sulla velocità media, e una maggiore riduzione in termini di velocità può essere osservata in condizioni estreme .

Liang et al. (39) in una campagna di rilievi di velocità su una strada extraurbana secondaria nell'Idaho, hanno riscontrato che la deviazione standard della velocità raddoppia durante la presenza di banchi di nebbia e addirittura triplica in presenza di neve. I ricercatori hanno anche trovato che i guidatori riducono in media la loro velocità di 0.4 km/h per ogni chilometro orario che la velocità del vento supera i 40 km/h.

Sebbene il fondo stradale bagnato interessi l'aderenza sia in frenata che in fase di sorpasso o percorrendo una curva, la maggior parte dei guidatori non riduce in maniera sensibile la propria velocità quando si viaggia su strade bagnate. Olson et al. (40), in una campagna di rilievi di velocità effettuata durante le ore diurne sia in condizioni di pavimentazione bagnata che asciutta in 22 siti in Illinois, hanno riscontrato una differenza massima di velocità è stata inferiore a 2.5 mph (4 km/h) alcuna differenza sostanziale fra queste velocità.

### 2.4 CONSIDERAZIONI SUL CONCETTO DI VELOCITÀ

La velocità è un concetto fondamentale nell'Ingegneria dei trasporti stradali ed assume un netto significato solo quando è chiaro a quale fase tra pianificazione, progettazione e gestione, ci riferiamo.

La scelta del valore di velocità per il progetto e la verifica della strada ha rilevanti conseguenze, non solo per gli aspetti legati alla funzionalità dell'opera e alla sicurezza della circolazione, ma anche sotto il profilo economico ed ambientale.

La sua definizione non è univoca potendo individuare almeno quattro concetti differenti di velocità: velocità di progetto, velocità operativa, velocità commerciale, velocità limite legale (41), (42).

Le velocità a cui si fa riferimento sono:

- Velocità di Progetto (*Design Speed*).
- Velocità Commerciale (*Running Speed*);
- Velocità Operativa (*Operating Speed*);
- Velocità Limite Legale (*Speed Limit*).

#### 2.4.1 VELOCITÀ DI PROGETTO (DESIGN SPEED)

La velocità di progetto è definita come la massima velocità con cui è possibile percorrere, in base ai soli condizionamenti derivanti dalla geometria, un determinato tratto di strada senza superare i livelli di sicurezza fissati in fase di progettazione.

Essa costituisce, pertanto, il parametro più condizionante nel dimensionamento delle grandezze geometriche e cinematiche inerenti la progettazione stradale.

La scelta della velocità di progetto della strada deve essere effettuata in modo tale da soddisfare molteplici esigenze - la domanda di trasporto, la sicurezza e il comfort, l'impatto ambientale, i costi di costruzione e gestione dell'infrastruttura - e ottimizzare il rapporto tra le stesse.

A causa della variabilità nella velocità adottata dagli utenti, a parità di condizioni esterne inerenti alla strada e l'ambiente, la scelta della  $V_p$  deve essere tale da soddisfare un'elevata percentuale di guidatori accettando comunque che una parte di essi potrà adottare velocità superiori.

La velocità media è un valore rappresentativo, in quanto si riferisce al 50% delle condizioni di transito della strada; è quindi utile per una valutazione complessiva della qualità della strada e del livello di servizio, ma non è utile per la progettazione. Progettare infatti la strada per la metà degli utenti della stessa determina condizioni inaccettabili in termini di sicurezza per la restante metà degli utenti, ma d'altra parte (anche per motivi di ordine economico) non è possibile adottare tenere in conto le necessità di un numero troppo elevato di utenti. Un buon compromesso è rappresentato dalla velocità relativa all'85° percentile ( $V_{85}$ ) degli utenti, ossia quel valore di velocità che non viene superato dall'85% dei veicoli e consente di tutelare la sicurezza di un numero abbastanza alto degli utenti, lasciando fuori quelli che scelgono di adottare un comportamento a rischio e che, pertanto, percorreranno la strada in condizioni di sicurezza inferiori.

Considerazioni analoghe vanno fatte in relazione alle condizioni ambientali che possono avere influenza sulla condotta di guida, come le condizioni meteorologiche, la luminosità, lo stato della pavimentazione, le condizioni di traffico. Il riferimento a condizioni

particolarmente vincolanti infatti può comportare la possibilità di velocità eccessive in momenti più favorevoli: è preferibile pertanto prendere come riferimento la marcia del veicolo isolato in condizioni di normale visibilità diurna e normali caratteristiche superficiali della pavimentazione.

Il miglioramento delle caratteristiche geometriche e la riduzione dei tempi di percorrenza associati all'aumento della velocità di progetto innalzano, a parità di caratteristiche del traffico, il livello di servizio della strada e quindi la qualità della circolazione in termini di comfort, costi del trasporto e sicurezza.

Dal punto di vista della sicurezza, l'analisi degli incidenti stradali dimostra che le strade progettate con velocità maggiori hanno tassi di incidentalità minori dovuti sia a standard progettuali migliori che ad una maggiore corrispondenza tra velocità di progetto ipotizzate e velocità effettivamente adottate dagli utenti. Bisogna comunque osservare che, nelle strade ad elevata velocità di percorrenza è maggiore l'incidenza degli incidenti gravi con conseguenze mortali, e che all'aumentare della velocità si riduce il campo di visione e il tempo disponibile per ricevere ed elaborare le informazioni esterne, per cui occorre compensare queste limitazioni semplificando e distanziando la segnaletica.

Dalle considerazioni esposte si evince come la scelta della tipologia stradale e quindi della velocità di progetto da adottare è un momento essenziale nella progettazione stradale. Inoltre, poiché gli elementi in base a cui operare tale scelta sono attinenti, oltre che alle caratteristiche proprie della strada (lunghezza del tragitto, volume e composizione del traffico) e del contesto territoriale circostante (orografia del terreno, impatto ambientale, caratteristiche climatiche) anche ad aspetti più generali di politica dei trasporti (ripartizione modale, costo del trasporto su gomma, risorse finanziarie, livello di servizio accettabile, sicurezza), il momento di tale scelta deve collocarsi nella fase della pianificazione e quindi del progetto preliminare.

#### 2.4.2 VELOCITÀ COMMERCIALE (RUNNING SPEED)

La velocità alla quale il singolo veicolo viaggia su una sezione di strada è nota come velocità commerciale ( $V_c$ ). La velocità commerciale è pari al rapporto tra la lunghezza del tratto di strada ( $L_t$  [km]) compreso tra il punto di origine e quello di destinazione, e il tempo ( $T$  [h]) impiegato dal veicolo per percorrerlo:

$$V_c = \frac{L_t}{T}$$

In relazione alle caratteristiche infrastrutturali e di traffico è possibile avere tratti dello stesso percorso caratterizzati da valori diversi di  $V_c$ : in tal caso la velocità commerciale dell'intero percorso sarà data dalla media pesata delle velocità di tutti i veicoli nelle singole sezioni omogenee. Essa è data dal rapporto tra la sommatoria delle distanze percorse dai

veicoli su una sezione durante un periodo di tempo specificato e la sommatoria dei loro tempi di gestione.

Quando il flusso è ragionevolmente continuo per valutare la velocità media le misure devono essere effettuate in uno o più tratti. Per piccole sezioni di strada sulle quali le velocità materialmente non variano, la velocità media può essere considerata un'approssimazione della velocità media commerciale. Su tratti più lunghi di strada, le velocità medie vengono valutate in molti punti, dove ogni punto rappresenta le caratteristiche di velocità dell'intervallo selezionato di strada e può essere mediato (considerando le lunghezze relative degli intervalli di strada presi in considerazione) offrendo una migliore approssimazione della velocità media.

La velocità media determinata su una strada varia durante il giorno, dipendendo primariamente dal volume di traffico. Perciò, quando vengono effettuati rilievi di velocità commerciale, bisogna indicare se sono stati realizzati nelle ore di punta o durante l'arco della giornata. I rilievi svolti nelle ore di punta sono utilizzati per determinare la velocità operativa e la velocità di progetto.

L'effetto che il volume di traffico ha sulla velocità commerciale può essere determinato utilizzando la procedura dell'Highway Capacity Manual (HCM) (41).

Il concetto di velocità commerciale trova maggiore applicazione nel campo dell'economia dei trasporti per le relazioni che è possibile definire rispetto al costo generalizzato del trasporto.

### 2.4.3 VELOCITÀ OPERATIVA (OPERATING SPEED)

Si definisce velocità operativa ( $V_o$ ) il valore effettivo di velocità adottato dall'utente nel percorrere la strada.

È un valore puntuale, quindi istantaneo, in una determinata sezione stradale.

Tale valore di velocità è fortemente influenzato da una molteplicità di componenti che, come già analizzato al paragrafo 2.3, influenzano la scelta della velocità.

Riassumendo brevemente si tratta di quattro componenti fondamentali:

- I. **“componente uomo”**: con cui ci si riferisce essenzialmente alle scelte operate dall'utente in relazione al tempo che egli intende assegnare allo spostamento, (motivazione del viaggio, età, condizioni psicofisiche,....).
- II. **“componente strada”**: con cui si intendono invece le caratteristiche dell'infrastruttura che inevitabilmente influenzano la  $V_o$ , soprattutto in ambito extraurbano ed in condizioni di flusso libero. Tra i fattori maggiormente influenti si segnalano la tipologia della sezione trasversale (singola o doppia carreggiata), il valore della curvatura e dello sviluppo angolare del tracciato, la visibilità
- III. **“componente ambiente”**: con cui si intendono le condizioni ambientali che caratterizzano l'infrastruttura - ovvero la conformazione del paesaggio circostante,

la presenza o meno di zone abitate, etc... - le condizioni atmosferiche (pioggia, nebbia, condizioni della pavimentazione, etc...), le condizioni di traffico (volume e composizione del traffico), limiti di velocità imposti.

- IV. **“componente veicolo”**: con cui ci si riferisce alle caratteristiche di potenza, meccaniche, di sicurezza e di manutenzione dei veicoli.

Il valore della velocità operativa, normalmente utilizzata come riferimento velocità (tenuta dall'utente medio) rispetto alla distribuzione delle velocità rilevate su un elemento o su un tronco omogeneo di tracciato in condizioni di flusso libero, è quello della velocità dell'ottantacinquesimo percentile ( $V_{85}$ ), definita come “l'ottantacinquesimo percentile della distribuzione delle velocità dei veicoli in condizione di flusso libero”. Rappresenta quindi quel valore della velocità che, nelle condizioni specificate, è superato solo dal 15% dei veicoli che compongono il flusso di traffico rilevato.

Per ottenere un valore affidabile della velocità dell'85esimo percentile bisogna effettuare le misure per un campione di veicoli in condizione di flusso libero, ovvero in condizioni di traffico che consenta ai veicoli di viaggiare alla velocità effettivamente desiderata (poiché non condizionati da altri veicoli).

#### 2.4.4 VELOCITÀ LIMITE LEGALE (SPEED LIMIT)

Il limite di velocità di una strada è la massima velocità consentita dalla legge ai mezzi di trasporto circolanti su quella strada.

I limiti di velocità sono in genere fissati dal legislatore di uno stato o di una regione.

Lo scopo primario è offrire una migliore sicurezza riducendo la probabilità e la gravità di incidenti. Un segnale di limite di velocità notifica ai conducenti la velocità massima che è considerata sicura in funzione delle condizioni atmosferiche e della visibilità. Esso intende stabilire lo standard al quale i conducenti normalmente cauti possono reagire in modo sicuro se dovessero incontrare problemi lungo la carreggiata. Stabilendo i limiti di velocità si ottiene un flusso veicolare più uniforme che dà luogo ad un uso efficiente della capacità della strada e ad un numero minore di incidenti.

Dei limiti di velocità si tratterà in maniera maggiormente dettagliata nel paragrafo a seguire.

## 3. I LIMITI DI VELOCITÀ

### 3.1 GENERALITÀ

I limiti di velocità sono la base legale e il “cuore” di ogni politica di gestione della velocità - *speed management* - che abbia come obiettivi prioritari la riduzione delle velocità sulle strade e la massimizzazione del rispetto dei limiti di velocità imposti, al fine di ridurre il numero di incidenti sulle strade e la gravità degli stessi.

L'idea della necessaria regolazione delle velocità, allo scopo di incrementare la sicurezza sulle strade e prevenire incidenti, è addirittura precedente di 200 anni all'invenzione dell'automobile: nella città di Newport (Rhode Island), allo scopo di prevenire incidenti con i pedoni, era stato vietato di procedere al galoppo lungo le arterie principali; a Boston (Massachusetts) per proteggere i fedeli che si recavano a messa la domenica era stato imposto alle carrozze trainate da cavalli di procedere “a passo d'uomo”, etc... (3)

Il primo limite di velocità imposto sui veicoli a motore fu quello introdotto nel Regno Unito dal *Locomotive Act* del 1861, con cui fu introdotto il limite di velocità per di 10 mph (16 km/h) fuori dalle città e di 5mph (8 km/h) nelle città.

Il Nepal, l'Isola di Man e lo stato indiano di Uttar Pradesh sono attualmente gli unici luoghi nel mondo che non possiedono un limite di velocità generale. In Germania, alcuni (ma non tutti) tratti dell'Autobahn rimangono ancora oggi senza limiti di velocità, anche se vi è una “velocità raccomandata” di 130 km/h. Escludendo le strade pubbliche, che non hanno un limite di velocità imposto per legge, il più alto limite di velocità nel mondo è di 160 km/h (circa 100 mph), che viene applicato in via di sperimentazione solo su alcuni determinati rettilinei in Austria e negli Emirati Arabi Uniti.

## 3.2 TIPOLOGIE DI LIMITI DI VELOCITÀ

Parlando di limiti di velocità è sempre necessario fare una distinzione tra:

- ✓ **limiti generali** (ed impliciti)
- ✓ **limiti specifici o localizzati** (espliciti).

I primi sono limiti normalmente imposti a livello nazionale in funzione della tipologia di strada, e sono “scelti” in base alle caratteristiche geometriche e alla tipologia di veicoli ammessi su quella particolare tipologia di strada; essendo regolamentati da politiche nazionali (in Italia dal Codice della Strada) spesso non sono resi noti da opportuni segnali e pertanto sono “impliciti”. Trattandosi di limiti generali, questi sono di per sé stessi un “compromesso”, in quanto possono andar bene per una strada ma essere “troppo alti” o “troppo bassi” per altre (3).

È per questa ragione che vengono altresì fissati dei limiti localizzati su determinati tronchi di strada - denominati *speed zones* - fissati “su misura” dall’Ente Gestore della strada per un determinato tronco stradale, in cui il limite generale non è ritenuto appropriato. Questi sono resi noti mediante opportuna segnaletica verticale.

Un’ulteriore distinzione va effettuata tra **limiti fissi** (normalmente imposti mediante la classica segnaletica verticale) e **limiti variabili**, ovvero limiti che cambiano in funzione delle condizioni della strada (climatiche, di traffico, etc...).

All’interno della categoria dei cosiddetti limiti variabili vengono normalmente inglobate due tipologie di limiti (1):

- ✓ i limiti variabili in senso stretto: caratterizzati da segnaletica fissa e spesso regolamentati da normativa nazionale, entrano in vigore in particolari condizioni legate alle condizioni climatiche (pioggia/asciutto), alle stagioni (estate/inverno), all’ora del giorno (notte/giorno), etc...
- ✓ i limiti dinamici: attivati sulla base di particolari condizioni del traffico, di visibilità, condizioni climatiche, etc... sono regolati mediante pannelli a messaggio variabile.

Entrambe le tipologie sono comunque inglobate nella categoria dei limiti variabili.

Nonostante infine la maggior parte dei limiti di velocità si riferiscano a velocità massime, esistono anche **limiti di velocità minima** – usati soprattutto nelle autostrade – per ridurre l’eccessiva variabilità delle velocità.

In alcuni paesi sono inoltre utilizzati dei **limiti di velocità raccomandata**, utilizzati per segnalare particolari condizioni di pericolo (ad es. una curva pericolosa).

## 3.3 MOTIVAZIONI ED OBIETTIVI

### 3.3.1 GIUSTIFICAZIONI PER LA REGOLAMENTAZIONE DELLA VELOCITÀ

Durante l'attività di guida i conducenti effettuano, istante per istante, delle scelte relative alle velocità di marcia che ritengono appropriata, funzione del rischio che scelgono di correre nel corso di tale attività. Poiché certamente i conducenti non hanno alcun interesse ad essere coinvolti in incidenti ma hanno interesse a viaggiare in sicurezza, è naturale domandarsi le ragioni per cui non vengano lasciati liberi di scegliere la propria velocità di marcia, ma vengano invece imposti dei limiti di velocità.

Le principali ragioni per le quali è necessario regolamentare le scelte individuali legate alla velocità di marcia sono tre (3):

- la **mancata consapevolezza delle conseguenze** che la scelta individuale di una velocità inappropriata può avere sul prossimo;
- l'**inadeguatezza delle informazioni**, che impedisce al conducente di valutare facilmente la velocità più appropriata;
- l'**errata valutazione degli effetti della velocità** sulla probabilità di incidente e sulla sua gravità.

Il primo punto è sicuramente la ragione prioritaria che spinge all'imposizione dei limiti di velocità. I conducenti che scelgono di guidare a velocità inappropriate, infatti, possono non tenere in conto i rischi che impongono sugli altri con il loro comportamento: ad esempio, chi sceglie di guidare a velocità molto elevate rispetto agli altri per ridurre il proprio tempo di viaggio, infatti, accetta per sé il rischio di rimanere ferito o di morire, ma la sua scelta quasi certamente avrà delle conseguenze negative sugli altri guidatori, aumentando anche per loro il rischio di essere coinvolto in un incidente.

L'inadeguatezza o la mancanza di informazioni possono altresì essere una buona ragione per imporre dei limiti di velocità: alcuni potrebbero giudicare erroneamente le prestazioni del proprio veicolo o non percepire in tempo alcune particolari caratteristiche geometriche della strada, e pertanto scegliere delle velocità inappropriate. Tali considerazioni, che possono essere poco valide per conducenti esperti o per chi guida in circostanze "familiari", possono comunque influire anche per tali tipologie di conducenti nel caso di un cambiamento delle condizioni abituali della strada o in caso di guida in particolari condizioni di stanchezza o altro.

Infine, un'ulteriore ragione per imporre delle limitazioni sulle velocità è la tendenza di alcuni a sottovalutare o valutare erroneamente gli effetti della velocità sulla probabilità e gravità di incidente. I guidatori infatti spesso hanno una buona percezione della relazione tra la velocità di guida e il tempo di viaggio ma non hanno altrettanta percezione dei rischi legati

alla velocità: così, come già rilevato, i conducenti sovrastimano le proprie capacità di guida e sottostimano o ignorano del tutto i rischi di una guida ad alte velocità.

Queste considerazioni, relative alle ragioni per cui è necessario regolamentare le velocità, lasciano aperta la questione sulle modalità con cui fissare tali limiti.

### 3.3.2 OBIETTIVI

Per quanto riguarda gli obiettivi che si intendono raggiungere con l'imposizione di limiti di velocità, obiettivo prioritario è quello di **aumentare la sicurezza e ridurre i rischi imposti dalle scelte dei guidatori** (3). I limiti di velocità infatti incrementano la sicurezza su due fronti, in quanto hanno una duplice funzione:

- una funzione limitante: stabilendo un limite superiore di velocità, l'obiettivo è sia la riduzione della probabilità di incidente che la riduzione della severità dell'incidente
- una funzione di coordinamento e di riduzione della "dispersione" delle velocità: velocità più uniformi sono associate a minori conflitti tra i veicoli.

Un ulteriore obiettivo che si intende raggiungere – relazionato con la loro funzione di coordinamento – è quello di **ottenere dei flussi di traffico ordinati e di incrementare l'efficienza degli stessi**; se ben concepiti i limiti di velocità aiutano infatti a determinare degli standard ragionevoli di applicazione.

I limiti di velocità vengono anche imposti a **scopi ambientali** - come in tempi di crisi energetica allo scopo di ridurre i consumi – o per ridurre le emissioni in atmosfera e il rumore (in particolar modo nelle zone abitate) al fine di **migliorare la qualità della vita** delle persone che vivono in prossimità di arterie di traffico (1).

La scelta del limite di velocità dunque, indipendentemente dall'aumento della sicurezza, dipende essenzialmente dagli obiettivi che ci si prefigge di raggiungere. In Tabella 3-I è riportata una sintesi di come possano essere definiti range differenti di velocità per le varie tipologie di strade a seconda delle finalità che ci si pone innanzi.

Ogni paese orienta le proprie scelte seguendo politiche differenti, modificandole anche nel tempo sulla base delle priorità imposte dalla società. Un buon esempio da questo punto di vista è rappresentato dalla Svezia, che nel tempo ha modificato i propri obiettivi e con questi le modalità di scelta dei limiti di velocità sulle proprie strade, passando da un criterio puramente empirico basato sulla velocità dell'85esimo percentile, a criteri geometrici, a ottimizzazioni mediante analisi costi-benefici, fino ad arrivare agli ultimi anni ad una politica

che si pone come obiettivo la riduzione massima degli incidenti sulle strade – nota con il nome di *Vision Zero*<sup>5</sup> (43) (44) - Figura 3-1.

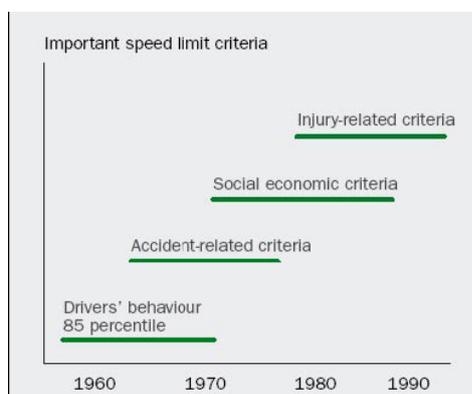


FIGURA 3-1 - FATTORI DETERMINANTI NELLA SCELTA DEI LIMITI DI VELOCITÀ, SVEZIA 1960-1990 (45)

TABELLA 3-1 – APPROPRIATI RANGE DI VELOCITÀ PER LE DIVERSE CATEGORIE DI STRADE IN FUNZIONE DELL’OBIETTIVO DA RAGGIUNGERE (1)

CATEGORIA DI STRADA E FUNZIONE	SICUREZZA	AMBIENTE	ECONOMIA E MOBILITÀ	QUALITÀ DELLA VITA PER I RESIDENTI
AUTOSTRADE E STRADE EXTRA-URBANE PRINCIPALI	90-130 <sup>6</sup> KM/H	70-90 KM/H	ESTREMO SUPERIORE DEL RANGE DI VELOCITÀ	ESTREMO INFERIORE DEL RANGE DI VELOCITÀ
RETE DI ALTA QUALITÀ PROGETTATE PER ALTI RANGE DI VELOCITÀ, PER IL TRASPORTO SU LUNGHE DISTANZE DI PERSONE, BENI E SERVIZI	LA VELOCITÀ RIDOTTA PUÒ ESSERE ADEGUATA ALLE CATTIVE CONDIZIONI CLIMATICHE	LA VELOCITÀ PIÙ ALTA PUÒ AUMENTARE LE EMISSIONI DI GAS INQUINANTI E IL RUMORE. VELOCITÀ PIÙ BASSE POSSONO ESSERE ADOTTATE IN PARTICOLARI ZONE	DI GRANDE IMPORTANZA IN CASO DI MOVIMENTI PRIVATI O COMMERCIALI	POCO SVILUPPO URBANO CIRCOSTANTE, IN TAL CASO LA VELOCITÀ DOVRÀ TENERNE CONTO E MIGLIORARE LE CONDIZIONI DI RUMORE E QUALITÀ DELL’ARIA

<sup>5</sup> *Vision Zero* è la base del Road Traffic Safety Bill, approvato in larga maggioranza dal parlamento svedese nell’Ottobre 1997; secondo tale visione “eventually no one will be killed or seriously injured within the road transport system”. Questa è espressione dell’imperativo etico secondo il quale “non è eticamente accettabile che qualcuno possa rimanere ucciso o seriamente ferito in uno spostamento effettuati all’interno del sistema stradale di trasporto”.

<sup>6</sup> Alcune giurisdizioni hanno limiti di velocità più alti in parte di queste reti

ARTERIE URBANE E STRADE PRINCIPALI	50-60-70 KM/H	30-60 KM/H	ESTREMO SUPERIORE DEL RANGE DI VELOCITÀ	ESTREMO INFERIORE DEL RANGE DI VELOCITÀ
RETE URBANA DI ALTRA QUALITÀ PROGETTATA PER TRAFFICO NOTEVOLE	RIDOTTA A 30 KM/H IN CASO DI PRESENZA DI UTENZE DEBOLI	ALL'INTERNO DEL RANGE OTTIMALE DI EMISSIONE DI GAS INQUINANTI	TRAFFICO LOCALE E DI PASSAGGIO, DI SOLITO CON SVILUPPO URBANO COMMERCIALE E RESIDENZIALE. SI DEVE RAGGIUNGERE UN EQUILIBRIO TRA SICUREZZA E MOBILITÀ	IMPORTANTE SE IL TERRENO CIRCOSTANTE È DI TIPO RESIDENZIALE. LA VELOCITÀ DEVE ESSERE GESTITA IN MODO TALE DA GARANTIRE LA QUALITÀ DELL'ARIA, I LIVELLI DI RUMORE E LA GRAVITÀ DEGLI IMPATTI.
STRADE URBANE	30 KM/H	? <sup>7</sup>		
RETE PROGETTATA PER ZONE RESIDENZIALI E PER ACCESSO. ESCLUSIVAMENTE TRAFFICO LOCALE	TRAFFIC-CALMING OVE NECESSARIO PER RIDURRE LE VELOCITÀ	AL DI SOTTO DEL RANGE OTTIMALE DI EMISSIONI INQUINANTI GLI INTERVENTI DI TRAFFIC-CALMING POSSONO CAUSARE INCREMENTI DI RUMORE	AL SECONDO POSTO DOPO LA SICUREZZA E LA QUALITÀ DELLA VITA	MOLTO IMPORTANTE IN TUTTE LE STRADE RESIDENZIALI
STRADE EXTRA-URBANE SECONDARIE	70-90 KM/H	60-90 KM/H		
PROGETTATE PER TRAFFICO DI PASSAGGIO LOCALE	DIPENDE DALLA QUALITÀ. DA RIDURRE IN CASO DI CURVE E INTERSEZIONI <sup>8</sup>	VELOCITÀ PIÙ BASSE ALL'INTERNO DEL RANGE DI VELOCITÀ OTTIMALE PER L'EMISSIONE DI GAS INQUINANTI, PERÒ VELOCITÀ PIÙ ALTE AUMENTANO LE EMISSIONI E IL RUMORE	IMPORTANTE	
STRADE SECONDARIE	40-60 KM/H			
PROGETTATE PER TRAFFICO DI ACCESSO LOCALE CON PRESENZA DI UTENZE DEBOLI	DIPENDE DALLA QUALITÀ E DALLA PRESENZA DI UTENZE DEBOLI	ALL'INTERNO DEL RANGE DI VELOCITÀ OTTIMALE	AL SECONDO POSTO DOPO LA SICUREZZA E LA QUALITÀ DELLA VITA	

<sup>7</sup> Non esistono sufficienti dati per decidere a questo riguardo

<sup>8</sup> Maggiori sono le curve e le intersezioni sulla strada e più bassa è la velocità di marcia

## 3.4 LIMITI DI VELOCITÀ IN ITALIA

### 3.4.1 LIMITI DI VELOCITÀ FISSATI DAL CODICE DELLA STRADA

Si definisce velocità limite legale, la massima velocità ammessa in base alle disposizioni del Nuovo Codice della Strada (46) e successive modifiche ed integrazioni.

I valori di velocità massima assoluta consentiti sulle strade Italiane sono indicate nell'**art. 142** del Nuovo Codice della Strada (N.C.S.) il quale al **comma 1** (ultima modifica Legge n. 120 del 29 luglio 2010) **stabilisce dei limiti massimi di velocità in base alla tipologia stradale** (così come definita all'art. 2 dello stesso N.C.S.):

*“Ai fini della sicurezza della circolazione e della tutela della vita umana la velocità massima non può superare i 130 km/h per le autostrade, i 110 km/h per le strade extraurbane principali, i 90 km/h per le strade extraurbane secondarie e per le strade extraurbane locali, ed i 50 km/h per le strade nei centri abitati, con la possibilità di elevare tale limite fino ad un massimo di 70 km/h per le strade urbane le cui caratteristiche costruttive e funzionali lo consentano, previa installazione degli appositi segnali.*

*Sulle autostrade a tre corsie più corsia di emergenza per ogni senso di marcia, dotate di apparecchiature debitamente omologate per il calcolo della velocità media di percorrenza su tratti determinati, gli enti proprietari o concessionari possono elevare il limite massimo di velocità fino a 150 km/h sulla base delle caratteristiche progettuali ed effettive del tracciato, previa installazione degli appositi segnali, sempreché lo consentano l'intensità del traffico, le condizioni atmosferiche prevalenti ed i dati di incidentalità dell'ultimo quinquennio.*

*In caso di precipitazioni atmosferiche di qualsiasi natura, la velocità massima non può superare i 110 km/h per le autostrade ed i 90 km/h per le strade extraurbane principali.”*

**TABELLA 3-II – LIMITE MASSIMO DI VELOCITÀ IMPOSTO DAL N.C.S. IN BASE ALLA TIPOLOGIA STRADALE (ART. 142 COMMA 1)**

TIPOLOGIA STRADALE	VELOCITÀ MASSIMA [KM/H]
AUTOSTRADA	130
STRADA EXTRAURBANA PRINCIPALE	110
STRADA EXTRAURBANA SECONDARIA	90
STRADA NEI CENTRI ABITATI	50

**L'art. 142 al comma 3 stabilisce dei limiti massimi di velocità e sulla base della categoria di veicolo** (così come definita all'art.47 dello stesso N.C.S.):

*“Le seguenti categorie di veicoli non possono superare le velocità sotto indicate:*

- *ciclomotori: 45 km/h;*
- *autoveicoli o motoveicoli utilizzati per il trasporto delle merci pericolose rientranti nella classe 1 figurante in allegato all'accordo di cui all'articolo 168, comma 1, quando viaggiano carichi: 50 km/h fuori dei centri abitati; 30 km/h nei centri abitati;*
- *macchine agricole e macchine operatrici: 40 km/h se montati su pneumatici o su altri sistemi equipollenti; 15 km/h in tutti gli altri casi;*
- *quadricicli: 80 km/h fuori dei centri abitati;*
- *treni costituiti da un autoveicolo e da un rimorchio di cui alle lettere h), i) e l) dell'art. 54, comma 1: 70 km/h fuori dei centri abitati; 80 km/h sulle autostrade;*
- *autobus e filobus di massa complessiva a pieno carico superiore a 8 t: 80 km/h fuori dei centri abitati; 100 km/h sulle autostrade;*
- *autoveicoli destinati al trasporto di cose o ad altri usi, di massa complessiva a pieno carico superiore a 3,5 t e fino a 12 t: 80 km/h fuori dei centri abitati; 100 km/h sulle autostrade;*
- *autoveicoli destinati al trasporto di cose o ad altri usi, di massa complessiva a pieno carico superiore a 12 t: 70 km/h fuori dei centri abitati; 80 km/h sulle autostrade;*
- *autocarri di massa complessiva a pieno carico superiore a 5 t se adoperati per il trasporto di persone ai sensi dell'art. 82, comma 6: 70 km/h fuori dei centri abitati; 80 km/h sulle autostrade;*
- *mezzi d'opera quando viaggiano a pieno carico: 40 km/h nei centri abitati; 60 km/h fuori dei centri abitati.”*

Tali limiti sono dunque riconducibili a due criteri:

- ✓ *la tipologia della strada: su strade con caratteristiche migliori (geometria, caratteristiche strutturali, dispositivi di sicurezza e di controllo del traffico) sono consentite velocità superiori;*
- ✓ *il tipo di veicolo: si tiene conto degli aspetti connessi alla sicurezza e “all'aggressione sulle pavimentazioni”, per cui si impongono valori bassi per particolari tipologie di veicoli e di merci trasportate (trasporto merci pericolose).*

**TABELLA 3-III – LIMITE MASSIMO DI VELOCITÀ IMPOSTO DAL N.C.S. IN BASE ALLA CATEGORIA DI VEICOLI  
(ART. 142 COMMA 3)**

CATEGORIA DI VEICOLO	VELOCITÀ MASSIMA [KM/H]
MACCHINE AGRICOLE, MACCHINE OPERATRICI E CARRELLI NON MONTATI SU PNEUMATICI O SU ALTRI EQUIPOLLENTI	15
AUTOVEICOLI O MOTOVEICOLI UTILIZZATI PER IL TRASPORTO DI MERCI PERICOLOSE QUANDO VIAGGIANO CARICHI NEI CENTRI ABITATI	30
MACCHINE AGRICOLE, MACCHINE OPERATRICI E CARRELLI SE MONTATI SU PNEUMATICI O SU ALTRI SISTEMI EQUIPOLLENTI. MEZZI D'OPERA QUANDO VIAGGIANO A PIENO CARICO NEI CENTRI ABITATI	40
CICLOMOTORI	45
AUTOVEICOLI O MOTOVEICOLI UTILIZZATI PER IL TRASPORTO DI MERCI PERICOLOSE QUANDO VIAGGIANO CARICHI, FUORI DAI CENTRI ABITATI	50
MEZZI D'OPERA QUANDO VIAGGIANO A PIENO CARICO FUORI DAI CENTRI ABITATI	60
TRENI COSTITUITI DA UN AUTOVEICOLO E DA UN RIMORCHIO DI CUI ALLE LETTERE H, I ED L DELL'ART. 54 COMMA 1 DEL C.D.S. FUORI DEI CENTRI ABITATI. AUTOVEICOLI DESTINATI AL TRASPORTO DI COSE O AD ALTRI USI DI MASSA COMPLESSIVA A PIENO CARICO SUPERIORE A 12 TONNELLATE FUORI DAI CENTRI ABITATI. AUTOCARRI DI MASSA COMPLESSIVA A PIENO CARICO SUPERIORE A 5 TONNELLATE SE ADOPERATI PER IL TRASPORTO DI PERSONE AI SENSI DELL'ART. 82 C. 6 FUORI DAI CENTRI ABITATI	70
QUADRICICLI FUORI DAI CENTRI ABITATI. TRENI COSTITUITI DA UN AUTOVEICOLO E DA UN RIMORCHIO DI CUI ALLE LETTERE H. I. ED L DELL'ART. 54 COMMA 1 DEL C.D.S. (1) SULLE AUTOSTRADE. AUTOBUS E FILOBUS DI MASSA COMPLESSIVA A PIENO CARICO SUPERIORE A 8 TONNELLATE FUORI DAI CENTRI ABITATI. AUTOVEICOLI DESTINATI AL TRASPORTO DI COSE O ALTRI USI DI MASSA COMPLESSIVA A PIENO CARICO SUPERIORE A 3,5 TONNELLATE E FINO A 12 TONNELLATE FUORI DAI CENTRI ABITATI. AUTOVEICOLI DESTINATI AL TRASPORTO DI COSE O ALTRI USI DI MASSA COMPLESSIVA A PIENO CARICO SUPERIORE A 12 TONNELLATE SULLE AUTOSTRADE. AUTOCARRI DI MASSA COMPLESSIVA A PIENO CARICO SUPERIORE A 5 TONNELLATE SE ADOPERATI PER IL TRASPORTO DI PERSONE AI SENSI DELL'ART. 82 COMMA 6 DEL C.D.S. SULLE AUTOSTRADE.	80

I valori di velocità imposti dal N.C.S. appena riportati sono comunque valori massimi imposti dal legislatore. Tuttavia, su particolari tratti, l'amministrazione che gestisce la strada può imporre valori più restrittivi. Il **comma 2 dell'art. 142** del N.C.S. infatti prevede che:

*“Entro i limiti massimi suddetti, gli enti proprietari della strada possono fissare, provvedendo anche alla relativa segnalazione, limiti di velocità minimi e limiti di velocità massimi, diversi da quelli fissati al comma 1, in determinate strade e tratti di strada quando l'applicazione al caso concreto dei criteri indicati nel comma 1 renda opportuna la determinazione di limiti diversi, seguendo le direttive che saranno impartite dal Ministro delle infrastrutture e dei trasporti.*

*Gli enti proprietari della strada hanno l'obbligo di adeguare tempestivamente i limiti di velocità al venir meno delle cause che hanno indotto a disporre limiti particolari.*

*Il Ministro delle infrastrutture e dei trasporti può modificare i provvedimenti presi dagli enti proprietari della strada, quando siano contrari alle proprie direttive e comunque contrastanti con i criteri di cui al comma 1. Lo stesso Ministro può anche disporre l'imposizione di limiti, ove non vi abbia provveduto l'ente proprietario; in caso di mancato adempimento, il Ministro delle infrastrutture e dei trasporti può procedere direttamente all'esecuzione delle opere necessarie, con diritto di rivalsa nei confronti dell'ente proprietario."*

Relativamente alle modalità con cui l'ente proprietario della strada può stabilire tali limiti l'art. 142 rimanda a delle direttive che saranno impartite dal ministero, attualmente non ancora emanate.

Nel Regolamento di esecuzione e di attuazione del nuovo codice della strada - Decreto del Presidente della Repubblica 16 dicembre 1992, n. 495 (in Suppl. ord. alla Gazz. Uff., 28 dicembre 1992, n. 303) (47) e successive modificazioni, all'**art. 343** si prevede altresì la possibilità di imporre delle **limitazioni temporanee di velocità**:

*"1. In prossimità di scuole, istituti, campi sportivi, o quando si svolgono manifestazioni varie, possono essere imposti su una strada o parte di essa, a cura dell'ente proprietario, limiti temporanei di velocità per tutto il periodo o i periodi di tempo della giornata, nei quali tale limitazione sia ritenuta necessaria ai fini della sicurezza della circolazione. L'imposizione di questi limiti deve essere portata a conoscenza dei conducenti mediante i prescritti segnali."*

*"2. L'ente proprietario della strada, qualora sussistano particolari situazioni di pericolo, può prescrivere lungo il tratto di strada interessato, opportune limitazioni di velocità mediante i prescritti segnali."*

### 3.4.2 LIMITI DI VELOCITÀ LOCALIZZATI E LA II DIRETTIVA DEL MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI

Con circolari n. 8700 del 1964, n. 4250 del 3 novembre 1973 e n. 1200 del 14 novembre 1979 il Ministero dei Lavori Pubblici (ora Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti) aveva già preso in esame il problema dei limiti di velocità che vengono localmente imposti sulle strade italiane osservando che:

- ✓ molti Enti proprietari, gestori o concessionari di strade, pongono in essere limitazioni di velocità localizzate, in punti o tronchi determinati, fissando valori irrazionali o quanto meno ricavati in modo empirico;
- ✓ che altri Enti stradali omettono di fissare limitazioni di velocità localizzate laddove condizioni prevalenti del traffico o la conformazione dei luoghi suggerirebbero, al

contrario, prudenziali misure limitative nell'interesse della sicurezza di tutte le categorie di utenti.

Con l'emanazione del D.L.vo n. 9/2002 e d.l. n. 151/2003, convertito in legge n. 214/2003, è stata introdotta in Italia la *"patente a punti"* in aggiunta alle sanzioni pecuniarie ed alle sanzioni amministrative accessorie previste per le infrazioni più gravi, tra cui quelle relative al mancato rispetto dei limiti massimi di velocità; ciò rende ancor più necessario che gli eventuali limiti, più restrittivi di quelli generali previsti dal Codice, vengano stabiliti a ragion veduta e previa applicazione di una metodologia tecnica condivisa ed uniforme per tutto il territorio Nazionale.

Pertanto la necessità di imporre una limitazione deve scaturire da effettive e reali necessità, altrimenti il divieto è vissuto dagli utenti della strada come un'inutile vessazione e con il sospetto, non sempre infondato, che la finalità dello stesso non sia di natura tecnica e per il miglioramento della sicurezza, quanto dettato da un sotteso desiderio di un ricavo economico per effetto del rilevamento di numerose infrazioni. Peraltro l'esperienza insegna che l'imposizione di limiti massimi di velocità più bassi del normale non sempre sono associati ad una maggiore sicurezza, anzi, sono sistematicamente disattesi, dando luogo alla diseducativa sottovalutazione della segnaletica prescrittiva e, spesso, all'irrogazione di sanzioni che non hanno reale fondamento.

Numerosissime sono in proposito le rimostranze di utenti che lamentano l'esistenza di troppi tratti di strada a velocità ingiustificata, e un uso disinvolto di segnali di limite massimo di velocità non supportati da alcuna motivazione, con il risultato che il valore del limite massimo imposto diventa un mero riferimento rispetto all'entità della violazione che un utente si può permettere in funzione della sua disponibilità economica.

I limiti di velocità che si possono imporre in corrispondenza di punti singolari delle strade, quali ad esempio tratti tortuosi, zone industriali con uscite frequenti da stabilimenti, luoghi frequentati da bambini o persone anziane, tronchi suburbani interessati da intensa circolazione di biciclette e ciclomotori, punti stradali in genere che nascondano insidie non facilmente rilevabili a colpo d'occhio, ecc., devono essere il risultato dell'armonizzazione di due esigenze, ambedue importanti: la sicurezza e la fluidità del traffico.

La ***"Il direttiva sulla corretta ed uniforme applicazione delle norme del codice della strada in materia di segnaletica e criteri per l'installazione e la manutenzione"***(48), di cui è presente solo una **bozza** ma mai pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale, per quanto non strumento ufficiale può fornire importanti indicazioni del futuro aggiornamento del Codice della Strada. Questa, in ottemperanza a quanto previsto dal comma 2 dell'art. 142 del CdS sopracitato, ha lo scopo di illustrare le operazioni tecniche pratiche che si devono effettuare per determinare il valore ottimale del limite da imporre localmente, e le varie operazioni preliminari per l'applicazione della metodologia.

La metodologia indicata è una tecnica internazionalmente accettata che consiglia di adottare come limite massimo di velocità localizzato il valore corrispondente al cosiddetto “85esimo percentile”, ossia quel valore ricavato a seguito di elaborazioni statistiche effettuate su misure di velocità operate sulla strada oggetto di esame, di cui si parlerà in maniera maggiormente dettagliata più avanti.

## 4. STRATEGIE PER LA GESTIONE DELLA VELOCITÀ

### 4.1 PREMESSA

Quasi tutti gli Stati hanno riconosciuto la necessità di adottare delle misure in grado di riuscire a contrastare i rischi legati all'eccesso di velocità.

L'elemento centrale di qualunque strategia di sicurezza stradale dovrebbe essere costituita dalla gestione della velocità - maggiormente nota come *speed management*<sup>9</sup> - che ha lo scopo di far sì che siano adottate delle velocità adeguate lungo tutta la rete viaria.

Molti paesi hanno già sviluppato la propria politica di trasporto con "approcci integrati" e la grande maggioranza di questi applica misure di vario tipo per gestire la velocità del traffico motorizzato - dall'imposizione di limiti di velocità localizzati a misure di controllo delle velocità, all'uso di nuove tecnologie.

Le strategie e le politiche di *speed management*, legate ad obiettivi politici di sicurezza, ambientale, etc... differiscono da paese a paese, ed in molti casi riflettono le "filosofie" di sicurezza stradale adottate.

### 4.2 FILOSOFIE E STRATEGIE DI GESTIONE DELLE VELOCITÀ

Le "filosofie" di sicurezza stradale sono solite esprimere una visione a più ampia scala di un sistema ideale di traffico in cui si eliminano quasi del tutto gli incidenti e gli infortuni gravi a seguito di incidenti stradali: gli incidenti non si considerano come eventi accidentali,

---

<sup>9</sup> *Speed Management*: può essere definito come un insieme di misure mirate a limitare gli effetti dell'eccesso di velocità e di velocità inadeguate all'interno del sistema di trasporti (1).

conseguenza inevitabile del nostro bisogno di mobilità, ma come eventi che è possibile evitare.

Si illustrano brevemente nel seguito le principali filosofie e strategie di gestione delle velocità adottate in alcuni paesi (1).

#### 4.2.1 PAESI BASSI – “SUSTAINABLE SAFETY”

*Sustainable Safety*, ovvero il concetto di sicurezza sostenibile, è la filosofia di sicurezza stradale predominante nei Paesi Bassi dall’inizio degli anni ‘90.

Nel 1989 il governo olandese ha introdotto degli obiettivi quantitativi di sicurezza stradale al fine di dare un impulso alla riduzione delle vittime della strada: una riduzione del 50% delle vittime mortali e del 40% dei feriti gravi rispetto ai dati relativi al 1986, entro il 2010. Quasi subito però è stato evidente come non fosse possibile conseguire questi obiettivi se non introducendo delle misure incisive ed innovative: in questo contesto si inserisce proprio il concetto di *Sustainable Safety* (49), adottato dalla politica nazionale olandese nell’ambito dei trasporti e della sicurezza stradale (50).

Tale visione è stata “implementata” nel corso degli anni ‘90 ed è stata aggiornata nel 2005 (51).

Obiettivo della *Sustainable Safety* è quello di prevenire gli incidenti gravi e, ove non possibile, quantomeno di ridurre il rischio di conseguenze gravi.

“L’uomo è la misura di tutte le cose” è stato adottato come motto per il raggiungimento degli obiettivi prefissati, in quanto l’essere umano è la figura chiave nel traffico e la maggiore fonte di insicurezza:

- l’essere umano è fisicamente vulnerabile e suscettibile di lesioni
- l’essere umano, indipendentemente dal contesto, dall’educazione e dalla motivazione, commette errori e non sempre obbedisce alle regole: questo lo rende un’importante causa di incidenti.

*Sustainable Safety* si pone come obiettivo quello di prevenire questi errori e/o trasgressioni quanto più possibile, e di alleviare al massimo le conseguenze degli stessi, progettando un sistema di traffico “a misura d’uomo”: strada e veicoli devono essere adeguati alle capacità dell’uomo ed offrirgli protezione ed assistenza, l’informazione e l’educazione devono invece preparare l’uomo ai rischi legati al traffico.

I principi chiave della filosofia, basati su teorie scientifiche provenienti dalla psicologia, la biomeccanica, e l’ingegneria dei trasporti, possono essere riassunti come in Tabella 4-I.

Tali principi sono stati utilizzati dalla politica olandese e numerosi interventi sono stati effettuati nell’ambito della gestione della velocità (1), tra cui:

- l’introduzione di zone 30 nelle zone urbane

- l'introduzione del limite di 60 km/h nelle strade extraurbane, come compromesso tra il limite esistente di 80 km/h e quello ammesso dal punto di vista della Sustainable Safety che raccomanda un limite di 30-40 km/h

**TABELLA 4-I – PRINCIPI DELLA SUSTAINABLE SAFETY (51) (52)**

SUSTAINABLE SAFETY PRINCIPLE	DESCRIZIONE
FUNCTIONALITY OF ROADS	FUNZIONALITÀ DELLA STRADA
HOMOGENEITY OF MASS AND/OR SPEED AND DIRECTION	OMOGENEITÀ DI MASSA E/O VELOCITÀ E DIREZIONE
FORGIVINGNESS OF THE ENVIRONMENT AND OF ROAD USERS	LIMITAZIONE DELLE LESIONI ATTRAVERSO DELLE CONDIZIONI DELLA STRADA "CHE PERDONANO" E L'ANTICIPAZIONE DEI COMPORTAMENTI DEGLI UTENTI DELLA STRADA
PREDICTABILITY OF ROAD COURSE AND ROAD USER BEHAVIOR BY A RECOGNIZABLE ROAD DESIGN	AMBIENTE STRADALE E COMPORTAMENTI DEGLI UTENTI DELLA STRADA CHE SUPPORTANO LE ASPETTATIVE DEGLI UTENTI TRAMITE CONSISTENZA E CONTINUITÀ DELL'ANDAMENTO DELLA STRADA
STATE AWARENESS BY THE ROAD USER	CONSAPEVOLEZZA DELLO STATO DEGLI UTENTI DELLA STRADA

Con l'obiettivo di minimizzare i danni derivanti dagli incidenti stradali, gli esperti dello SVOW (*Dutch National Road Safety Research Institute*) hanno inoltre recentemente messo a punto un algoritmo che mette in pratica i concetti di *Sustainable Safety* (51) e di *credible speed limits* (53) (38) alla base della loro politica. Di questo si parlerà più dettagliatamente nel paragrafo 4.5.2.

#### 4.2.2 SVEZIA E ALTRI PAESI SCANDINAVI – "VISION ZERO"

Con "*Vision Zero*" si fa riferimento alla filosofia di sicurezza stradale globale svedese: una visione del futuro in cui nessuno rimarrà ucciso né ferito gravemente a causa di un incidente stradale (54).

*Vision Zero* costituisce la base delle iniziative svedesi relative alla sicurezza stradale che sono state formulate nell'ambito di una risoluzione parlamentare nell'ottobre 1997 (44). Uno degli obiettivi principali di *Vision Zero* è quello di riuscire ad interessare la popolazione alla "questione sicurezza stradale", a creare dibattiti e motivazione intorno all'argomento. La risoluzione parlamentare ha determinato un cambiamento nella politica e nei metodi di lavoro inerenti la sicurezza stradale; questi possono essere riassunti nella seguente risoluzione:

*"Il Parlamento svedese appoggia la proposta del governo di arrotondare un nuovo orientamento nella sicurezza viaria basata su Vision Zero. L'obiettivo a lungo termine per la sicurezza*

*stradale è quello che nessuno rimanga ucciso o gravemente ferito a seguito di incidente stradale sulle reti stradali. Per raggiungere tale obiettivo il progetto e le performance del sistema di trasporto dovranno adattarsi ai requisiti di Vision Zero. La responsabilità per la sicurezza sarà condivisa tra gli utenti, i progettisti del sistema, inclusi i gestori delle strade, i costruttori dei veicoli e il personale responsabile del trasporto commerciale.”*

L'idea di *Vision Zero* si è estesa ad altri paesi nordici come Finlandia e Norvegia. Il consiglio di stato finlandese ha adottato ufficialmente questa politica nel 2001.

Partendo dal presupposto che, nonostante si facciano tutti gli sforzi possibili per evitare che avvengano incidenti, non si riesce ad evitare completamente che questi avvengano, *Vision Zero* insiste sul fatto che il progetto del sistema di trasporto debba tenere conto della possibilità per gli utenti di commettere errori e dell'impossibilità pertanto di evitare tutti gli incidenti: il progetto (e dunque le velocità proposte) devono dunque tenere conto esplicitamente della tolleranza biologica degli individui al danno fisico in caso di incidente. Sono stati pertanto introdotti limiti di velocità basati sul tipo di strada e i possibili "conflitti" (Tabella 4-II), si è preferita la realizzazione di rotatorie in alternativa alle intersezioni semaforizzate, si sono altresì effettuati numerosi investimenti per ridurre i danni causati alle automobili che escono di strada, innalzando le barriere di sicurezza ed eliminando tutti gli oggetti pericolosi dai margini (alberi,...).

**TABELLA 4-II – VELOCITÀ SICURE SULLA BASE DEL TIPO DI STRADA E DEI POSSIBILI CONFLITTI TRA UTENTI (55)**

TIPO DI STRADA E DEI POSSIBILI CONFLITTI TRA UTENTI	LIMITE DI VELOCITÀ
STRADE CON POSSIBILI CONFLITTI TRA AUTOMOBILI E UTENTI NON PROTETTI	30 KM/H
INTERSEZIONI CON POSSIBILI CONFLITTI LATERALI TRA AUTOMOBILI	50 KM/H
STRADE CON POSSIBILI CONFLITTI FRONTALI TRA AUTOMOBILI	70 KM/H
STRADE CON POSSIBILI CONFLITTI FRONTALI E LATERALI CON ALTRI UTENTI DELLA STRADA NON SONO POSSIBILI	> 100 KM/H

### 4.2.3 AUSTRALIA

La strategia nazionale di sicurezza stradale, sviluppata in Australia tra il 2001 e il 2010, si pone come obiettivo quello di ridurre del 40% il numero annuale delle vittime mortali sulla strada per ogni 100.00 abitanti.

Il piano nazionale di azione di sicurezza stradale riconosce nelle seguenti aree i punti nodali per il raggiungimento dei propri obiettivi:

- maggiore rispetto dei limiti di velocità

- pubblicità
- strumenti di repressione
- riduzione dei limiti di velocità in ambito urbano al di sotto dei 60 km/h in strade con consistente presenza di pedoni
- riduzione dei limiti di velocità in ambito extraurbano in strade con rischio d'incidente superiore alla media.

Nello stato di Victoria è stata adottata la filosofia del “*Safe System*”. Questo si basa sull'assunto che gli incidenti accadono nonostante si dia priorità alla prevenzione, per cui il sistema di trasporto su strada deve essere progettato e strutturato in maniera tale che in caso di incidente, le conseguenze siano quanto più ridotte possibile. I componenti chiave del sistema sono i veicoli, l'infrastruttura, e le velocità sicure. L'obiettivo è far uso di queste componenti per minimizzare la probabilità di morte (o di gravi ferite) come conseguenze di incidenti stradali.

AUSTROROADS, l'associazione delle autorità australiane e neozelandesi in questioni di traffico e trasporto su strada, ha adottato lo stesso tipo di obiettivi e lo ha raccomandato a tutte le giurisdizioni australiane.

Il governo dell'Australia Orientale (Western Australia Government) e il Road Safety Council stanno sviluppando una nuova strategia per il periodo 2008-2020 (56): tale strategia, sviluppata insieme dalla Monash University e dall'Accident Research Centre (MUARC), conosciuta come *Australasian's Safe System*, combina gli elementi della *Sustainable Safety* olandese e della *Vision Zero* svedese, aspirando a prevenire morti e ferimenti gravi all'interno del suo sistema di trasporto su strada. Le iniziative chiave all'interno del Safe System sono:

- *Safe Road Use* – integrazione di programmi finalizzati al miglioramento del comportamento alla guida
- *Safe Roads and Roadside* – investimenti nel miglioramento delle infrastrutture in termini di sicurezza
- *Safe Speeds* – miglioramento del controllo delle velocità e riflessioni sull'adeguatezza dei limiti di velocità in Western Australia
- *Safe Vehicles* – promozione dell'uso di veicoli più sicuri (soprattutto nelle flotte aziendali e governative)

Parte dell'*Australasian Safe System* è la strategia di sicurezza per il 2008-2020 conosciuta come *Toward Zero*, raccomandata dal *Road Safety Council* e approvata dal governo dal Marzo 2009 (57); *Toward Zero* è stata messa a punto coinvolgendo la comunità e prendendo spunto dagli input provenienti gli utenti della strada, per dibattere relativamente alle migliori possibili strategie a disposizione per migliorare la sicurezza.

Il Safe System ha nella gestione efficace delle velocità uno degli elementi fondamentali. Negli ultimi anni nello stato di Victoria sono state adottate differenti misure, tra cui:

- Limite di velocità standard per le zone urbane ridotto a 50 km/h dal 2001 in tutte le arterie secondarie
- Limite di velocità variabile, a seconda delle ore del giorno, di 40 km/h, nelle zone urbane commerciali (in cui normalmente è presente un limite di 60 km/h)
- Telecamere fisse nelle autostrade urbane ad alta velocità, a supporto di un sistema di gestione delle velocità variabile, orientato alla riduzione degli incidenti e del traffico
- Maggiore precisione dei rilevatori di velocità, con conseguente riduzione della velocità media di viaggio
- Telecamere che possono registrare le velocità e le infrazioni in oltre 80 intersezioni all'interno della città di Melbourne
- Campagne pubblicitarie sulla sicurezza stradale concentrate nelle zone a maggior rischio di incidenti
- Ritiro della patente di guida in caso di superamento del limite di velocità che supera i 25 km/h
- Dispositivi radar di rilievo delle velocità installati sulle autovetture della polizia
- Etc...

#### 4.2.4 UNIONE EUROPEA – POLITICA DI SICUREZZA STRADALE

L'Unione Europea è molto cosciente dell'importanza del sistema dei trasporti e delle conseguenze negative legate a tale sistema: il settore dei trasporti costituisce un settore chiave dell'economia europea, di cui rappresenta il 10% del prodotto interno lordo e che occupa approssimativamente circa 10 milioni di persone. Le conseguenze negative, di cui fanno parte la congestione del traffico, gli incedenti stradali, l'inquinamento ambientale, sono sempre più difficili da tollerare, sia per gli utenti della strada che per l'economia. Per tale ragione l'UE ha stabilito la sua politica dei trasporti e la sua politica di sicurezza stradale fino al 2010 in due documenti fondamentali:

- ✓ Il Libro Bianco sulla politica europea dei trasporti: "European transport policy for 2010: time to decide"(58)
- ✓ Il programma di azione europeo sulla sicurezza stradale: "Halving the number of road accident victims in the European Union by 2010: a shared responsibility; the European Road Safety Action Programme" (59)

Le principali sfide identificate dai programmi di azione europei sono:

- Velocità inappropriate o eccessive, causa di un terzo degli incidenti mortali o con feriti gravi
- Alcool, droga e cinture di sicurezza
- Mancanza di sufficiente protezione a bordo in caso di incidente
- Punti neri
- Mancato rispetto dei tempi di guida e di riposo da parte dei conducenti professionali
- Scarsa visibilità
- Gruppi ad alto rischio: giovani (15-24 anni), anziani, pedoni.

La Commissione Europea ha finanziato la creazione di un gruppo di esperti denominato *e-Safety* (sicurezza elettronica integrata nel veicolo) - un'associazione tra il settore pubblico e privato che coinvolge l'industria automobilistica, il settore della comunicazione, il settore dei trasporti, esperti di sicurezza stradale, etc... - finalizzato allo sviluppo di nuove tecnologie di informazione e comunicazione (ICT) e al miglioramento della sicurezza stradale in termini di "supporto alla guida" e riduzione delle conseguenze degli errori umani.

Tra queste, quelle relative alla velocità, riguardano i limitatori di velocità di frenata e i sistemi di adattamento intelligente della velocità (*Intelligent Speed Adaptation – ISA*), già sperimentati in Svezia, Olanda, Francia e Gran Bretagna.

### 4.3 DETERMINAZIONE DEI LIMITI DI VELOCITÀ

La determinazione del limite più corretto non è una problematica di facile risoluzione, poiché entrano in gioco moltissimi fattori in contrasto gli uni con gli altri: elevate velocità riducono i tempi di viaggio ma allo stesso tempo influiscono negativamente sulla sicurezza della strada, etc....

Un limite di velocità appropriato per un determinato tronco stradale deve **tenere conto contemporaneamente di esigenze spesso in contrasto l'una con l'altra**, legate alla sicurezza, alla mobilità e alla tipologia di infrastruttura, oltre che all'impatto che esso stesso produce sulla qualità della vita delle persone che vivono intorno alla stessa e ne usufruiscono (38).

Chi ha il compito di fissare i limiti di velocità deve cercare di bilanciare essenzialmente la sicurezza degli utenti della strada e i tempi di percorrenza, oltre a tutti gli altri fattori che determinano la scelta della velocità da parte degli stessi – compresa l'applicabilità e la credibilità degli stessi limiti (3)(1).

Al momento non esiste una metodologia generalmente accettata che consenta di individuare la velocità più appropriata per un determinato tronco stradale, tenendo conto di una tale quantità di fattori. Ed è per questa ragione che ogni paese, nonostante mirasse al

medesimo obiettivo che è quello di aumentare la sicurezza sulle proprie strade, ha orientato le proprie scelte secondo politiche differenti.

Ogni paese fissa dei *limiti di velocità generali* mentre è delegata all'Ente Gestore la determinazione dei *limiti di velocità localizzati*, da imporre qualora il limite generale non sia appropriato per un determinato tronco stradale.

#### 4.4 METODOLOGIE PER FISSARE I LIMITI DI VELOCITÀ GENERALI

Per definire i limiti di velocità generali nei vari paesi sono utilizzati differenti criteri (1):

- ✓ Tipologia di strada
- ✓ Tipologia di veicolo o tipologia di carico
- ✓ Tipologia di pneumatici
- ✓ Tipologia di conducente
- ✓ Condizioni climatiche

In questo momento nei paesi dell'OECD/ECMT<sup>10</sup> esiste una grande diversità di limiti di velocità sulle diverse tipologie di strade, ma la maggior parte dei paesi utilizza un criterio gerarchico, in funzione della tipologia di strada, e adotta limiti di velocità generalmente contenuti entro i seguenti range di valori:

- Strade urbane: 30 - 50 km/h
- Extraurbane principali e secondarie: 70 – 100 km/h
- Autostrade: 90 – 130 km/h

In Tabella 4-III si riportano i limiti di velocità adottati in una selezione di paesi dell'OECD/ECMT nel 2005 (1) per le principali tipologie di strade.

L'idea alla base di questo tipo di scelta è che velocità più elevate sono adeguate per strade principali, utilizzate per lunghi spostamenti o per strade di penetrazione, mentre velocità più ridotte sono adeguate a strade residenziali o locali, in cui "convivono" veicoli e utenti deboli quali pedoni e ciclisti. Un esempio di questo tipo di strategia sono "Vision zero" (44) in Svezia e "Sustainable Safety" (51) nei Paesi Bassi, le quali organizzano le strade in maniera gerarchica sulla base delle velocità consentite e di criteri di sicurezza.

Differenti limiti di velocità vengono inoltre fissati per i veicoli pesanti e gli autobus.

---

<sup>10</sup> Organisation for Economic Co-Operation and Development (OECD) and European Conference of Ministers of Transport (ECMT)

TABELLA 4-III – LIMITI DI VELOCITÀ “GENERALI” PER VEICOLI LEGGERI E PER LE DIVERSE CATEGORIE DI STRADE IN UNA SELEZIONE DI PAESI DELL’OECD/ECMT (1)

	Motorways	Main highways and rural roads	Urban roads (local and collector street) (urban arterials not included in this table, see Annex B)
Australia (Victoria)	100-110 km/h	100 km/h	50 km/h
Austria	130 km/h	100 km/h	50 km/h 30 km/h zones 40 km/h streets in residential areas
Canada	100-110 km/h	80 to 100 km/h (main) 70 to 100 km/h (rural paved roads)	40-50 km/h
Czech Republic	130 km/h	90 km/h	50 km/h
Denmark	130 km/h	80 km/h	50 km/h
Finland	120 km/h	100 km/h (main) 80 km/h (rural)	30-40-50 km/h
France	130 km/h	90 km/h	30 or 50 km/h
Germany	None 130 km/h is recommended	100 km/h	50 km/h
Greece	120 km/h	110 km/h (main) 70-100 km/h (rural)	30 km/h (local streets) 40-50 km/h (collector streets)
Iceland	90 km/h	80 km/h / 90 km/h (gravel roads/paved roads)	30 km/h (local streets) 50 km/h (collector streets)
Ireland	120 km/h	100 km/h (national roads) 80 km/h non urban regional roads	50 km/h
Japan	100 km/h (national expressways)	40-50-60 km/h (national highways)	
Korea	90 -100 - 110 km/h	60 km/h (2x1 lane) 80 km/h (2x2 lanes or more)	60 km/h (2x1 lane) 80 km/h (2x2 lanes)
Mexico	130 km/h	110 km/h (main) 100 km/h (rural)	20-60 km/h
Netherlands	100 or 120 km/h	100 km/h (main) 80 km/h (rural)	50 km/h
Norway	90 or 100 km/h	80 km/h	30-50 km/h
Poland	130 km/h	100 km/h (main) 80 km/h (rural)	50 km/h
Portugal	120 km/h	90-100 km/h	50 km/h
Russia	110 km/h	90 km/h	60 km/h
Sweden	110 km/h	90 km/h (main) 70 km/h (rural)	50 km/h
Switzerland	120 km/h	80 km/h	50 km/h
United Kingdom	70 mph (113 km/h)	60 mph (97 km/h)	20-30 mph (32-48 km/h)
United States (Varies by state)	Urban: 55-70 mph (88-113 km/h) Rural: 65-75 mph (104-120 km/h)	55-70 mph (88 -113 km/h)	25-35 mph (40 -56 km/h)

La maggior parte dei paesi impone un limite massimo di velocità per i veicoli pesanti (solitamente 80 km/h) e gli autobus (variabile tra 80 e 100 km/h). La direttiva europea 92/24/EEC e il suo successivo adattamento 2004/11/EEC (60), impongono limitatori di velocità per veicoli pesanti (HGV - Heavy Goods Vehicles) che superano le 3,5 ton e per veicoli con più di 9 posti a sedere. In più alcuni paesi - come Danimarca, Irlanda e UK - si hanno limiti di velocità ridotti per HGV e autobus su alcuni tipi di strade, altri paesi impongono limiti di velocità più ridotti per i caravan, altri paesi (come l'Italia) fissano i limiti di velocità sulla base della potenza del motore dei veicoli pesanti.

Solo un limitato numero di paesi impone limiti di velocità differenziati in particolari condizioni come pioggia, nebbia, neve, ore notturne, inverno, vento, etc.

Alcuni paesi impongono inoltre limiti di velocità differenti per giovani conducenti o per coloro che hanno conseguito recentemente la licenza di guida.

## 4.5 METODOLOGIE PER FISSARE I LIMITI DI VELOCITÀ LOCALIZZATI

Ancor più di quanto non accada per i limiti generalizzati, fissare dei limiti di velocità localizzati - fissati "su misura" dall'Ente Gestore della strada per un determinato tronco stradale in cui il limite generale non è ritenuto appropriato - risulta molto difficoltoso: è il risultato di un complesso "compromesso" tra svariati fattori (quali rischi di incidenti, tempo di viaggio, attitudini sociali, questioni ambientali, considerazioni politiche, etc...) e l'importanza relativa che si assegna ad ognuno di essi.

Sulla base degli obiettivi che si vogliono raggiungere con l'imposizione di tali limiti si prediligeranno alcuni aspetti rispetto ad altri, e con essi l'"approccio" più adeguato.

Gli approcci maggiormente utilizzati nella determinazione dei limiti di velocità localizzati sono (61)(62) (53):

- Ingegneristico: sistema di limiti di velocità basato sulle caratteristiche infrastrutturali e di traffico (*design speed*) in cui considerazioni legate alla sicurezza non vengono tenute in considerazione in maniera esplicita;
- Empirico: sistema di limiti di velocità basato sulle velocità tenuta dalla maggior parte degli utenti (velocità dell'85° percentile) - sono tenute così in conto sia considerazioni sulla sicurezza, che sulla credibilità del limite di velocità;
- Ottimizzazione economica: sistema di limiti di velocità basato sul compromesso ottimale tra costi e benefici delle differenti "problematiche" da tenere in conto - la sicurezza è solo una tra le tante problematiche considerate;
- Minimizzazione del danno: sistema di limiti di velocità basato sul concetto che la vita e la salute non possono essere misurare o quantificate in termini monetari e

che è considerato inaccettabile anche solo il ferimento di un essere umano in seguito ad un incidente;

- Sistemi esperti: limiti di velocità determinati da programmi di calcolo che fanno uso di regole decisionali fondate su una “conoscenza di base” legata alle condizioni della strada.

#### 4.5.1 APPROCCIO EMPIRICO

L’approccio sicuramente più utilizzato, e che è stato in uso per diversi decenni, è quello dell’85° percentile delle velocità ( $V_{85}$ ), ovvero quello di assumere, quale limite, il valore di velocità tenuto dall’85% degli utenti che percorrono quel determinato tronco stradale in condizioni di flusso libero.

Tale approccio, basato sull’assunto che la maggior parte degli utenti percorra la strada ad una velocità ragionevole per le caratteristiche del tronco stradale, nonostante consenta di fissare dei limiti credibili per gli utenti, risulta attualmente poco appropriato, oltre che spesso poco applicabile.

**In Italia ad esempio è molto frequente che le velocità dell’85° percentile siano di molto superiori ai limiti legali imposti.**

In alcuni casi il valore della  $V_{85}$  viene utilizzato come valore di partenza, al quale eventualmente apportare modifiche, per individuare il valore massimo di velocità allo stesso tempo sicuro e ragionevole per un determinato tronco di strada. Un esempio di tale tipologia di approccio è rappresentata da una metodologia messa a punto dal Dipartimento di Ingegneria Civile dell’Università della Florida sulle strade urbane, che partendo dalla velocità dell’85° percentile vi applica dei fattori correttivi basati su alcune variabili – quali traffico, geometria, caratteristiche della strada, etc. - per determinare i limiti di velocità localizzati (63).

#### 4.5.2 MINIMIZZAZIONE DEL DANNO – SACREDSPEED

Recentemente nei Paesi Bassi lo SWOV (Dutch National Road Safety Research Institute) ha presentato le prime elaborazioni di un algoritmo che mette in pratica il concetto di sicurezza sostenibile (“*Sustainable Safety*”) (51) e quello di limiti di velocità credibili (“*credible speed limits*”) (53) (38) alla base della loro politica di minimizzazione del danno.

Tale algoritmo, disponibile e consultabile online, prende il nome di **SaCredSpeed (*Safe and Credible speed*)**.

SaCredSpeed è costituito da un set di algoritmi che possono essere utilizzati nella gestione delle velocità come strumento di supporto alle decisioni basato sui concetti di **sicurezza e credibilità dei limiti di velocità**. Tale algoritmo si fonda su un approccio integrale di sicurezza

attraverso misure di gestione delle velocità - tra cui il tracciato stradale, gli aspetti giuridici di controllo della velocità e la comunicazione.

SaCredSpeed applica delle regole logiche e sulla base dei dati di input – ovvero alcune caratteristiche del tronco stradale considerate maggiormente rilevanti per la determinazione di un limite di velocità che possa essere sicuro e allo stesso tempo credibile per gli utenti - fornisce come output delle indicazioni sulla sicurezza e sulla credibilità del limite di velocità presente, fornendo inoltre delle indicazioni sulle misure da adottare al fine di incrementare la sicurezza e la credibilità del limite (38) (53) (64).

I dati di input richiesti dall’algoritmo riguardano il tipo di strada, la geometria, gli utenti, la presenza di misure di riduzione della velocità, il tipo di traffico, i limiti imposti, il tipo di controllo esistente sulla strada e dati sulle velocità tenute dagli utenti (qualora disponibili).

L’algoritmo consente tre differenti valutazioni:

1. Sicurezza del limite di velocità
2. Credibilità
3. Rispetto dei limiti di velocità

e per ognuno dei tre aspetti suggerisce le contromisure adeguate alla risoluzione del problema.

L’algoritmo è stato testato sulle strade di tre regioni dei paesi bassi (64).

#### 4.5.2.1 SICUREZZA DEL LIMITE DI VELOCITÀ

In primo luogo viene determinato il limite di velocità sicuro per la tipologia di strada in esame e viene confrontato con il limite attualmente esistente.

La determinazione di tale **limite sicuro** viene effettuata sulla base dei requisiti imposti dalla *Sustainable Safety*, in termini di armonia tra funzione, caratteristiche geometriche e utilizzo della strada (Tabella 4-IV).

**TABELLA 4-IV – PANORAMICA DELLE CARATTERISTICHE ASSOCIATE ALLA SICUREZZA E ALLA CREDIBILITÀ DEI LIMITI DI VELOCITÀ (64)**

LIMITE DI VELOCITÀ	CARATTERISTICHE DI SICUREZZA	CARATTERISTICHE DI CREDIBILITÀ
30 – 40 KM/H	<ul style="list-style-type: none"> <li>- MIX DI TRAFFICO VELOCE E UTENTI DELLA STRADA VULNERABILI O PRESENZA DI STRUTTURE PER I PEDONI E/O PISTE CICLABILI;</li> <li>- PARCHEGGI O POSTI AUTO A FIANCO DELLA CARREGGIATA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- TRONCO STRADALE DI 50 M</li> <li>- 50 M &lt; SPAZIO TRA LIMITATORI FISICI DI VELOCITÀ &lt; 150 M</li> <li>- AREA DENSAMENTE URBANIZZATA</li> <li>- 4,5 M &lt; LARGHEZZA DELLA CARREGGIATA &lt; 5,5 M</li> <li>- SUPERFICIE STRADALE IRREGOLARE</li> </ul>
50 KM/H	<ul style="list-style-type: none"> <li>- SEPARAZIONE TRA UTENTI DELLA STRADA VULNERABILI E</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- TRONCO STRADALE DI 126 M</li> <li>- LIMITATORI FISICI DI VELOCITÀ ALLE INTERSEZIONI</li> </ul>

	<p>TRAFFICO VELOCE</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- PRESENZA DI CICLOMOTORI SULLA CARREGGIATA</li> <li>- PARCHEGGIO CONSENTITO SULLA CARREGGIATA</li> <li>- DISTANZA DI VISIBILITÀ ALL'ARRESTO 47 M</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- AREA MODERATAMENTE URBANIZZATA</li> <li>- 5,9 M &lt; LARGHEZZA DELLA CARREGGIATA &lt; 7,2 M</li> <li>- 2,5 M &lt; LARGHEZZA DELLA CORSIA &lt; 3,0 M</li> <li>- SUPERFICIE STRADALE REGOLARE O IRREGOLARE</li> </ul>
60 KM/H	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ASSENZA DI UTENTI VULNERABILI</li> <li>- ZONA PRIVA DI OSTACOLI &gt;2,5 M O MARGINI NON PERICOLOSI</li> <li>- PARCHEGGIO SULLA CARREGGIATA NON CONSENTITO</li> <li>- DISTANZA DI VISIBILITÀ ALL'ARRESTO 64 M</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- TRONCO STRADALE DI 177 M</li> <li>- LIMITATORI FISICI DI VELOCITÀ ALLE INTERSEZIONI E LUNGO I TRONCHI STRADALI</li> <li>- AREA RURALE POCO O MOLTO DENSAMENTE URBANIZZATA</li> <li>- 4,5 M &lt; LARGHEZZA DELLA CARREGGIATA &lt; 5,5 M</li> <li>- SUPERFICIE STRADALE REGOLARE O IRREGOLARE</li> </ul>
70 KM/H	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ACCESSO VIETATO A CICLOMOTORI E BICICLETTE</li> <li>- CARREGGIATE STRADALI PRIVE DI SEPARAZIONE FISICA</li> <li>- ZONA PRIVA DI OSTACOLI &gt; 4,5 M O MARGINI CON POSSIBILITÀ DI SOSTA IN CASO DI EMERGENZA</li> <li>- (SEMI-) CORSIA D'EMERGENZA</li> <li>- PARCHEGGIO SULLA CARREGGIATA NON CONSENTITO</li> <li>- DISTANZA DI VISIBILITÀ ALL'ARRESTO 82 M</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- TRONCO STRADALE DI 236 M</li> <li>- INTERSEZIONI RIALZATE</li> <li>- AREA POCO URBANIZZATA (PER STRADE IN AMBITO URBANO) O AREA RURALE DENSAMENTE URBANIZZATA</li> <li>- 7,2 M &lt; LARGHEZZA DELLA CARREGGIATA &lt; 8,8 M</li> <li>- 2,9 M &lt; LARGHEZZA DELLA CORSIA &lt; 3,6 M</li> <li>- SUPERFICIE STRADALE REGOLARE</li> </ul>
80 KM/H	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ACCESSO VIETATO AL TRAFFICO LENTO</li> <li>- CARREGGIATE STRADALI CON SEPARAZIONE FISICA</li> <li>- ZONA PRIVA DI OSTACOLI &gt; 6 M O MARGINI CON POSSIBILITÀ DI SOSTA IN CASO DI EMERGENZA</li> <li>- (SEMI-) BANCHINA PAVIMENTATA</li> <li>- PARCHEGGIO SULLA CARREGGIATA NON CONSENTITO</li> <li>- DISTANZA DI VISIBILITÀ ALL'ARRESTO 105 M</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- TRONCO STRADALE DI 303 M</li> <li>- INTERSEZIONI RIALZATE</li> <li>- AREA RURALE POCO O MOLTO DENSAMENTE URBANIZZATA</li> <li>- 6,8 M &lt; LARGHEZZA DELLA CARREGGIATA &lt; 8,3 M</li> <li>- 2,5 M &lt; LARGHEZZA DELLA CORSIA &lt; 3,0 M</li> <li>- SUPERFICIE STRADALE REGOLARE</li> </ul>
100 KM/H	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ACCESSO VIETATO AL TRAFFICO LENTO</li> <li>- CARREGGIATE STRADALI CON SEPARAZIONE FISICA</li> <li>- ZONA PRIVA DI OSTACOLI &gt; 10 M;</li> <li>- NESSUNA POSSIBILITÀ DI CONFLITTI LATERALI;</li> <li>- BANCHINA PAVIMENTATA</li> <li>- PARCHEGGIO SULLA CARREGGIATA NON CONSENTITO</li> <li>- DISTANZA DI VISIBILITÀ ALL'ARRESTO 170 M</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- TRONCO STRADALE DI 463 M</li> <li>- NESSUN LIMITATORE DI VELOCITÀ FISICO</li> <li>- AREA RURALE POCO URBANIZZATA</li> <li>- 18 M &lt; LARGHEZZA DELLA CARREGGIATA &lt; 22 M</li> <li>- 2,9 M &lt; LARGHEZZA DELLA CORSIA &lt; 3,6 M</li> <li>- SUPERFICIE STRADALE REGOLARE</li> </ul>
120 KM/H	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ACCESSO VIETATO AL TRAFFICO LENTO</li> <li>- CARREGGIATE STRADALI CON SEPARAZIONE FISICA</li> <li>- ZONA PRIVA DI OSTACOLI &gt; 13 M</li> <li>- NESSUNA POSSIBILITÀ DI CONFLITTI LATERALI</li> <li>- BANCHINA PAVIMENTATA</li> <li>- PARCHEGGIO SULLA CARREGGIATA NON CONSENTITO</li> <li>- DISTANZA DI VISIBILITÀ ALL'ARRESTO 260 M</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- TRONCO STRADALE DI 657 M</li> <li>- NESSUN LIMITATORE DI VELOCITÀ FISICO</li> <li>- AREA RURALE POCO URBANIZZATA</li> <li>- 21,6 M &lt; LARGHEZZA DELLA CARREGGIATA &lt; 26,4 M</li> <li>- 3,2 M &lt; LARGHEZZA DELLA CORSIA &lt; 3,9 M</li> <li>- SUPERFICIE STRADALE REGOLARE</li> </ul>

Le caratteristiche considerate per la determinazione del limite di velocità sono le seguenti:

- separazione fisica tra i diversi sensi di marcia
- aree o strutture dedicate a ciclomotori e/o ciclisti

- aree o strutture dedicate ai pedoni
- margini poco pericolosi
- parcheggi
- restrizioni di accesso alla strada per determinate tipologie di utenti
- larghezza della zona priva di ostacoli a margine della strada
- distanza di visibilità all'arresto della strada
- densità di intersezioni e di accessi

Una volta determinato il limite più adeguato sulla base delle caratteristiche riportate in Tabella 4-IV, è possibile effettuare un confronto tra questa e la velocità operativa rilevata, consentendo di affrontare il problema maggiormente nel dettaglio.

Il valore richiesto per tale confronto è quello della V90, ovvero la velocità del 90esimo percentile, sia per ragioni legate alla definizione di limite sicuro (44) (51), sia perché il 10% degli utenti al di sopra di tale limite è considerato accettabile dalla polizia olandese.

Se la velocità operativa è più elevata della velocità determinata come velocità sicura o del limite attualmente posto sulla strada, esiste un problema di sicurezza, anche nel caso in cui non sia mai stato rilevato un incidente sul tronco stradale in esame.

#### 4.5.2.2 CREDIBILITÀ DEL LIMITE DI VELOCITÀ

Quando la velocità operativa sia più elevata della velocità determinata come "velocità sicura", il limite di velocità può non essere credibile per gli utenti.

Un limite di velocità è definito come credibile se percepito dagli utenti come ragionevole in funzione delle caratteristiche della strada e appare evidente come gli utenti tendano a rispettare i limiti di velocità quando considerano questi credibili (29).

Alcune caratteristiche della strada sono state individuate come determinanti nell'influenzare i comportamenti legati alla velocità e la credibilità dei limiti: sulla base di studi recenti (53) cinque caratteristiche sono state utilizzate all'interno dell'algoritmo di SaCredSpeed per valutare la credibilità del limite, in quanto agenti come "acceleratori" o "deceleratori"(65) (53):

- larghezza della carreggiata
- densità degli elementi dell'ambiente stradale (ad es. edifici o alberi piuttosto che spazi aperti)
- lunghezza dei rettifili
- qualità della superficie stradale
- densità degli interventi "fisici" di riduzione della velocità (ed es. dossi, intersezioni rialzate, etc...)

**TABELLA 4-V - PANORAMICA DEGLI “ACCELERATORI” E “DECELERATORI” CHE INFLUENZANO LA CREDIBILITÀ DEL LIMITE DI VELOCITÀ (53)**

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA STRADA	DECELERATORI	ACCELERATORI
STRUTTURE PER I PEDONI	PEDONI MISTI AD ALTRO TRAFFICO	PEDONI NON AMMESSI
STRUTTURE PER I CICLISTI	CICLISTI MISTI AD ALTRO TRAFFICO	CICLISTI NON AMMESSI
STRUTTURE DI PARCHEGGIO	PARCHEGGIO AMMESSO SULLA CARREGGIATA	PARCHEGGIO NON AMMESSO
NUMERO DI CORSIE	UNICA CARREGGIATA	VARIE CORSIE PER SENSO DI MARCIA SEPARATE DA SPARTITRAFFICO
INTERSEZIONI	INTERSEZIONI A RASO SENZA PRIORITÀ	INTERSEZIONI A LIVELLI SFALSATI
RETTIFILI	RETTIFILI CORTI	RETTIFILI LUNGHI
LIMITATORI DI VELOCITÀ	LIMITATORI DI VELOCITÀ FISICI	LIMITATORI DI VELOCITÀ NON FISICI
LARGHEZZA DELLA CORSIA/CARREGGIATA	CORSIA/CARREGGIATA STRETTA	CORSIA/CARREGGIATA LARGA
SUPERFICIE STRADALE	SUPERFICIE IRREGOLARE	SUPERFICIE REGOLARE
DENSITÀ DELL'AMBIENTE STRADALE	VEGETAZIONE FITTA O AREA URBANIZZATA	VEGETAZIONE SPARSA O AREA POCO URBANIZZATA

Per ogni limite di velocità, ognuna di queste caratteristiche ha un valore ideale (Tabella 4-V); se tale caratteristica differisce dall'ideale per quel limite di velocità viene codificata come “acceleratore” o “deceleratore”, in funzione del fatto che tale valore sia al di sopra o al di sotto del valore ideale.

L'effetto complessivo è determinato sommando gli effetti di ognuna delle caratteristiche del tronco stradale e assegnando lo stesso peso ad ognuna di queste: se tutte le caratteristiche considerate sono “ideali” o se sono presenti in ugual numero “acceleratori” e “deceleratori”, il limite di velocità individuato può essere ritenuto credibile; se invece gli “acceleratori” superano i “deceleratori” (o viceversa) gli utenti tenderanno a guidare a velocità superiori (o inferiori) a quelle imposte.

#### **4.5.2.3 CONTROLLI DI POLIZIA**

Il terzo algoritmo di SaCredSpeed è relativo alla determinazione dei controlli di polizia necessari.

In generale tale algoritmo, particolarmente utile se si hanno a disposizione misure di velocità, è basato sulla regola che la prevenzione generalizzata è da preferire alla prevenzione specifica, in quanto la prima coinvolge un maggior numero di utenti.

#### **4.5.2.4 DIAGNOSI FINALE E INDIVIDUAZIONE DEGLI INTERVENTI**

Qualora i decisori avessero bisogno di indicazioni per individuare degli interventi generalizzati, e non relativi esclusivamente alla sicurezza o alla credibilità del limite

individuato, SaCredSpeed consente di mettere a confronto le caratteristiche inserite come input e individuare degli interventi. Tali interventi possono essere raggruppati nelle seguenti categorie:

1. Adeguamento del limite di velocità imposto per renderlo maggiormente sicuro e/o maggiormente credibile
2. Adeguamento delle caratteristiche geometriche della strada del suo contesto per incrementare la sicurezza e/o la credibilità del limite imposto
3. Adeguamento dei metodi di controllo del rispetto del limite di velocità e/o incremento delle campagne di informazione e sensibilizzazione.

Quest'ultimo deve essere comunque visto come una soluzione temporanea a problemi di eccesso di velocità, da utilizzare esclusivamente in attesa dell'identificazione del problema e di una sua soluzione.

Tale soluzione può portare ad un miglioramento delle caratteristiche geometriche della strada per far in modo che queste si avvicinino quanto più possibile a quelle individuate dal limite ritenuto sicuro o viceversa al "peggioramento" delle caratteristiche geometriche della strada per far in modo che questo sia ritenuto credibile dagli utenti. La scelta dipende naturalmente dalle ambizioni del decisore, dalla funzione della strada all'interno della rete stradale, dalle inconsistenze e discontinuità rispetto alle altre strade della rete, da un rapporto costi-benefici, etc...

#### **4.5.2.5 TECNICHE UTILIZZATE**

---

In Figura 4-1 è riportato l'algoritmo generale di SaCredSpeed.

Da quanto emerge dalla bibliografia, l'algoritmo di SaCredSpeed utilizza le teorie dello SWOV – ovvero la *Sustainable Safety* e la minimizzazione del danno (*harm minimization*) – per la determinazione di limiti di velocità che siano sicuri e, al medesimo tempo, credibili. L'applicazione di tali teorie avviene mediante l'uso di un software che si limita a "applicare" tali scelte, sulla base dei dati di input inseriti.

Si fa presente che tale algoritmo non tiene in alcun modo conto delle caratteristiche operative dei tronchi stradali – come il volume di traffico, la percentuale di veicoli pesanti, il tasso d'incidentalità - o delle condizioni di manutenzione degli stesso - come lo stato della pavimentazione o della segnaletica – che in contesti differenti da quello olandese, per cui le teorie e l'algoritmo sono stati ideati, possono avere una certa importanza e devono in quale modo essere considerati.

Si rileva inoltre che, sebbene tale algoritmo consenta di conoscere le teorie e il processo decisionale che sta alla base delle scelte, il decisore non ha in alcun modo la possibilità di cambiare o aggiornare il sistema sulla base delle politiche correnti o della propria esperienza qualora lo ritenga necessario.

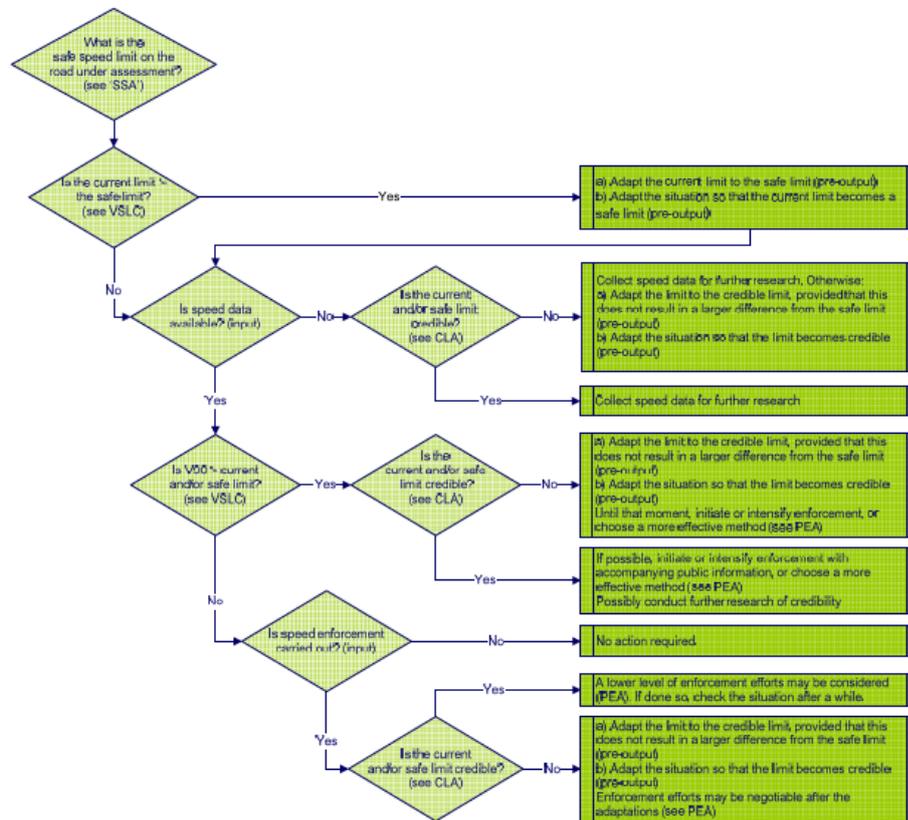


FIGURA 4-1 – ALGORITMO GENERALE DI SACRED SPEED (64)

### 4.5.3 SISTEMI ESPERTI - USLIMITS

L’approccio maggiormente di moda negli ultimi anni si basa sull’utilizzo di “sistemi esperti”, che hanno lo scopo di assistere i gestori nella determinazione dei limiti di velocità localizzati. Tali sistemi, nella risoluzione di un problema decisionale complesso, simulano il processo decisionale degli “esperti” che, nella definizione dei limiti appropriati per le *speed zone*, considerano svariati fattori oltre alla velocità operativa.

Il primo sistema esperto per la definizione dei limiti di velocità è stato sviluppato nel 1987 nello stato di Victoria, in Australia dall’ARRB (*Australian Road Research Board*) (66). Si trattava di un programma in DOS, con il nome di VLIMITS, che, utilizzando delle regole generate da un gruppo di esperti, a seconda del tipo di strada e di condizioni di traffico, era

in grado di suggerire il limite di velocità più appropriato. Il sistema è stato aggiornato negli anni e sviluppato ad hoc per le strade statali degli stati dell’Australia e della Nuova Zelanda: tutti questi sistemi sono noti con il nome di XLIMITS (3).

Sulla base dei sistemi XLIMITS, negli anni ’90 è stato sviluppato negli USA per il FHWA (*Federal Highway Administration*) dallo stesso ARRB, un sistema esperto (noto come USLIMITS), riadattato alle politiche e alle pratiche statunitensi.

Tutti questi sistemi - sviluppati sulla base di regole decisionali fornite da un team di esperti per differenti tipi di strade e condizioni di traffico – sulla base di alcuni dati di input – quali tipo di area (extraurbana, urbana, periferia urbana, periferia extraurbana), numero di corsie, presenza o meno di controllo sugli accessi, tipo di strada, larghezza dello spartitraffico, etc... - erano in grado di fornire un limite di velocità, che poteva essere “ricalcolato” qualora in possesso di dati aggiuntivi relativi all’incidentalità, all’andamento plano-altimetrico e alla velocità dell’85esimo percentile, e degli “avvertimenti” relativi alla possibile presenza di fattori di pericolo.

Tutti i sistemi esperti sopracitati, di proprietà dell’ARRB, non consentivano di conoscere le regole decisionali e il metodo con il quale veniva scelto il limite di velocità raccomandato.

USLIMITS è stato aggiornato e sostituito nel 2006, per conto del NCHRP<sup>11</sup>, TRB<sup>12</sup> e *National Research Council*, da una versione successiva nota come USLIMITS2, il quale, contrariamente ai precedenti, è open source e consente di conoscere tutte le informazioni relative alla logica del sistema e ai fattori che influenzano la scelta del limite di velocità (67)(68)(69) (70).

La nuova versione del sistema fa uso di regole decisionali, risultato di numerosi incontri e riunioni di un team di esperti (NCHRP Panel) e di studi e sondaggi effettuati sugli utenti.

Nel *Final Report* (70) sono riportate passo-passo tutte le fasi che sono state necessarie per mettere a punto il sistema. In un primo momento sono stati identificati i *critical factors*, ovvero i fattori e le variabili essenziali agli esperti per l’identificazione del limite di velocità e sono stati vagliati tre possibili differenti approcci per la determinazione delle regole decisionali, scegliendo tra un modello di regressione lineare basato sullo studio di casi reali, un modello basato sui commenti e raccomandazioni di un team di esperti e un **modello di regressione basato su casi studio ipotetici**. Dopo aver scelto quest’ultimo approccio per la definizione delle regole decisionali, il gruppo di ricerca ha sviluppato “56 scenari” per il Test Pilota da cui sono state generate delle regole decisionali preliminari. Utilizzando i risultati del casi studio pilota, il gruppo di ricerca ha messo a punto dei casi studio differenti (con un maggior numero di variabili) per i cinque tipi di strade considerate - ovvero autostrade, strade a due corsie in aree poco urbanizzate, strade a molte corsie in aree poco urbanizzate, strade a due corsie in aree urbanizzate, strade a molte corsie in aree urbanizzate – e, sulla base dei limiti di velocità consigliati dai vari esperti, sono state generate delle nuove regole

---

<sup>11</sup> NCHRP - *National Cooperative Highway Research Program*

<sup>12</sup> TRB – *Transportation Research Board*

decisionali. Tali regole sono state ampiamente discusse, modificate ed infine approvate dal team di esperti.

A differenza delle precedenti versioni, USLIMITS2 consente di conoscere la logica del sistema e in che modo i singoli fattori influenzano la scelta del limite di velocità consigliato; vengono altresì fornite le regole decisionali alla base del sistema, distinte a seconda del tipo di strada (Autostrade con accesso limitato, strade in aree non urbanizzate, strade in aree urbanizzate) rappresentate mediante diagrammi a blocchi.

Il Report relativo allo studio, la Guida per l'utente e le Regole Decisionali sono disponibili nel sito ufficiale (<http://www2.uslimits.org>) ove, previa registrazione, è possibile interrogare il sistema e determinare il limite di velocità consigliato per una specifica *speed zone*.

#### 4.5.3.1 VARIABILI CONSIDERATE (CRITICAL FACTORS)

Il sistema come già anticipato, fa uso di regole distinte per tre diverse tipologie di strade considerate, ovvero:

1. Autostrade (*Limited Access Freeway*)
2. Strade in aree non urbanizzate (*Road Sections in Undeveloped Areas*)
3. Strade in aree urbanizzate (*Road Sections in Developed Areas*)

E per ognuna fa uso di variabili differenti (Tabella 4-VI).

TABELLA 4-VI – VARIABILI UTILIZZATE PER TIPOLOGIA DI STRADA

LIMITED ACCESS FREEWAY	ROAD SECTIONS IN UNDEVELOPED AREAS	ROAD SECTIONS IN DEVELOPED AREAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>- VELOCITÀ OPERATIVE (OPERATING SPEED)</li> <li>- PRESENZA/ASSENZA DI ADVERSE ALIGNMENT</li> <li>- SE È O MENO UNA ZONA DI TRANSIZIONE</li> <li>- LARGHEZZA DELLA SEZIONE STRADALE</li> <li>- LIMITE DI VELOCITÀ IMPOSTO</li> <li>- PENDENZA</li> <li>- TRAFFICO GIORNALIERO MEDIO - TGM (AADT)</li> <li>- NUMERO DI SVINCOLI PRESENTI</li> <li>- STATISTICHE SUGLI INCIDENTI (SE DISPONIBILI)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- VELOCITÀ OPERATIVE (OPERATING SPEED)</li> <li>- PRESENZA/ASSENZA DI ADVERSE ALIGNMENT</li> <li>- SE È O MENO UNA ZONA DI TRANSIZIONE</li> <li>- LIMITE DI VELOCITÀ IMPOSTO</li> <li>- TRAFFICO GIORNALIERO MEDIO - TGM (AADT)</li> <li>- ROADSIDE HAZARD RATING - RHR (71)</li> <li>- NUMERO DI CORSIE E PRESENZA/ASSENZA DI SPARTITRAFFICO</li> <li>- STATISTICHE SUGLI INCIDENTI (SE DISPONIBILI)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- VELOCITÀ OPERATIVE (OPERATING SPEED)</li> <li>- LIMITE DI VELOCITÀ IMPOSTO</li> <li>- TRAFFICO GIORNALIERO MEDIO - TGM (AADT)</li> <li>- PRESENZA/ASSENZA DI ADVERSE ALIGNMENT</li> <li>- TIPO DI AREA</li> <li>- NUMERO DI ACCESSI</li> <li>- NUMERO DI SEMAFORI</li> <li>- PRESENZA/USO DI PARCHEGGI A MARGINE DELLA STRADA</li> <li>- PRESENZA DI UTENTI DEBOLI</li> <li>- STATISTICHE SUGLI INCIDENTI (SE DISPONIBILI)</li> </ul>

Si descrivono qui nel seguito brevemente le variabili considerate dal sistema.

- **Velocità operative** (*Operating Speed*): velocità dell'85esimo percentile (V85), ovvero il valore di velocità al di sotto della quale guidano l'85% degli utenti della strada in un tronco stradale, e la velocità del 50esimo percentile (V50), ovvero il valore di velocità al di sotto della quale guidano il 50% degli utenti della strada in un tronco stradale. Il sistema non consente di inserire valori di V85 e V50 che differiscano più di 15 mph.
- **Adverse Alignment**: include un andamento verticale e/o orizzontale che differisce in maniera significativa dall'andamento generale della stessa. I tronchi di questo tipo hanno caratteristiche geometriche che abbassano notevolmente le velocità operative lungo gli stessi. Vengono considerati *adverse alignment*: curve di piccolo raggio, lunghi rettifili seguiti da curve di piccolo raggio, successioni di curve, restringimenti della sezione, presenza di dossi, cattivo coordinamento plano-altimetrico, etc. Se è presente un *adverse alignment* il sistema fornisce un avviso che consiglia di utilizzare '*maximum safe speed warnings*', ossia dei limiti di velocità ancora inferiori rispetto a quelli dell'intero tronco stradale considerato.
- **Zona di transizione** (*transition zone*): è richiesto di indicare se il tronco stradale considerato sia o meno una zona di transizione verso una strada con differenti caratteristiche.
- **Larghezza della sezione stradale** (*section length*): larghezza della sezione stradale in miglia.
- **Limite di velocità imposto** (*Statutory Limit*): limite di velocità imposto dall'ente gestore nel tronco stradale in esame. Se il limite di velocità raccomandato è più elevato del limite imposto, il sistema fornisce un avviso.
- **Pendenza** (*Terrain*): classificata come pianeggiante (*level/flat*) quanto non supera il 3%, ondulato (*rolling*) entro il 4% o ripido (*mountainous*) quando supera il 4%.
- **Traffico Medio Giornaliero** (*Annual Average Daily Traffic - AADT*): traffico medio giornaliero calcolato come la media annuale, costituisce una misura dei flussi di traffico insistenti sul tronco stradale.
- **Numero di svincoli** (*numbers of interchanges*): (solo per *limited access freeway*) il numero di svincoli presenti è utilizzato per calcolare lo spazio medio tra gli svincoli in un tronco, che deve essere uguale alla lunghezza della sezione per il numero di svincoli.
- **Statistiche sugli incidenti** (*crash statistics and analysis*): qualora disponibili, consentono al sistema di calcolare il tasso d'incidentalità per 100 milioni di veicoli e di confrontarlo con dati di letteratura per valutare il "rischio" sul tronco in esame.
- **Roadside Hazard Rating – RHR**: (solo per *Road Sections in Undeveloped Areas*) costituisce una misura delle caratteristiche e delle condizioni dei margini,

includendo larghezza e tipo di banchine, la pendenza del rilevato stradale, la presenza/assenza di oggetti fissi sui margini, etc. Viene fissata una scala, da 1 a 7, in cui 1 rappresenta il rischio minore (e dunque le condizioni migliori) e 7 il rischio maggiore (ovvero le condizioni peggiori) (71).

- **Numero di corsie e presenza/assenza di spartitraffico centrale** (*Number of Lanes and Presence/Absence of Median*): sulla base del numero di corsie e della presenza o meno di spartitraffico centrale viene chiesto all'utente di scegliere tra queste tipologie di strada:
  - Strada a due corsie e a doppio senso di marcia, priva di spartitraffico centrale (*Two-lane Undivided*)
  - Strada a più corsie, con corsia per la svolta a sinistra (*Multilane with Two-Way Left-Turn-Lane - TWLTL*)
  - Strada a più corsie e a doppio senso di marcia, con spartitraffico centrale (*Multilane Divided*)
- **Numero di accessi** (*Number of Driveways in the Section*): si riferisce al numero di accessi lungo il tronco stradale; tale informazione è utilizzata per calcolare il numero di accessi per miglia.
- **Numero di semafori** (*Number of Traffic Signals within the Section*): si riferisce al numero di semafori presenti lungo il tronco stradale; tale informazione è utilizzata per calcolare il numero di semafori per miglia.
- **Presenza/Uso di parcheggi lungo la strada** (*Presence/Usage of On-Street Parking*): si riferisce alla presenza di parcheggi lungo la carreggiata stradale; viene chiesto all'utente di selezionare tra "alto" (*high*) e "non alto" (*not high*).
- **Presenza di utenti deboli** (*Extent of Ped/Bike Activity*): si riferisce alla presenza di pedoni e ciclisti sulla strada; viene chiesto all'utente di selezionare tra "alto" (*high*) e "non alto" (*not high*).

Nel sito di USLIMITS2, è fornita una guida all'utente, in cui sono illustrate nel dettaglio le variabili utilizzate, anche tramite immagini esemplificative.

#### 4.5.3.2 APPROCCIO DECISIONALE

---

Sulla base dei "casi studio" sottoposti agli esperti, facendo uso di tecniche di regressione lineare e rielaborando le "risposte" fornite dagli esperti, sono state generate le regole decisionali che consentono la determinazione del limite di velocità raccomandato, sulla base delle variabili sopra elencate. I casi studio sono stati sottoposti agli esperti sotto forma di tabelle, in cui venivano forniti dati relativi alle variabili sotto elencate, distinte per cinque tipologie di strade (Tabella 4-VII).

Le risposte fornite dagli esperti sono state elaborate e i risultati a lungo discussi dal team di esperti.

Sono state così generate delle regole decisionali, illustrate mediante diagrammi a blocchi - che vengono altresì forniti agli utenti del sistema sul sito - in cui è spiegato il processo decisionale con il quale avviene la determinazione del limite raccomandato, distinto per tre macro-tipologie di strada:

1. Autostrade (*Limited Access Freeway*)
2. Strade in aree non urbanizzate (*Road Sections in Undeveloped Areas*)
3. Strade in aree urbanizzate (*Road Sections in Developed Areas*)

In realtà in sistema consente due differenti approcci, in presenza o meno di dati d'incidente. Il primo approccio, basato sulle velocità operative e su altre caratteristiche del sito (chiamati *safety surrogates*) - differenti per le tre tipologie di strade individuate (Tabella 4-VIII) - consente di calcolare il limite raccomandato con le regole riportate in Tabella 4-IX.

Il secondo approccio invece è basato sulle velocità operative e i risultati del modulo per gli incidenti (*crash module*) e può essere utilizzato solo nel caso in cui l'utente abbia a disposizione dei dati d'incidente (non sempre disponibili). In tal caso è possibile fare uso del *crash module* in cui è richiesto all'utente di inserire il numero totale di incidenti verificatisi lungo il tronco stradale in esame e il numero di incidenti con conseguenze su persone e, qualora disponibili, i dati d'incidentalità relativi alla stessa giurisdizione per sezioni di analoghe caratteristiche; se questi non fossero in possesso dell'utente il programma fa uso dei valori medi calcolati in otto differenti stati membri del *Highway Safety Information System (HSIS)*.

**TABELLA 4-VII – VARIABILI CONSIDERATE PER DESCRIVERE I CASI STUDIO (SCENARI)**

LIMITED ACCESS FREEWAY	MULTILANE UNDEVELOPED	TWO-LANE UNDEVELOPED	MULTI-LANE DEVELOPED	TWO-LANE DEVELOPED
V85	V85	V85	V85	V85
V50	V50	V50	V50	V50
PENDENZA	PENDENZA	PENDENZA	HAZARD RATING	HAZARD RATING
INCIDENTI TOTALI	HAZARD RATING	HAZARD RATING	CONTESTO	CONTESTO
INCIDENTI RELAZIONATI CON LA VELOCITÀ	INCIDENTI TOTALI	INCIDENTI TOTALI	PEDONI/CICLISTI	PEDONI/CICLISTI
HAZARD RATING	INCIDENTI RELAZIONATI CON LA VELOCITÀ	INCIDENTI RELAZIONATI CON LA VELOCITÀ	PARCHEGGI	PARCHEGGI
NUMERO DI SVINCOLI PER MIGLIA	ADVERSE ALIGNMENT	ADVERSE ALIGNMENT	INCIDENTI TOTALI	INCIDENTI TOTALI

LUNGHEZZA DEL TRONCO	LUNGHEZZA DEL TRONCO	LUNGHEZZA DEL TRONCO	INCIDENTI RELAZIONATI CON LA VELOCITÀ	INCIDENTI RELAZIONATI CON LA VELOCITÀ
LIMITI DI VELOCITÀ NEI TRONCHI ADIACENTI	LIMITE DI VELOCITÀ IMPOSTO	LIMITE DI VELOCITÀ IMPOSTO	LUNGHEZZA DEL TRONCO	LUNGHEZZA DEL TRONCO
	LIMITI DI VELOCITÀ NEI TRONCHI ADIACENTI	LIMITI DI VELOCITÀ NEI TRONCHI ADIACENTI	SEGNALI PER MIGLIO	SEGNALI PER MIGLIO
	SPARTITRAFFICO		LIMITI DI VELOCITÀ NEI TRONCHI ADIACENTI	LIMITI DI VELOCITÀ NEI TRONCHI ADIACENTI
			STRADA LOCALE O DI ATTRAVERSAMENTO	STRADA LOCALE O DI ATTRAVERSAMENTO
			SPARTITRAFFICO	

Il programma, facendo uso dei dati inseriti, calcola il tasso d'incidentalità critica (*critical crash rate - CCR*) e il tasso di ferimento critico (*critical injury rate - CIR*) con la seguente formula (72):

$$R_c = R_a + K \sqrt{\frac{R_a}{M}} + \frac{1}{2M}$$

Ove:

$R_c$  = tasso critico

$R_a$  = tasso medio

$K$  = costante associata al livello di confidenza

$M$  = 100 milioni di veicoli per miglia

**TABELLA 4-VIII – SAFETY SURROGATES PER LE DIVERSE TIPOLOGIE DI STRADA**

TIPO DI STRADA	SAFETY SURROGATE
LIMITED ACCESS FREEWAY	- INTERVALLO TRA GLI SVINCOLI (INTERCHANGE SPACING) - TRAFFICO GIORNALIERO MEDIO (AADT)
ROAD SECTIONS IN UNDEVELOPED AREAS	- ROADSIDE HAZARD RATING (RHR)
ROAD SECTIONS IN DEVELOPED AREAS	- SEMAFORI PER MIGLIA (SIGNALS PER MILE) - PRESENZA DI UTENTI DEBOLI (PED/BIKE ACTIVITY) - PARCHEGGI (PARKING ACTIVITY) - ACCESSI PER MIGLIA (DRIVEWAYS PER MILE) - TIPO DIA AREA

**TABELLA 4-IX – APPROCCIO 1 (BASATO SULLE VELOCITÀ OPERATIVE E I SAFETY SURROGATES)**

TIPO DI STRADA	SE	ALLORA IL LIMITE RACCOMANDATO
LIMITED ACCESS FREEWAY	AADT > 180.000 0.5 MIGLIA < INTERVALLO MEDIO TRA GLI SVINCOLI < 1 MIGLIO	È PARI ALL'ARROTONDAMENTO <sup>13</sup> PER DIFETTO DELLA V85
	AADT > 180.000 INTERVALLO MEDIO TRA GLI SVINCOLI < 0.5 MIGLIA	È PARI ALL'ARROTONDAMENTO PER ECESSO DELLA V50
ROAD SECTIONS IN UNDEVELOPED AREAS	RHR = 1 o 2 o 3	È PARI ALL'ARROTONDAMENTO PER ECESSO DELLA V85
	RHR = 4 o 5	È PARI ALL'ARROTONDAMENTO PER DIFETTO DELLA V85
	RHR = 6 o 7	È PARI ALL'ARROTONDAMENTO PER ECESSO DELLA V50
ROAD SECTIONS IN DEVELOPED AREAS	ALMENO UNA TRA QUESTE È VERIFICATA: - SEMAFORI PER MIGLIA > 4 - PRESENZA DI UTENTI DEBOLI = ALTA - PARCHEGGI = ALTA - ACCESSI PER MIGLIA > 60	È PARI ALL'ARROTONDAMENTO PER ECESSO DELLA V50
	40 < ACCESSI PER MIGLIA <= 60, AND SEMAFORI PER MIGLIA > 3, AND IL TIPO DI AREA È COMMERCIALE O RESIDENZIALE	È PARI ALL'ARROTONDAMENTO PER DIFETTO DELLA V85
	TUTTI GLI ALTRI CASI	È PARI ALL'ARROTONDAMENTO PER ECESSO DELLA V85

**TABELLA 4-X - APPROCCIO 2 (BASATO SULLE VELOCITÀ OPERATIVE E I CRASH MODULE)**

SE	E	ALLORA IL LIMITE RACCOMANDATO
TASSO > TASSO CRITICO	INTERVENTI SUL TRAFFICO O STRUTTURALI POSSONO RIDURRE I TASSI D'INCIDENTALITÀ E DI FERIMENTO	È PARI ALL'ARROTONDAMENTO PER ECESSO DELLA V85
E TASSO > TASSO MEDIO DI OLTRE IL 30%	INTERVENTI SUL TRAFFICO O STRUTTURALI NON POSSONO RIDURRE I TASSI D'INCIDENTALITÀ E DI FERIMENTO	È PARI ALL'ARROTONDAMENTO PER DIFETTO DELLA V85
TASSO > TASSO CRITICO	-	È PARI ALL'ARROTONDAMENTO PER ECESSO DELLA V50

Se il tasso d'incidentalità o il tasso di ferimento superano i corrispondenti valori critici o superano i corrispondenti valori medi di oltre il 30%, viene chiesto all'utente se il traffico o degli interventi strutturali possono ridurre tali tassi nella sezione in esame. Se l'utente risponde positivamente il limite di velocità raccomandato è calcolato come l'approssimazione inferiore della  $V_{85}$ , se risponde negativamente il limite di velocità raccomandato è calcolato come l'approssimazione inferiore della  $V_{85}$  (se il superamento è di

<sup>13</sup> Arrotondamento per eccesso (o per difetto) al valore di velocità subito superiore (o inferiore) di 5 mph.

oltre il 30% dei valori medi) o quella superiore della  $V_{50}$  (se i tassi sono superiori ai tassi critici).

Nel caso in cui vengano utilizzati entrambi gli approcci – ovvero nel caso in cui siano disponibili dati d'incidente – il valore del limite di velocità raccomandato è il valore più basso tra i due calcolati.

Il sistema, inoltre, non raccomanda mai limiti di velocità superiori alla velocità dell'85esimo percentile arrotondata per eccesso (di 5 mph) e mai inferiori alla velocità del 50esimo percentile, arrotondata per eccesso, e fornisce un avviso nel caso in cui il valore della velocità dell'85esimo percentile inserito dall'utente è insolitamente basso (o alto) per la tipologia di strada indicata.

Nella finestra di output il programma restituisce il valore di velocità raccomandato dal sistema esperto secondo le regole precedentemente esposte, e alcuni avvisi se si verificano (sulla base dei dati inseriti dall'utente) alcune condizioni particolari:

- Se la lunghezza del tronco indicata è inferiore alla lunghezza minima consigliata per il limite di velocità raccomandato;
- Se il limite di velocità raccomandato è più elevato del limite di velocità imposto dall'ente gestore;
- Se sono presenti *adverse alignment*;
- Se il tasso d'incidentalità è più elevato del tasso d'incidentalità critico o se supera il tasso d'incidentalità medio di oltre il 30%;
- Se il tasso di ferimento è più elevato del tasso di ferimento critico o se supera il tasso di ferimento medio di oltre il 30%;
- Se il valore della velocità dell'85esimo percentile supera le 52 mph, le 67 mph e le 77 mph rispettivamente in *Road Sections in Developed Areas*, *Road Sections in Undeveloped Areas* e *Limited Access Freeway*.

#### 4.5.3.3 FUNZIONAMENTO DEL SISTEMA E TECNICHE UTILIZZATE

---

USLIMITS2, come già detto, in questa sua ultima versione è assolutamente "aperto" e disponibile in rete all'uso, previa registrazione, al sito [www.uslimits2.com](http://www.uslimits2.com).

Nella prima schermata è possibile scaricare il report riguardante lo sviluppo del sistema, la guida all'utente e i diagrammi a blocchi contenenti le regole decisionali, e riprendere un vecchio progetto o crearne uno nuovo.

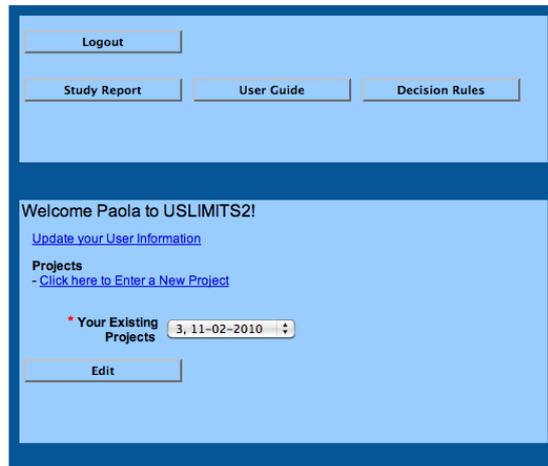


FIGURA 4-2 – USLIMITS2, SCHERMATA INIZIALE

Nelle due schermate successive è possibile inserire i dati richiesti per la tipologia di strada in esame (nel caso specifico *Road Sections in Undeveloped Areas*), ed avere informazioni in merito ad ognuno degli attributi di cui è richiesto l'inserimento (Figura 4-2, Figura 4-3 , Figura 4-4 e Figura 4-5).

Dopo l'inserimento dei dati relativi alla *speed zone* viene richiesto se si è o meno in possesso di dati d'incidente: se si clicca sul sì, appaiono due nuove schermate relative al crash module nelle quali inserire i valori del tasso d'incidentalità per la *speed zone* in esame e quelli relativi ai dati medi della zona, e i risultati di tale modulo (Figura 4-6, Figura 4-7, Figura 4-8 e Figura 4-9); se si clicca sul no, si va direttamente alla schermata finale (in cui viene visualizzato il limite di velocità raccomandato e alcuni avvisi (Figura 4-8).

**USLIMITS2 Basic Location Information**

\* State: California

\* County: Orange County

\* City/Area: select a city/area

\* Route/Street Name: 4

Route Termini From: \_\_\_\_\_

Route Termini To: \_\_\_\_\_

\* New or Existing Route:  New  Existing

\* Route Type: Road Section in Undeveloped Area [More Info](#)

\* Project Date: 10-15-2011

\* Project File Number: 1

Project Description: \_\_\_\_\_

[More Info](#)

FIGURA 4-3 – USLIMITS2, INSERIMENTO INFORMAZIONI RELATIVA ALLA SPEED ZONE

**HSIS Information**

www.uslimits.com/notes/rtetyp\_info.cfm

**Select a route type**

Here is a brief description of different route types. More detail including photographs illustrating these route types are available in the **User Guide**.

**Limited Access Freeway** – This route type includes U.S. and state numbered freeways and expressways and Interstate routes where access to and from the facility is limited to interchanges with grade separations. These high-speed routes typically have posted speed limits ranging from 50 mph in urban areas to 75 mph in some rural areas. Some urban areas may have short segments directly connecting the freeway to surface streets where the posted speed limit is as low as 35 mph. In rural western Texas, an 80 mph limit has recently been posted on selected segments of I-10 and I-20. As of September 2006, this is the highest posted speed limit on a freeway segment in the United States.

**Road Section in Undeveloped Area** – An undeveloped area is generally an area where the human population is low and the roadside primarily consists of the natural environment. Access is not restricted and posted speed limits are typically in the 40 mph to 65 mph range depending upon terrain and road design features. Road sections with lower speed limits usually have narrower pavement widths, little or no shoulders, and horizontal and vertical curvature that limits driver speeds. Road sections with higher speed limits usually have 12-foot lanes, 8-foot or greater shoulders which may be paved, and horizontal and vertical curvature that supports higher speed travel.

**Road Section in Developed Area** – A developed or built-up area is an area where the human-built environment has generally replaced most of the natural environment. Access is not restricted and posted speed limits are usually in the 25 mph to 50 mph range depending on the degree of human activity that interacts with vehicular travel, the road design, and degree of traffic control used. Road sections with lower speed limits are found in downtown and residential areas with considerable pedestrian and other non-motorized movements and on-street parking activity. Road sections with higher speed limits have little pedestrian activity, no on-street parking, and traffic control which favors through traffic movement. Roads in developed areas are further subdivided into residential subdivision/neighborhood street, residential collector street, commercial street, and a street serving a large complex such as a large shopping mall.

FIGURA 4-4 – USLIMITS2, SCHERMATA PER INSERIMENTO DATI RELATIVI ALLA SPEED ZONE (CON INFORMAZIONI)

USLIMITS2 - Road Section in Undeveloped Area

\* 85th Percentile Speed  Maximum of 99 mph. [More Info](#)

\* 50th Percentile Speed  [More Info](#)

\* Adverse Alignment  Yes  [More Info](#)

\* Transition Zone  Yes  [More Info](#)

\* Section Length in Miles

\* Statutory Speed Limit for this Type of Road  [More Info](#)

\* Annual Average Daily Traffic

\* Roadside Rating  [More Info](#)

\* Lanes and Presence/Type of Median  Two-lane Undivided

Number of Lanes

FIGURA 4-5 - USLIMITS2, SCHERMATA PER INSERIMENTO DATI RELATIVI ALLA SPEED ZONE

(Back to your list of projects)

USLIMITS2 - Road Section in Undeveloped Area

\* Do you have crash data at this site? Yes  No

FIGURA 4-6 - USLIMITS2, SCHERMATA PER APERTURA DEL CRASH MODULE (SE IN POSSESSO DI DATI D'INCIDENTE)

FIGURA 4-7 - USLIMITS2, SCHERMATA DEL CRASH MODULE 1

FIGURA 4-8 - USLIMITS2, SCHERMATA DEL CRASH MODULE 2



FIGURA 4-9 - USLIMITS2, OUTPUT DEL CRASH MODULE

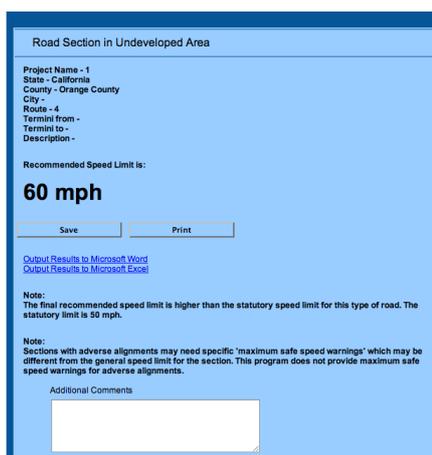
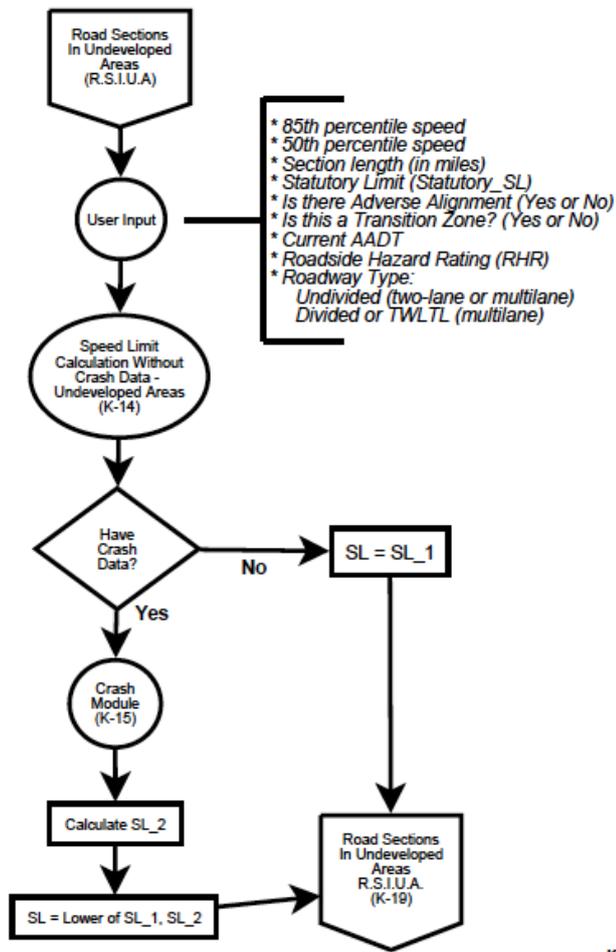


FIGURA 4-10 - USLIMITS2, OUTPUT

In Figura 4-11, Figura 4-12, Figura 4-13, sono riportati i diagrammi a blocchi in cui è contenuta la “logica” del sistema nel caso delle *Road Sections in Undeveloped Areas*. Il sistema pertanto appare perfettamente trasparente all’utente che, studiando nel dettaglio le regole, può comprendere quali siano i fattori che hanno influenzato la decisione relativa al limite di velocità consigliato del team di esperti.

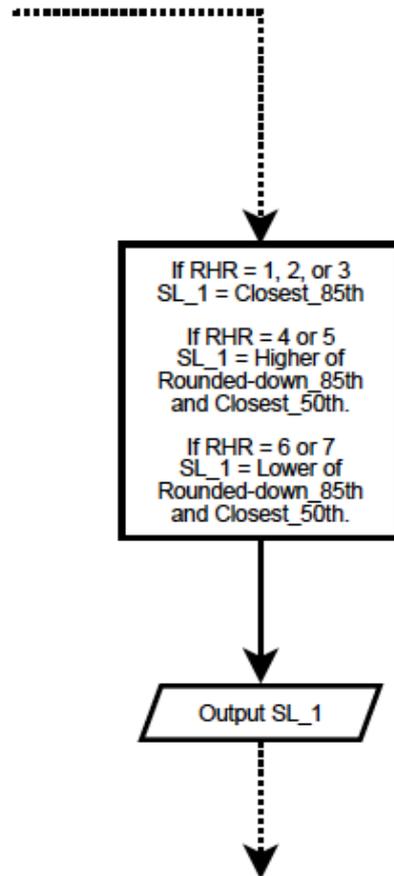
In realtà il sistema però, come tutti i sistemi che fanno uso della regressione lineare, non consente di individuare il “nesso” esistente tra i casi studio (scenari) sottoposti agli esperti e le regole decisionali che vengono generate, creando un effetto *black box* e rendendo così il sistema assolutamente chiuso, sia in termini di possibilità di conoscere le ragioni delle relazioni esistenti tra causa ed effetto, sia in termini di aggiornabilità e adattabilità del sistema ad esigenze differenti da quelle individuate nella fase di messa a punto del sistema.



K-13

FIGURA 4-11 – USLIMITS - DIAGRAMMA A BLOCCHI PER ROAD SECTIONS IN UNDEVELOPED AREAS (67)

**Speed Limit Calculation Without Crash Data (to calculate SL\_1)  
(Roadway Section In Undeveloped Areas)**



**FIGURA 4-12 – USLIMITS - DIAGRAMMA A BLOCCHI PER ROAD SECTIONS IN UNDEVELOPED AREAS  
(APPROCCIO 1)(67)**

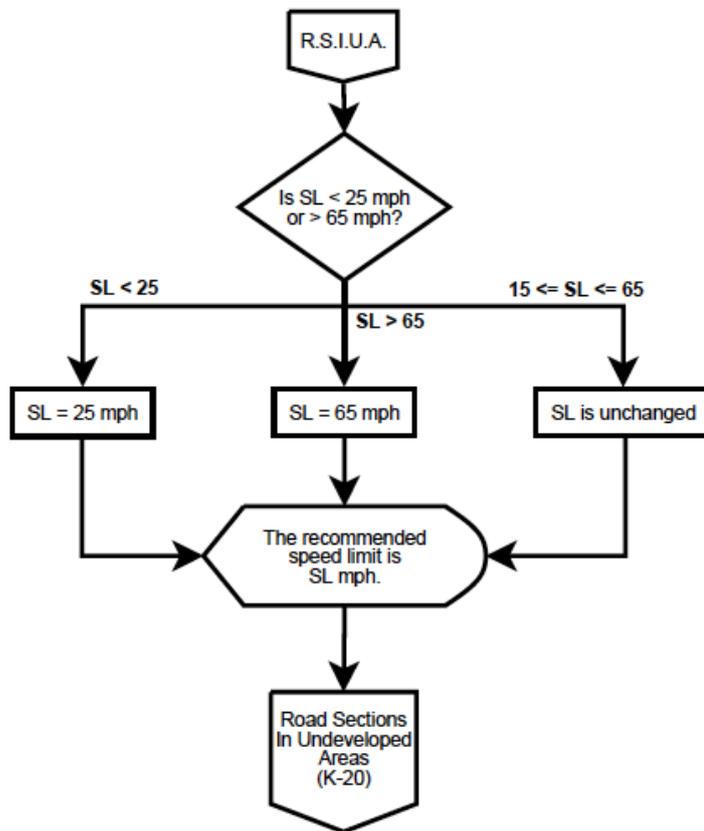


FIGURA 4-13 – USLIMITS - DIAGRAMMA A BLOCCHI PER ROAD SECTIONS IN UNDEVELOPED AREAS (APPROCCIO 1)(67)

## 4.6 LIMITI VARIABILI E LIMITI DINAMICI

### 4.6.1 GENERALITÀ

I limiti di velocità precedentemente citati sono sempre determinati sulla base delle condizioni prevalenti della *speed zone*, e pertanto suggeriscono ai conducenti la velocità a cui possono guidare in sicurezza in “condizioni medie”. Il rischio di incidente però aumenta drasticamente in caso di condizioni sfavorevoli – come in caso di superficie bagnata o

scivolosa, ridotta visibilità, poca illuminazione, curve strette, ... - specialmente nel caso in cui i conducenti non adeguano la propria velocità alle condizioni della strada.

È per tale ragione che sono sempre più numerosi i paesi che fanno uso di limiti di velocità variabili e dinamici sulle proprie strade - ossia di limiti di velocità che cambiano in funzione dell'ora del giorno (diurni e notturni), della stagione dell'anno (invernali/estivi) o delle condizioni istantanee della strada (ad esempio delle condizioni climatiche) (1) - nell'ambito delle proprie politiche di trasporto, in cui vengono adottate misure di vario tipo - dall'imposizione di limiti di velocità localizzati a misure di controllo delle velocità, all'uso di nuove tecnologie - per gestire la velocità del traffico motorizzato.

Esistono due categorie di limiti di velocità che cambiano in funzione di alcuni criteri, e precisamente:

- i **limiti variabili** che entrano in vigore in particolari condizioni legate alle condizioni climatiche (pioggia/asciutto), alle stagioni (estate/inverno), all'ora del giorno (notte/giorno), etc..., e sono caratterizzati da segnaletica fissa e spesso regolamentati da normativa nazionale;
- i **limiti dinamici** che si attivano sulla base di particolari condizioni del traffico, di visibilità, condizioni climatiche, etc... sono regolati mediante pannelli a messaggio variabile.

Entrambe le categorie sono spesso note sotto il nome di "limiti variabili" (*Variable Speed Limits* – VLS).

Per quanto riguarda i limiti variabili, alcuni paesi applicano limiti generali più bassi in caso di condizioni climatiche sfavorevoli. In Francia ad esempio, in caso di pioggia o di neve, il limite di velocità in autostrada passa da 130 a 110 km/h e nelle strade extraurbane da 90 a 80 km/h, in caso di nebbia (con visibilità inferiore ai 50 metri) il limite di velocità in tutti i tipi di strada viene ridotto a 50 km/h.

Finlandia e Svezia applicano dei limiti di velocità generali differenti nella stagione invernale: in Finlandia il limite di velocità in autostrada passa da 120 a 100 km/h e, nelle strade extraurbane principali da 100 a 80 km/h; in Svezia i limiti di velocità cambiano rispettivamente da 110 a 90 km/h e da 90 a 70 km/h.

Negli Stati Uniti, in Norvegia, Australia e altri paesi, si applicano limiti di velocità variabili nelle zone in prossimità delle scuole, durante le ore di ingresso e di uscita.

Per quanto riguarda i limiti dinamici invece, in Francia è abbastanza comune la riduzione provvisoria del limite di velocità di 20 km/h per migliorare la qualità dell'aria quando il livello di inquinamento è elevato a causa delle alte temperature; il limite di velocità viene modificato tramite pannelli a messaggio variabile o mediante i mezzi di comunicazione.

Si utilizzano altresì i limiti di velocità dinamici per il controllo o la regolazione delle velocità: se il flusso di traffico e la densità dei veicoli aumentano, si riduce la distanza tra i veicoli, per cui diventa necessario ridurre il limite di velocità proposto, affinché sia possibile garantire la distanza di arresto in sicurezza del veicolo.

In alcuni paesi, come Germania e Regno Unito, i pannelli a messaggio variabile delle autostrade comunicano i limiti di velocità imposti, in caso di condizioni climatiche particolarmente sfavorevoli.

Gli studi sui flussi di traffico mostrano che all'aumentare del traffico e all'avvicinarsi alla sua capacità massima, la circolazione rallenta e aumenta il rischio di incidente; normalmente in tale tipo di circostanze, una riduzione della velocità della circolazione può aumentare la stabilità dei flussi e migliorare la capacità (anche se solo di una percentuale) e la sicurezza. Se si riduce il limite di velocità si riducono altresì le differenze di velocità tra i veicoli presenti sulla stessa corsia, che a sua volta può ridurre il rischio di tamponamenti. Si riduce inoltre la velocità della circolazione nella corsia di sorpasso, e dunque l'impulso a cambiare corsia che è altresì una fonte di rischio. Applicare lo stesso limite di velocità a tutte le corsie ha questo vantaggio e viene applicato in molti paesi. Nonostante questo in alcuni paesi (come l'Italia o il Lussemburgo), è possibile applicare limiti differenti nelle diverse corsie.

Sono inoltre stati introdotti limiti di velocità raccomandata di tipo dinamico in prossimità di alcune città (ad esempio in prossimità della città di Strasburgo).

Finora i costi hanno rallentato l'implementazione di limiti di velocità dinamici e variabili al di fuori della autostrade.

Tali sistemi di controllo delle velocità di tipo variabile - anche conosciuti come **Variable Speed Control System (VSCS)** - possono essere considerati un tipo di Intelligent Transportation System (ITS), in quanto sistemi che utilizzano le misure dei volumi di traffico e delle velocità dei flussi, le informazioni sulle condizioni climatiche e sulle condizioni della superficie stradale, per determinare la velocità a cui i conducenti dovrebbero guidare, date le condizioni istantanee della strada e del traffico (73).

Tale tipologia di limiti di velocità viene utilizzata al fine di ottenere uno o più dei seguenti obiettivi (74):

1. Fornire ai conducenti avvertimenti in caso di condizioni di traffico rallentato o condizioni rischiose;
2. Influenzare il comportamento degli utenti ed incrementare la motivazione degli utenti al rispetto dei limiti di velocità;
3. Minimizzare il rischio di incidenti e migliorare la sicurezza stradale;
4. Stabilizzare e regolare i flussi di traffico.

Rispetto ai normali sistemi di traffico – organizzati in maniera fortemente statica – gli ITS forniscono dinamicità (cambiamento nel tempo) e flessibilità (adattamento alle circostanze): con le giuste informazioni al momento e al tempo giusto, gli ITS offrono la possibilità di rispondere a condizioni specifiche (75).

#### 4.6.2 FUNZIONAMENTO DEI SISTEMI DI CONTROLLO DELLE VELOCITÀ DI TIPO VARIABILE

Per il funzionamento di Sistemi di controllo delle velocità di tipo variabile - *Variable Speed Control Systems* (VSCS) – è necessaria una sinergia tra (74):

1. la raccolta di dati in tempo reale relativi al traffico e alle condizioni climatiche
2. l'elaborazione dati
3. il display che mostra il limite di velocità dinamico.

Per quanto riguarda la raccolta dati sono utilizzati svariati sistemi: sistemi ad induzione posti nella pavimentazione (loop detectors), sistemi radar, rilevatori di visibilità, stazioni meteorologiche, sensori sulla pavimentazione, etc...

L'elaborazione dati e il calcolo del limite di velocità vengono effettuati da un operatore posto al centro di gestione del traffico o da un server centrale. Normalmente per la determinazione del limite di velocità in tempo reale viene utilizzato un algoritmo basato su regole logiche: matrici di limiti corrispondenti condizioni meteo, semplici riduzioni del limite di velocità in condizioni medie (di multipli di 5-mph) sulla base dei dati raccolti in tempo reale, alberi logici, algoritmi basati su logica fuzzy, etc... Tutti questi algoritmi, ad eccezione di quelli basati su logica fuzzy, sono comunque molto elementari e considerano solo alcune variabili nella determinazione del limite di velocità.

A seguito dell'elaborazione dati, il nuovo limite di velocità viene mostrato su un pannello a messaggio variabile che di solito mostra anche un messaggio in cui avvisa i conducenti di particolari condizioni di pericolo della strada.

#### 4.6.3 ESPERIENZE CON I LIMITI VARIABILI E DINAMICI

Un gran numero di Variable Speed Control System sono stati implementati con successo negli ultimi anni. Tali sistemi possono essere raggruppati in quattro grosse categorie, a seconda degli obiettivi che si propongono di ottenere (76):

- Controllo della velocità in risposta alle condizioni atmosferiche avverse e alle condizioni della pavimentazione
- Controllo delle velocità dei veicoli pesanti
- Controllo delle velocità nelle zone con lavori in corso
- Controllo dei flussi di traffico

In paesi come Australia, Gran Bretagna, Germania, Finlandia, Francia e Paesi Bassi, tale tipologia di limiti sono usati già da molti anni – in Germania dagli anni '70 - per il controllo delle velocità per il miglioramento della sicurezza sulle strade e per ridurre la congestione del traffico.

Numerosi esempi di applicazioni di tali sistemi in U.S.A. ed Europa sono stati presentati nel 2000 all'*Annual Meeting of the Transportation Research Board* (73).

Esperimenti nella gestione delle velocità mediante limiti variabili sono stati condotti nella *A2 Motorway* nei Paesi Bassi (77), sulla *M25 Controlled Motorway* in Gran Bretagna (78), e sulla *A7 Motorway* in Francia (1) (79) (80). Per cinque anni, tra il 2003 e il 2007, la *Swedish Road Administration* (SRA) ha lanciato una sperimentazione sui limiti variabili (1) (81); un'applicazione dei limiti di velocità dinamici è stata implementata dal 2007 nella rete viaria principale di accesso all'area metropolitana della città di Barcellona (82)(83); un programma di sperimentazioni sul campo – chiamato "*Dynamax*" - per determinare gli effetti dei limiti di velocità dinamici in diverse applicazioni è in corso dal 2009 su tre differenti autostrade danesi (84).

Negli U.S.A. la *National Cooperative Highway Research Program* (NCHRP) con il *Transportation Research Board* (TRB) ha in corso uno studio (Project 03-59 "*Assessment of Variable Speed Limit Implementation Issues*") per determinare l'impatto dei limiti di velocità variabili e per lo sviluppo di alcuni test per le applicazioni di maggior interesse (85) (86). Il Dipartimento dei trasporti federale (*US Department of Transportation's Federal Highway Administration* - FHWA) ha inoltre sollecitato e sviluppato alcune applicazioni per testare sul campo alcuni sistemi di limiti variabili in zone con lavori in corso nel Maryland, Michigan e Virginia (87) (88); dal 2007 un nuovo sistema di limiti di velocità variabili è stato installato dal Wyoming Department of Transportation lungo la Interstate 80 nella parte sudorientale dello stato (89).



# 5. NUOVE TECNOLOGIE PER LA GESTIONE DELLE VELOCITÀ

## 5.1 GENERALITÀ

Ormai da alcuni anni le tecnologie dell'informazione e della comunicazione – comunemente note con l'acronimo di ICT, *Information and Communication Technology*), sotto il cui termine sono raggruppati l'insieme dei metodi e delle tecnologie che realizzano i sistemi di trasmissione, ricezione ed elaborazione di informazioni (tecnologie digitali comprese) - sono diventate di uso comune nell'ambito dei trasporti e dei veicoli. Tali tecnologie applicate ai trasporti sono note comunemente con il nome di **Sistemi di Trasporto Intelligente** (*Intelligent Transportation Systems - ITS*).

Gli ITS (Intelligent Transport Systems) nascono dall'applicazione delle tecnologie informatiche e delle telecomunicazioni ai sistemi di trasporto. Gli ITS possono essere sinteticamente definiti come l'insieme di procedure, sistemi e dispositivi che consentono, attraverso la raccolta, l'elaborazione e la distribuzione di informazioni, di migliorare la mobilità, di ottimizzare le varie modalità di trasporto di persone e merci nonché di verificare e quantificare i risultati raggiunti.

Sotto questo termine vengono raggruppate numerosissime tecnologie di uso più o meno comune – sistemi a bordo o su strada - in grado di:

- Migliorare la sicurezza stradale, prevenendo comportamenti scorretti o diminuendo la severità degli incidenti.
- Controllare i flussi di traffico
- Ridurre il consumo di carburante
- Aumentare il confort di guida

e di farlo limitandosi ad “informare” il conducente oppure intervenendo fisicamente sul veicolo

In Figura 5-1 è rappresentato schematicamente lo schema di riferimento per gli ITS (90).

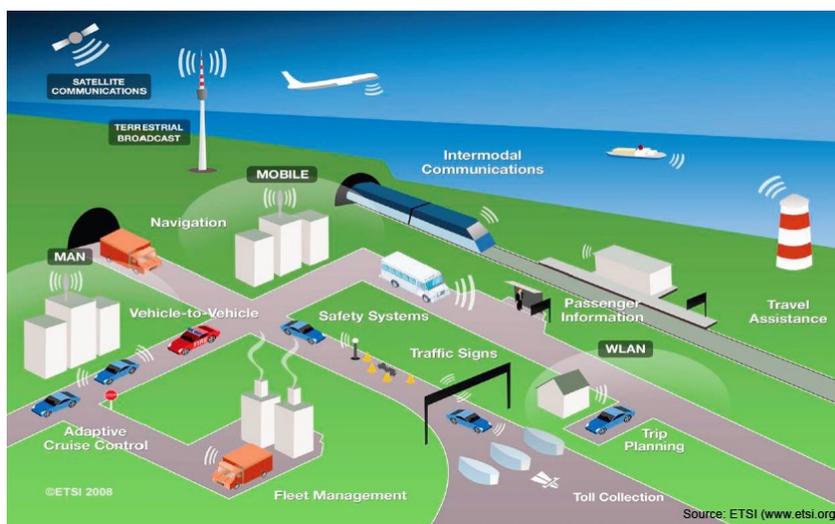


FIGURA 5-1 – SCHEMA DI RIFERIMENTO PER GLI ITS (90)

Tra i sistemi ITS, particolare attenzione meritano tutti quei sistemi studiati per aumentare la sicurezza stradale operando come ausilio alla guida, raggruppati sotto il nome di **ADAS - Advanced Driving Assisting Systems**.

In Tabella 5-1 è riportato un elenco non esaustivo.

TABELLA 5-1 – ELENCO DEI SISTEMI CHE INTERVENGONO IN CASO DI COMPORTAMENTO SCORRETTO ALLA GUIDA (91)

CATEGORIA	DENOMINAZIONE	ABBREVIAZIONE	EFFETTI SPERATI
CONTROLLO DEL VEICOLO	CONTROLLO ELETTRONICO DI STABILITÀ (ELECTRONIC STABILITY CONTROL)	ESC	PREVIENE VELOCITÀ ECCESSIVAMENTE ELEVATE IN CURVA (SISTEMA AUTONOMO)

	LANE DEPARTURE WARNING SYSTEM	LDWS	AVVISA IN CASO DI ATTRAVERSAMENTO DELLA SEGNALETICA DI MARGINE (TRAMITE VIDEO NEL VEICOLO)
	SISTEMA DI MANTENIMENTO DELLA CORSIA (LANE KEEPING SYSTEM)	LKS	INTERVIENE IN CASO DI ATTRAVERSAMENTO DELLA SEGNALETICA DI MARGINE (TRAMITE VIDEO NEL VEICOLO E STERZO SERVO-ASSISTITO)
PREVENZIONE DI COMPORTAMENTI SCORRETTI	INTELLIGENT SPEED ADAPTATION	ISA	FORNISCE INFORMAZIONI SUI LIMITI DI VELOCITÀ, AVVISA O INTERVIENE IN CASO DI SUPERAMENTO DEL LIMITE DI VELOCITÀ
	IDENTIFICAZIONE ELETTRONICA DEL VEICOLO (ELECTRONIC VEHICLE IDENTIFICATION)	EVI	LOCALIZZA E SEGUE IL VEICOLO NELLA RETE STRADALE (CONSENTE DI PUNIRE QUALUNQUE COMPORTAMENTO SCORRETTO DI GUIDA)
	SCATOLA NERA (ELECTRONIC DATA RECORDER)	EDR	REGISTRA QUALUNQUE TIPO DI COMPORTAMENTO ALLA GUIDA (PUÒ ESSERE UTILIZZATO SIA PER SANZIONARE CHE PER PREMIARE IN CONDUCENTI)
SUPPORTO ALL'OSSERVAZIONE E L'INTERPRETAZIONE DELLE SITUAZIONI ALLA GUIDA	SISTEMA ANTICOLLISIONE (COLLISION AVOIDANCE SYSTEM)	CAS	AVVISA O INTERVIENE QUANDO UN OGGETTO IN MOVIMENTO VIENE IDENTIFICATO INNANZI AL VEICOLO
	RILEVAMENTO DEI VEICOLI ALLE INTERSEZIONI	-	AVVISA O INTERVIENE QUANTO VIENE IDENTIFICATO DEL TRAFFICO IN ATTRAVERSAMENTO
	SISTEMA DI VISIONE NOTTURNA	-	MIGLIORA LA VISIONE NOTTURNA E DI CONSEGUENZA LA VISIONE DI PEDONI O CICLISTI
RIDOTTA IDONEITÀ ALLA GUIDA	SISTEMA DI ALLARME FATICA O ALLA DISTRAZIONE (FATIGUE WARNING SYSTEM /DISTRACTION WARNING SYSTEM)	-	AVVISA O INTERVIENE QUANDO RILEVA DEVIAZIONI DALLE NORMALI ATTIVITÀ CEREBRALI DAL NORMALE COMPORTAMENTO DI GUIDA, O QUANTO RILEVA ANOMALI MOVIMENTI DEGLI OCCHI

## 5.2 ITS PER LA GESTIONE DELLE VELOCITÀ

Gli ITS aprono nuove possibilità nella gestione delle velocità e nel cambiamento del comportamento dei guidatori.

Le nuove tecnologie infatti sono in grado di lavorare in maniera più efficiente rispetto a quanto non consentissero gli strumenti tradizionali: informano il conducente in qualsiasi momento e in qualsiasi luogo sul limite di velocità vigente ed lo avvisano nel caso in cui stia superando tale limite. Lavorando istante per istante e consentendo ai conducenti di reagire alle loro stesse violazioni dei limiti di velocità, offrono ai guidatori uno strumento di consapevolezza, confort e supporto, che gli strumenti tradizionali non sono in grado di fornire.

Nell'ambito degli ITS, si approfondiranno in questa sede alcune tecnologie rivolte specificatamente alla gestione delle velocità (91)(92)(93):

- *Intelligent Speed Assistance (ISA)*
- *Advanced Cruise Control (ACC)*
- *Vision Enhancement Systems (VES)*
- *In-vehicle speed enforcement systems.*

## 5.3 INTELLIGENT SPEED ADAPTATION (ISA)

Negli ultimi anni le nuove tecnologie di assistenza al conducente in materia di velocità e le tecnologie di controllo della velocità del veicolo sono due delle principali aree di ricerca e sviluppo nei vari paesi membri della Comunità Europea in relazione alla sicurezza stradale.

Le amministrazioni dei vari paesi nell'ambito dei trasporti stanno lavorando nell'ambito della ricerca di alcuni sistemi di assistenza al conducente in materia di velocità (*driver speed assistance*) e alcune stanno effettuando delle ricerche su possibili applicazioni tecnologiche per il controllo della velocità del veicolo. Tali sistemi, studiati in maniera indipendente da ognuno dei paesi dell'UE, possono essere tutti inglobati sotto la comune denominazione di "adattamento intelligente della velocità" ovvero *Intelligent Speed Adaptation (ISA)*.

Anche i produttori di veicoli stanno facendo numerosi sforzi di ricerca e sviluppo nell'ambito delle tecnologie di aiuto al conducente e stanno collaborando con vari enti amministrativi in tal senso. In Europa è in corso il progetto *Speed Alert* – finanziato dall'Unione Europea - al quale prendono parte i produttori di veicoli e le amministrazioni nell'ambito dei trasporti.

Una distinzione comunque deve essere fatta tra:

- assistenza al conducente in materia di velocità
- controllo della velocità del veicolo

poiché nel primo caso il conducente mantiene il pieno controllo del veicolo e ne è pienamente responsabile, mentre nel secondo caso il conducente delega parte del controllo della velocità del veicolo e non ne è più completamente responsabile.

Considerate nel proprio insieme, queste tecnologie possono essere uno strumento molto efficace per far in modo che i conducenti rispettino i limiti di velocità e guidino in maniera appropriata.

Con il termine *Intelligent Speed Adaptation* (ISA) si intendono tutti quei sistemi innovativi nei quali il veicolo “conosce” il limite di velocità ed è in grado di utilizzare questa informazione per avvisare il conducente o limitare la propria velocità massima.

La tecnologia ISA ha lo scopo di aiutare il conducente nella scelta (e adozione) di una velocità in linea con il limite di velocità imposto, ma è altresì possibile intervenire sulla velocità del veicolo.

Il concetto di ISA è stato molto sviluppato negli ultimi anni, a seguito di un'intensa attività di ricerca e sviluppo e l'efficacia di tali sistemi è stata dimostrata in molti paesi. I sistemi ISA sono strettamente correlati con numerose altri sistemi di sicurezza alla guida - come i sistemi di allerta in curva, allerta di cambio di corsia, sistemi di informazione sulla superficie della strada e le condizioni climatiche, sistemi per il mantenimento delle distanze di sicurezza, sistemi per il rilevamento degli ostacoli, etc.. – raggruppati sotto il nome di ADAS (*Advanced Driving Assistance System*).

### 5.3.1 TIPOLOGIE

Sono due le principali tipologie di ISA:

1. ISA informativi (*driver speed assistance technologies*)
2. ISA di supporto (*vehicle speed control technologies*)

In Figura 5-2 è rappresentata schematicamente la distinzione tra i due tipi di sistemi.

Gli ISA di tipo informativo (***informative ISA***) sono sistemi di aiuto al conducente che sostanzialmente agiscono:

- ✓ mostrando il limite di velocità
- ✓ avvisando il conducente (con un suono o un elemento visivo) quando supera il limite di velocità

Tale tipologia di ISA può essere attivato manualmente (*voluntary informative ISA*) o essere di tipo “obbligatorio” (*mandatory informative ISA*) ovvero non disattivabile dal conducente. Attualmente alcuni sistemi di navigazione includono già funzioni che forniscono questo tipo di indicazioni al conducente, ma non fanno uso di database sui limiti di velocità, ma dei limiti di velocità più probabili per quella categoria di strada.

Gli ISA di supporto (**supportive ISA**) sono invece sistemi di controllo della velocità del veicolo: il sistema interviene controllando la valvola di immissione (ovvero sulla somministrazione di combustibile) ed eventualmente intervenendo sul sistema di frenatura del veicolo - o aumentando la resistenza dell'acceleratore ("regolatore tattile") - per ridurre la velocità del veicolo nel caso in cui questo stia superando il limite di velocità imposto.

Anche in questo caso il sistema può essere attivato manualmente dal conducente (*Voluntary Supportive ISA*) e egli stesso può fissare un limite massimo (non necessariamente pari al limite di velocità massimo) – oppure essere di tipo obbligatorio (*Mandatory Supportive ISA*) in cui la velocità del veicolo è limitata in qualsiasi momento (anche se è possibile disattivarla in caso di emergenza).

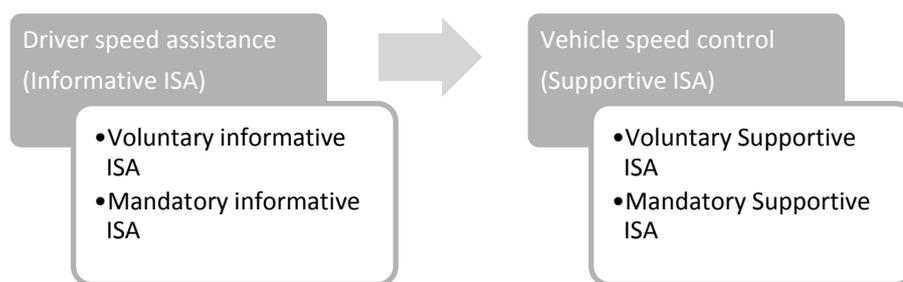


FIGURA 5-2 – DIFFERENTI TIPOLOGIE DI ISA

Sia nel caso degli ISA informativi che nel caso degli ISA di supporto è possibile operare un'ulteriore distinzione, che è la tipologia dei limiti di velocità (94):

- ✓ **limiti di velocità fissi:** il veicolo conosce i limiti di velocità imposti
- ✓ **limiti di velocità variabili:** il veicolo riceve altresì i limiti di velocità variabili (ad es. in zone di lavori in corso)
- ✓ **limiti di velocità dinamici:** il veicolo conosce i limiti che potrebbero cambiare localmente a seconda delle condizioni climatiche, del traffico, etc...

### 5.3.2 FUNZIONAMENTO

La Figura 5-3 mostra le funzioni di base e i flussi di informazioni in un sistema ISA.

Si analizzano nel dettaglio le funzioni del sistema ISA:

1. **Analisi del database dei limiti di velocità:** i sistemi ISA hanno la necessità di conoscere il limite di velocità vigente istante per istante e per far ciò fanno uso di un database contenente il limite di velocità imposto in ognuno dei tronchi stradali attraversati. Lo sviluppo di tali database naturalmente è gestito dalle autorità locali

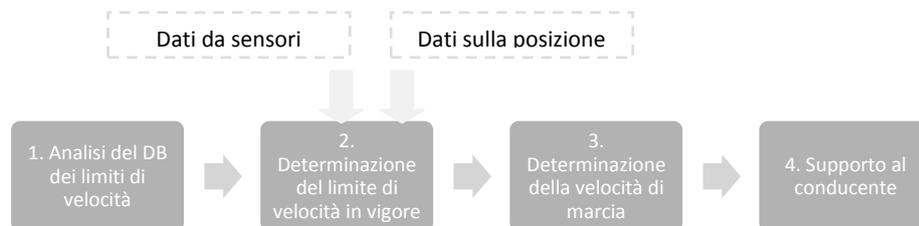
o dagli enti gestori delle strade, che hanno proprio il ruolo di fissare i limiti di velocità sulle strade.

2. **Determinazione del limite di velocità vigente:** i sistemi ISA hanno la necessità di determinare la posizione e la direzione di spostamento del veicolo (ad es. con un sistema GPS), avendo in questo modo la possibilità di ottenere il limite di velocità istantaneo per mezzo di “mappe di velocità”, ossia di un database all’interno del veicolo. Nei sistemi più avanzati i sensori del veicolo, o i sistemi di informazione presenti sulla strada, possono fornire delle informazioni aggiuntive in tempo reale.
3. **Determinazione la velocità istantanea del veicolo:** tale velocità viene determinata con il tachimetro, presente in qualsiasi veicolo.
4. **Aiuto o supporto al conducente:** La relazione esistente tra la velocità appropriata e quella istantanea determina l’attivazione del sistema ISA e le modalità di attivazione dello stesso.

Le tre ultime funzioni sono di solito sviluppate dai costruttori di veicoli. Attualmente però non esistono degli standard (imposti dagli organismi di standardizzazione) che assicurino un sistema consistente e compatibile, per cui è probabile che i veicoli siano dotati di sistemi ISA differenti, e soprattutto che non funzionano con i medesimi standard di comunicazione.

Le “funzioni” sopra esposte possono essere realizzate attraverso differenti tecnologie. Le principali alternative sono:

- ✓ ISA basati sulla navigazione autonoma (*autonomous ISA*)
- ✓ ISA basati sui limiti di velocità a bordo strada (*dynamic or co-operative ISA*)
- ✓ Combinazione dei due precedenti



**FIGURA 5-3 - FUNZIONI DI BASE E I FLUSSI DI INFORMAZIONI IN UN SISTEMA ISA**

Negli ISA basati sulla navigazione autonoma - *autonomous ISA* - il veicolo è equipaggiato con un sistema che impiega la navigazione (ossia basato su un GPS) per determinare il limite di velocità e la posizione istantanea. Il sistema a bordo contiene un database di limiti di

velocità, e l'aggiornamento dei dati può avvenire mediante rete wireless o sito web. Il sistema è pertanto interamente contenuto all'interno del veicolo che fa uso dell'infrastruttura esistente per determinare la posizione e realizzare qualunque tipo di comunicazione. Tale tipologia di sistemi non può tenere conto dei limiti di velocità variabili o dinamici (Figura 5-4).

Gli ISA basati sui limiti di velocità a bordo strada - *dynamic or co-operative ISA* – invece il veicolo riceve informazioni relative ai limiti di velocità dai segnali stradali posti a bordo strada. Nelle prove realizzate sono stati collocati dei trasmettitori nei cartelli, però un'alternativa sarebbe installarli sui veicoli e porre nei cartelli esclusivamente delle "etichette passive". Tale tipologia di ISA naturalmente presuppone l'esistenza di una infrastruttura viaria in grado di fornire tale tipo di informazione ai veicoli (Figura 5-5).

È altresì possibile combinare le due tipologie di ISA, utilizzando ad esempio i limiti di velocità della strada ove presenti ed il sistema di navigazione autonoma altrove, oppure una tecnologia per la localizzazione del veicolo e l'altra per l'attualizzazione dell'informazione, ottenendo così maggiore affidabilità, copertura e la capacità di gestire anche i limiti temporanei di velocità o i limiti dinamici.

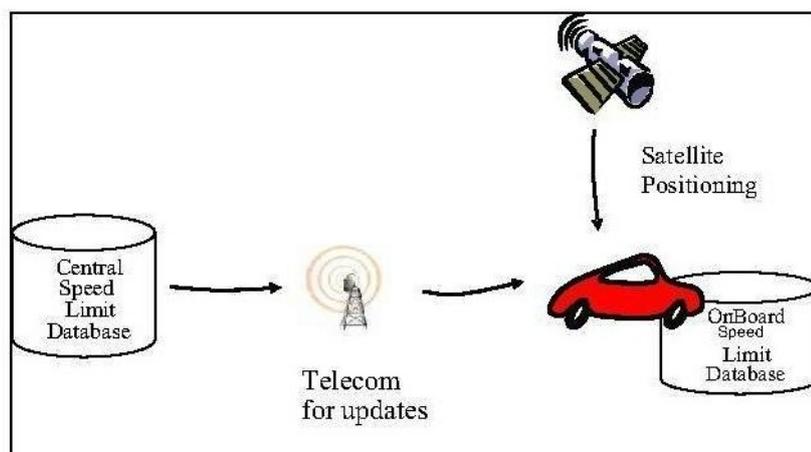


FIGURA 5-4 - ISA BASATI SULLA NAVIGAZIONE AUTONOMA

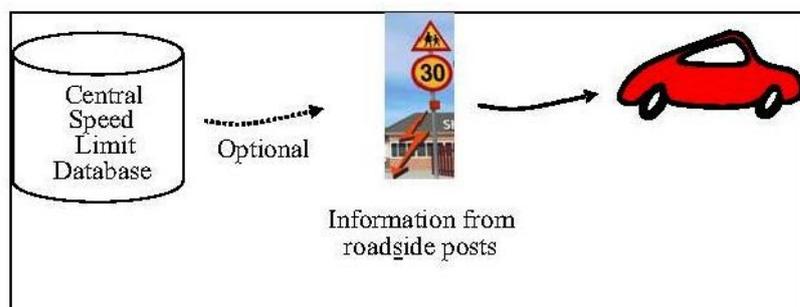


FIGURA 5-5 - ISA BASATI SUI LIMITI DI VELOCITÀ A BORDO STRADA

Finora i sistemi ISA basati sulla navigazione autonoma sono stati considerati la soluzione migliore, sia per la facilità di ricoprire zone ampie, che per l'economicità del sistema per gli enti gestori.

A lungo termine i limiti di velocità dinamici e variabili saranno sempre più diffusi e, con questi, aumenterà la necessità di utilizzare sistemi ISA in grado di gestire tale tipologia di limiti.

Attualmente quasi tutti i paesi membri della UE stanno appoggiando l'utilizzo di sistemi ISA di tipo informativo, mentre nei riguardi dei sistemi ISA di supporto gli orientamenti sono differenti da paese a paese, soprattutto per ragioni legate all'accettazione politica e pubblica di tale tipo di sistemi, oltre che per le problematiche legate alla responsabilità.

### 5.3.3 EFFETTI SPERATI

I sistemi ISA nascono come strumento per ridurre gli incidenti sulla strada e il numero di morti e feriti, mediante la riduzione della velocità dei veicoli.

Grazie infatti agli avvisi al conducente o alla limitazione o l'armonizzazione (ossia alla riduzione di variazione) della velocità, si generano un minor numero di incidenti e la gravità degli incidenti stessi (95), oltre che generare un effetto positivo sull'ambiente grazie alla riduzione delle emissioni di rumore e di ossido di azoto in atmosfera, e alla riduzione di consumo di combustibile (96).

### 5.3.4 PROGETTI E ESPERIMENTI

Numerosi sono stati gli esperimenti effettuati nell'ambito degli ISA nei paesi europei (97) (98).

I primi esperimenti sono stati effettuati in Francia da Malaterre and Saad nel 1984 su un veicolo dotato di un limitatore di velocità (99).

Esperimenti più a larga scala sono stati effettuati in Gran Bretagna, Paesi Bassi e Svezia.

In Gran Bretagna è stato lanciato nel 1997 dai ricercatori dell'Università di Leeds un programma denominato EVSC (External Vehicle Control) (100) che combinava dei test al simulatore e quelli su veicoli equipaggiati con varie tipologie di ISA.

Certamente il progetto pilota più vasto nell'ambito dei sistemi ISA è stato effettuato in Svezia, in quattro città (Borlänge, Lund, Lidköping, Umeå): circa 5000 veicoli sono stati equipaggiati con "tecnologia intelligente" di varie tipologie, in grado di assistere il conducente a mantenere la giusta velocità, tra il 1999 e il 2002 (101).

Nei paesi Bassi è stato svolto un progetto pilota che ha coinvolto 20 veicoli (tra automobili e bus) equipaggiati con ISA tra il 1999 e il 2000 nella città di Tillburg, e 40 conducenti per 8 settimane (102).

Seguendo quanto fatto in Svezia, Paesi Bassi ed Inghilterra, il governo francese ha sviluppato il Progetto LAVIA (103) – nel quale sono coinvolti il dipartimento dei Trasporti, Renault, Peugeot, e ricercatori francesi – con l'obiettivo di testare l'accettabilità e l'utilizzo del sistema tra i conducenti in tutte le sue modalità operative, valutando i cambiamenti nei comportamenti individuali, con particolare attenzione alla misurazione della riduzione di velocità indotta o alle deviazioni dai limiti di velocità e alla stima dell'impatto complessivo sulla sicurezza degli utenti. Le sperimentazioni hanno coinvolto qualche centinaia di conducenti volontari e una zona piuttosto estesa (circa 1000 km tra strade ed autostrade) nei pressi di Parigi.

Se si guarda a tutte queste sperimentazioni dei sistemi ISA, effettuate nei diversi paesi, ci sono almeno due risultati comuni: un buon livello di accettazione di tali sistemi (con un'alta percentuale di conducenti non convinti dei sistemi attivi) e significative riduzioni della velocità e miglioramenti nella sicurezza sulle strade.

Sulla base di tali considerazioni, numerosi enti pubblici ed istituti di ricerca hanno riconosciuto l'importanza dell'uso di tali sistemi, ed in particolare dei sistemi ISA informativi - buon compromesso tra accettazione da parte degli utenti e vantaggi in termini di sicurezza. Nasce dunque la necessità di giungere ad un sistema interoperabile e standardizzato, dovendo superare tutte le difficoltà legate alla costruzione ed aggiornamento di un database di velocità che tenga in conto le estreme variabilità dei dati di ogni paese.

A tal fine sono stati finanziati dall'UE numerosi progetti(104):

- **SpeedAlert** (105): progetto finanziato dalla Commissione Europea per i Trasporti e dalla Direzione Generale dell'Energia (Maggio 2004 – Giugno 2005), si pone come obiettivo principale quello di armonizzare la definizione del concetto di ISA informativi (*in-vehicle speed alert*) e individuare le problematiche principali da

portare avanti a livello europeo, come la costituzione di un database dei limiti di velocità. Il punto di forza di *SpeedAlert* risiede nella partecipazione attiva e contemporanea di figure diverse provenienti sia dal settore pubblico che privato, le quali possono combinare le politiche di trasporto con le prospettive delle aziende per effettuare una ricerca concreta ed efficiente.

Gli obiettivi principali del progetto possono così riassumersi:

- ✓ Stabilire una classificazione comune dei limiti di velocità in Europa, rilevanti per i sistemi ISA di tipo informativo
  - ✓ Identificare il sistema e i servizi necessari per tale tipo di applicazioni
  - ✓ Definire un'architettura funzionale e analizzare il corrispondente supporto tecnico necessario
  - ✓ Armonizzare la definizione del concetto di *speed alert* e mettere a punto una mappatura ad esso associata
  - ✓ Identificare degli standard
  - ✓ Sviluppare la cooperazione e il collegamento con altre attività a livello nazionale ed europeo
- **MAPS&ADAS** (106)(107): sottoprogetto del progetto Integrated Project (IP) PREVENT finanziato dalla EC Direzione Generale dell'Informazione e dei Media (2004 – 2007), ha sviluppato, testato e validato un metodo appropriato nella raccolta, certificazione e mantenimento degli attributi dei sistemi ADAS per consentire lo sviluppo di Mappe ADAS ed un'interfaccia standard tra le applicazioni ADAS e le mappe ADAS per l'accesso ai dati cartografici di posizionamento dei veicoli. In questo progetto le mappe digitali sono considerate come sensori di previsione che estendono l'orizzonte del conducente e quella dei sensori a bordo campo: l'applicazione non si limita agli ISA ma include altri sistemi ADAS come l'assistenza al mantenimento della corsia, l'allarme in curva, l'avviso della presenza di un punto ad elevata incidentalità, etc... Un'importante concetto di Maps&Adas è l'orizzonte elettronico, che descrive il tronco stradale innanzi al veicolo per mezzo degli attributi disponibili, aiutandolo ad anticipare le difficoltà dell'itinerario e fornendo informazioni agli ADAS.
  - **EuroRoadS** (108): progetto finanziato dalla Commissione Europea, Direzione Generale della Società per l'Informazione (Marzo 2004 – Agosto 2006), mira a correggere lo squilibrio esistente tra la necessità di dati per il funzionamento dei sistemi ISA e la mancanza o disuniformità degli stessi, costituendo una piattaforma pan-europea di dati, in grado di migliorare la qualità dei dati, di ridurre il costo e rendere più facile l'integrazione dei dati stradali provenienti da fonti diverse.

- **ROSATTE** (109): è un progetto finanziato dalla EC Direzione Generale dell'Informazione e dei Media (2008 – 2010) che si pone come obiettivo quello di stabilire un sistema per la fornitura di dati (efficiente e di qualità garantita) dagli enti pubblici ai fornitori di mappe commerciali con riferimento ai dati relativi alla sicurezza stradale.

## 5.4 *ADVANCED CRUISE CONTROL (ACC)*

Con il termine *Advanced Cruise Control (ACC)* – o *Intelligent Cruise Control* - s'intendono tutte le estensioni del *Cruise Control* tradizionale, in altre parole tutti quei sistemi in grado di controllare la velocità del veicolo mantenendola al valore di crociera impostato (93).

Gli ACC sono classificati come “*advanced*” poiché non sono solo in grado di mantenere l'assetto del veicolo in funzione della velocità di marcia, ma sono in grado di adattare la velocità del veicolo a quella del veicolo che li precede, e aiutare il conducente a mantenere una distanza di sicurezza “pre-selezionata” rispetto a tale veicolo.

Gli ACC utilizzano un sensore radar/laser frontale che individua il veicolo davanti e adatta di conseguenza la velocità e la distanza da tale veicolo controllando l'emissione del flusso di carburante o frenando leggermente. Il sistema di frenatura attiva può normalmente operare una decelerazione pari al 30% della massima decelerazione possibile; nel caso in cui sia necessaria una decelerazione maggiore, il conducente viene avvisato con un segnale acustico. Qualora il veicolo precedente “più lento” si allontani dalla carreggiata o venga superato, la velocità del veicolo torna alla velocità pre-selezionata come velocità di crociera. Il primo sistema ACC è stato introdotto sul mercato una quindicina di anni fa come *optional* (piuttosto costoso) nei veicoli di gamma alta, mentre oggi è possibile trovarlo in molte tipologie di veicoli. Nonostante ciò, ad oggi è presente in meno dell'1% dei veicoli presenti su strada.

I sistemi ACC sono stati sviluppati principalmente per ragioni legate al confort e alla convenienza piuttosto che per ragioni legate alla sicurezza (soprattutto a causa della questione “responsabilità”), ma nonostante ciò si sono dimostrati avere effetti positivi sulla sicurezza stradale, sull'efficienza dei veicoli e sull'ambiente (110).

## 5.5 *VISION ENHANCEMENT SYSTEMS (VES)*

I sistemi per il miglioramento della visione - *Vision Enhancement Systems (VES)* – hanno lo scopo di aiutare il conducente nella percezione delle informazioni di tipo visivo provenienti dalla strada in condizioni di ridotta visibilità (ad es. di notte, o in caso di nebbia). Tali sistemi

utilizzano i raggi infrarossi per identificare eventuali oggetti innanzi al veicolo e li fanno presenti al conducente rendendoli visibili al conducente (93).

La visibilità ridotta, infatti, costituisce un importante fattore di rischio e influisce in maniera considerevole nella scelta della velocità di marcia da parte dell'utente. Tali sistemi, migliorando la visibilità, possono provocare un incremento delle velocità assolute come conseguenza della riduzione della difficoltà di guida, ma allo stesso tempo l'interazione con tali sistemi può provocare un eccesso di informazioni che può tradursi in una riduzione delle velocità.

Ad oggi gli studi effettuati per valutare gli effetti dei sistemi VES sulla sicurezza sono scarsi, e ancor di più lo sono quelli sugli effetti sulla velocità tenuta dagli utenti.

## 5.6 IN-VEHICLE SPEED ENFORCEMENT SYSTEMS

I sistemi a bordo del veicolo, oltre ad aiutare i conducenti nella scelta della propria velocità di marcia, possono avere un ruolo importante nella riduzione delle violazioni dei limiti di velocità.

I sistemi a bordo infatti possono avere un funzione cruciale nel monitoraggio delle velocità istante per istante e quanto sono integrati con funzioni di sanzionamento è possibile rilevare il 100% delle violazioni dei limiti di velocità(111) e, in funzione del tipo di sistema utilizzato, i sistemi a bordo possono migliorare l'efficienza dei controllo di polizia sul comportamento degli utenti (1).

Tra questo tipo di sistemi è possibile citare:

- I sistemi d'identificazione elettronica del veicolo - *Electronic vehicle identification* (EVI)
- Le scatole nere - *Black boxes o Event Data Recorders* (EDR)

La prima tipologia, nata per ritrovare i mezzi rubati, consente di seguire un veicoli a qualsiasi distanza e potenzialmente è in grado di migliorare le tecniche di controllo su strada (1) (112).

La seconda tipologia invece consente la registrazione dei comportamenti dell'utente e, nel caso degli Event Data Recorder (EDR) registrare esclusivamente le informazioni relative agli incidenti stradali (registra qualche secondo prima, durante e dopo l'incidente). Tali sistemi sono risultati di grande efficacia nella prevenzione delle violazioni al codice della strada e nel miglioramento della sicurezza stradale (113), e un numero consistente di conducenti si sono dimostrati favorevoli a tale tipo di sistemi (114). La problematica principale legata a tale tipologia di sistemi, oltre ai costi (sostenibili in termini di costi-benefici solo per le grandi compagnie di trasporto), è quella legata alla privacy. Qualora si riuscisse a risolvere tale problema, tali sistemi potrebbero avere dei notevoli risvolti positivi nei comportamenti alla

guida legati all'eccesso di velocità (1). Tali sistemi inoltre potrebbero notevolmente legittimare i limiti di velocità e di conseguenza incrementarne il rispetto.

## 6. DEFINIZIONE DELLE *SPEED ZONE*

### 6.1 PREMESSA

La definizione di limiti di velocità localizzati presuppone la suddivisione dell'infrastruttura in tronchi stradali aventi caratteristiche omogenee, comunemente note come *speed zones*.<sup>14</sup>

L'istituzione di *speed zones* - con limiti di velocità maggiormente realistici rispetto ai limiti generali stabiliti per legge – fa sì che i limiti di velocità imposti vengano meglio recepiti e soprattutto vengano maggiormente rispettati e, se correttamente utilizzate, consentono di (115):

- aiutare i guidatori nella scelta di una velocità maggiormente appropriata alle condizioni della strada
- semplificare i controlli da parte di chi ha il compito di vigilare sul rispetto dei limiti, fornendo un'indicazione ragionevole di quale sia una "velocità eccessiva"
- omogeneizzare le velocità di guida dei conducenti
- ridurre la frequenza e la severità degli incidenti, se accoppiate ad una politica di controllo.

La procedura di suddivisione in tronchi omogenei cui è possibile assegnare uno stesso limite di velocità – nota anche come *speed-zoning* – è una procedura complessa: in letteratura sono presenti svariate metodologie e quasi tutte utilizzano la velocità dell'85esimo percentile quale criterio per la segmentazione.

---

<sup>14</sup> "Speed zone - a section of highway with a speed limit that is established by law but which might be different from a legislatively specified statutory speed limit" in Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways – MUTCD" (168)

Si illustrano qui nel seguito alcune linee guida reperite in letteratura per la suddivisione in *speed zones* e l'assegnazione di limiti di velocità ad ognuna di esse.

Si fa presente che viene in questa sede illustrata la procedura di *speed zoning* nel suo complesso, così come riportata nelle procedure di letteratura illustrate nel seguito, ma che, per quanto concerne l'assegnazione del limite di velocità ad ogni tronco omogeneo, sono già state esposte le diverse metodologie nei precedenti capitoli.

## 6.2 LINEE GUIDA E PROCEDURE DI LETTERATURA

### 6.2.1 LINEE GUIDA DELL'ITE

L'Institute of Transportation Engineers (ITE) (115) ha prodotto delle Linee Guida al fine di fornire una base per l'applicazione di principi ingegneristici alla procedura di *speed zoning*. Le indicazioni fornite sono le seguenti:

1. **Le *speed zones* vanno stabilite esclusivamente sulla base di studi ingegneristici:** ogni *speed zone* deve essere periodicamente revisionata per accertare che il limite di velocità imposto sia appropriato; il massimo intervallo previsto tra una revisione ed un'altra è di 5 anni. Inoltre, ad ogni cambiamento della strada che possa influire sulla velocità, andrà effettuato un nuovo studio ingegneristico.
2. **Lo studio ingegneristico include un'analisi della attuale distribuzione delle velocità in condizioni di flusso libero:** il limite di velocità in una *speed zone* può essere fissato al più prossimo limite superiore - di 5 MPH<sup>15</sup> - della velocità dell'85esimo percentile o al più prossimo limite superiore del "*10 MPH pace*"<sup>16</sup>, che è quel valore di velocità tenuto dalla più alta percentuale di viaggiatori entro un range di velocità di 10 mph. Inoltre in un tronco in cui la velocità dell'85esimo percentile differisce dai limiti di velocità imposto di +/- 3 MPH non va determinata alcuna *speed zone*; i limiti di velocità imposti in una *speed zone* non vanno modificati se la velocità dell'85esimo percentile differisce dal limite generale di +/- 3 MPH.
3. **Lo studio ingegneristico può includere anche altri fattori, quali:**
  - Caratteristiche geometriche della strada – allineamento verticale ed orizzontale e distanze di visibilità
  - Caratteristiche dei margini stradali in termini di "sviluppo urbano"
  - Caratteristiche superficiali della strada e delle banchine
  - Presenza di pedoni e ciclisti

<sup>15</sup> I limiti di velocità in miglia orarie (MPH) sono multipli di 5 MPH o 10 MPH (168)

<sup>16</sup> "*Pace - The 10 MPH band of travel speeds containing the largest number of observed vehicles*" (115)

- Limiti di velocità in tronchi stradali adiacenti
- Incidentalità

In nessun caso comunque il limite di velocità imposto potrà scendere al di sotto della velocità del 67esimo percentile delle velocità in condizioni di flusso libero.

4. **Le *speed zones* non vanno utilizzate per avvisare gli automobilisti di particolari condizioni di pericolosità dell'infrastruttura.** Qualora sia presente una qualche situazione di pericolo nel tronco stradale in esame, andrà corretta o dovrà essere apposto un idoneo segnale di pericolo oltre all'apposita segnaletica di indicazione del limite di velocità imposto.
5. **Il controllo delle velocità con l'istituzione di *speed zone* deve essere uniforme:** dovrebbero essere effettuati degli sforzi per coordinare l'implementazione delle *speed zones* e le politiche di repressione con gli enti gestori.

Non vengono fornite però delle indicazioni precise relativamente a come delimitare le *speed zones*.

#### 6.2.2 PROCEDURA DEL TXDOT

I Dipartimenti dei Trasporti di alcuni stati degli USA hanno pubblicato delle proprie linee guida o manuali per aiutare gli enti gestori nella individuazione delle *speed zones* e nella valutazione della velocità dell'85esimo percentile.

Il più dettagliato è quello del Dipartimento dei Trasporti del Texas (TXDOT) (116), che fornisce una procedura particolareggiata per la determinazione delle *speed zones*, che viene qui di seguito riportata.

Secondo il TXDOT lo studio dovrà interessare l'intera lunghezza della zona individuata e dovrà riguardare:

- La determinazione della velocità dell'85esimo percentile
- Uno studio degli incidenti
- Lo sviluppo di "*strip maps*"
- La progettazione delle *speed zones*
- Il controllo delle *speed zones*

Il limite di velocità da utilizzare in ogni singola *speed zone* - stabilito come risultato di uno studio ingegneristico – dovrà essere basato sull'utilizzo della velocità dell'85esimo percentile, valore di velocità alla quale o al di sotto della quale l'85% degli automobilisti guida il proprio veicolo.

L'utilizzo di tale valore è basato sull'assunto che:

- la maggior parte dei conducenti:

- ✓ siano responsabili e prudenti
  - ✓ non vogliano avere incidenti
  - ✓ desiderino raggiungere la propria destinazione nel minor tempo possibile.
- una velocità pari o inferiore alla velocità dell'85esimo percentile tenuta dai conducenti in qualsiasi sito, in presenza di buone condizioni meteorologiche e di buona visibilità, possa essere considerato come la velocità massima di sicurezza di tale luogo.

Nella determinazione della velocità dell'85esimo percentile i rilievi di velocità risultano di fondamentale importanza e vanno effettuati:

- ✓ in luoghi che siano rappresentativi di un determinato tronco stradale,
- ✓ nei giorni feriali
- ✓ nelle ore di punta
- ✓ in condizioni meteorologiche favorevoli,

e devono includere solo veicoli in condizione di flusso libero – ovvero quella per la quale i guidatori non sono soggetti a rallentamenti da parte di altri utenti della strada, e conducono il proprio veicolo alla velocità desiderata lungo la sezione di interesse in cui vengono effettuate le misure - ed interessare almeno 100 veicoli.

Per la determinazione di *speed zone* è fondamentale inoltre la preparazione di *strip maps* su cui annotare e registrare tutte le informazioni relative alla *speed zone*. In Figura 6-1 è riportato un esempio di *strip map* fornita dal TxDOT. Su ogni *strip map* andranno registrate le informazioni contenute in Tabella 6-1.

Per quanto concerne la lunghezza di ogni singola *speed zone*, questa dovrebbe essere più lunga possibile in accordo alla velocità dell'85esimo percentile, generalmente superiore alle 0.2 miglia (300 metri circa).

La differenza di velocità tra due *speed zone* adiacenti non dovrebbe mai superare le 15 MPH (20 km/h): un cambiamento brusco e repentino di velocità potrebbe essere pericoloso per la sicurezza dei guidatori. Se ciò dovesse accadere va inserita, tra le due *speed zones*, una zona di transizione di almeno 300 metri.

Per quanto riguarda il limite di velocità nei diversi sensi di marcia:

- nelle strade a carreggiate separate (*divided highways*) le velocità potranno essere poste utilizzando la velocità dell'85esimo percentile, anche se differenti per i differenti sensi di marcia;
- nelle strade ad unica carreggiata e doppio senso di marcia, le velocità dovranno invece essere uguali nelle due opposte direzioni, anche per semplificare i controlli di polizia.

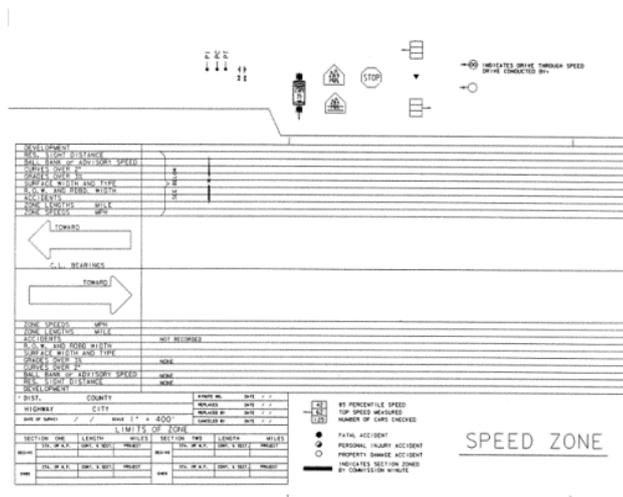


FIGURA 6-1 – STRIP MAP DA COMPILARE, TxDOT (116)

Se il limite di velocità tra due *speed zones* adiacenti – e dunque la velocità dell’85esimo percentile misurata – è molto vicino (entro le 7 MPH), potrà essere determinata un’unica *speed zone* con un limite di velocità pari alla media delle due velocità.

In caso di tronchi stradali con un tasso d’incidentalità più elevato rispetto alla media per lo stesso tipo di strada, il limite di velocità può essere inferiore - fino a 7 MPH – rispetto alla velocità dell’85esimo percentile.

Il limite di velocità relativo ad una *speed zone* inoltre può essere diminuito rispetto alla velocità dell’85esimo percentile fino a 10 MPH (e 12 MPH per tronchi con un elevato tasso d’incidentalità), nei seguenti casi particolari:

- ✓ carreggiata molto ristretta (20 piedi o meno);
- ✓ curve verticali ed orizzontali che limitano la visuale libera;
- ✓ presenza di accessi o intersezioni poco visibili;
- ✓ presenza di un numero elevato di accessi o intersezioni;
- ✓ elevato tasso d’incidentalità;
- ✓ presenza di aree commerciali o residenziali;
- ✓ mancanza di segnaletica orizzontale e/o di banchine.

**TABELLA 6-I – INFORMAZIONI DA REGISTRARE SULLE STRIP MAPS (116)**

Information Item	Notes
Name and highway number of the route to be zoned	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Show all names and/or highway numbers if the route has more than one name and/or highway number.</li> <li>◆ Indicate sections to be zoned by Transportation Commission minute order with a wide center line on the strip map.</li> </ul>
Crossroads and cross streets	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Show all names and highway numbers if the crossroads and cross streets have more than one name and carry one or more highway designations.</li> <li>◆ Show numbered highway routes by wider lines than those used for county roads and city streets.</li> </ul>
Limits of the speed zone	Indicate reference marker and milepoint and control and section numbers. Reference markers are generally in even two-mile increments, for example: 100, 102, 104. Speed zones or distances will be measured plus or minus from the reference marker. EXAMPLE: 102+1.343
Adjoining speed zone(s) of connecting map(s)	-
Limits of any incorporated city or town	Show reference marker and milepoint and control and section numbers for these points.
Names and approximate limits of the developed area of unincorporated towns	Indicate by "beginning of developed area" and "end of developed area" under the heading, "Development" — not as "city limits."
Urban districts	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Indicate any urban district clearly under the heading "Development."</li> <li>◆ Urban district is defined in the <i>Texas Uniform Act Regulating Traffic on Highways</i> as "the territory contiguous to and including any highway or street which is built up with structures devoted to business, industry or dwelling houses, situated at intervals of less than 100 feet for a distance of 0.25 mile or more on either side."</li> </ul>
Schools and school crossings	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Show only those schools abutting the highway.</li> <li>◆ Show location of schools.</li> <li>◆ Show all school crosswalks.</li> </ul>
Traffic signals	Show location of existing devices to aid in proper spacing and placement of speed zone signs.
Important traffic generators	Show all factories, shopping centers/malls, and any other establishments that attract large volumes of traffic.
Ball bank readings	Show each direction of travel for all curves having a safe speed of 10 miles per hour or more below the statewide maximum speed limit.
Railroad crossings	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Indicate the number of tracks and type of grade crossing protection (crossbucks, cantilevers, crossbucks with signals, gates).</li> <li>◆ Show the name of the railroad at each crossing.</li> </ul>
Bridges	Indicate if the roadway on the bridge is narrower than the roadway on either side of it.

In ogni caso la determinazione di una variazione rispetto al valore dell'85esimo percentile delle velocità per uno specifico tronco deve essere basato su studi ingegneristici. Qualora si verifici una delle precedenti situazioni particolari – per cui è possibile ridurre la velocità rispetto a quella dell'85esimo percentile - vanno tenute altresì in conto quanto è stato annotato sulle strip maps.

Le *speed zone* non vanno inoltre considerate come “permanenti” ma devono essere revisionate ogni qual volta si verifica un cambiamento sul tronco stradale (interventi strutturali sulla strada, incremento dello sviluppo urbano al margine della stessa, incrementi dei volumi di traffico, etc...), e periodicamente, ad intervalli che vanno dai 5 ai 10 anni, in funzione del tipo di strada.

I segnali indicanti i limiti di velocità devono essere posti all’inizio e lungo lo sviluppo di ogni singola *speed zone*.

### 6.2.3 LINEE GUIDA DEL NEW SOUTH WALES GOVERNMENT

Altre Linee Guida per la procedura di *speed zoning* sono state pubblicate dal New South Wales Government in Australia (117).

Queste si concentrano maggiormente sulla procedura di revisione dei limiti di velocità localizzati, fornendo alcuni principi e “*step*” da seguire per una corretta *speed zone review*.

Nella revisione dei limiti di velocità localizzati vanno tenuti in conto i seguenti principi:

- i limiti di velocità non devono eccedere il massimo limite legale per la tipologia di strada, tenendo in conto l’entità e la natura delle attività della zona così come delle caratteristiche della strada stessa;
- i limiti di velocità non dovrebbero essere determinati/ridotti per criticità isolate;
- i limiti di velocità dovrebbero favorire una velocità di marcia uniforme dei veicoli;
- la necessità di un limite localizzato dovrebbe essere evidente per gli utenti;
- l’istituzione di *speed zone* dovrebbe essere ridotta al minimo, bilanciando la necessità dell’istituzione di una nuova *speed zone* con la possibile confusione causata da cambiamenti frequenti

Nell’istituzione di limiti localizzati vanno tenuti in conto i seguenti fattori:

- Tipologia di strada: funzione di trasporto della strada e tipologia di utenti
- Sviluppo urbano a margine della strada
- Caratteristiche della strada, quali:
  - ✓ Andamento verticale o orizzontale
  - ✓ Presenza di accessi
  - ✓ Presenza di “pericolosità isolate”
  - ✓ Larghezza della corsia
  - ✓ *Speed zone* adiacenti
- Presenza di intersezioni
- Caratteristiche del traffico

Al fine di evitare eccessive variazioni di limiti di velocità lungo la strada, deve essere effettuato un “bilanciamento” tra:

- Sviluppo urbano a margine della strada
- Sviluppo chilometrico della strada
- Numero di cambiamenti del limite di velocità

Tenendo conto di questi tre fattori è stata stabilita la lunghezza minima per una *speed zone* in funzione del limite di velocità che si intende imporre (Tabella 6-II).

**TABELLA 6-II – LUNGHEZZE MINIME PER LE SPEED ZONE (117)**

LIMITE DI VELOCITÀ [KM/H]	MINIMA LUNGHEZZA CONSIGLIATA [KM]
40	0.2
50 (LIMITE URBANO)	NON APPLICABILE
60	0.5
70	2.0
80	2.0
90	2.0
100	3.0
110	10.0

Vengono poi forniti i “10 passi chiave” da effettuare nella procedura di istituzione o review di limiti di velocità (Figura 6-2):

1. Ricevere richieste o identificare la necessità dell’istituzione/revisione di una *speed zone*: in caso di limiti non più applicabili, limiti non più adeguati al tipo di contesto, richieste della comunità, *speed zone* di lunghezza non adeguata (Tabella 6-II).
2. Condurre un’analisi d’incidentalità: su tutta la lunghezza del tronco effettuando le seguenti operazioni
  - ✓ Raccogliere un minimo di 3 anni di dati d’incidente
  - ✓ Stabilire se esistono alcuni fattori tra quelli presi in considerazione che possono rendere inaffidabili i dati d’incidentalità
  - ✓ Identificare i fattori di rischio (come il giorno, l’ora del giorno, il coinvolgimento di pedoni o di alcool, i veicoli pesanti, etc...)
  - ✓ Determinare la scala del problema, identificando il tasso d’incidentalità con riferimento a dati locali
3. Effettuare un’ispezione del sito: registrare tutte gli elementi rilevanti quali
  - ✓ Localizzazione (mediante GPS)
  - ✓ Limiti di velocità esistenti

- ✓ Andamento verticale e orizzontale, delineazione, velocità in curva, etc...
- ✓ Numero e tipo di intersezioni
- ✓ Numero, tipologia e utilizzo degli accessi
- ✓ Roadside hazard<sup>17</sup> e clear zone<sup>18</sup>
- ✓ Tipologia di sezione stradale (margini, numero di corsie, larghezza delle corsie, spartitraffico, etc...)
- ✓ Attività presenti ai margini
- ✓ Tipologia di traffico

e sulla base di queste informazioni identificare un tronco stradale in cui sia possibile applicare un unico limite di velocità (tenendo altresì in conto la lunghezza minima di ogni *speed zone*).

4. Effettuare misure di velocità: considerare le velocità tenute dagli utenti secondo una delle seguenti procedure:
  - ✓ Misure standard: per strade di limitata importanza, utilizzando un campione di almeno 100 veicoli e con strumenti radar o laser;
  - ✓ Misure con “floating car”: utilizzando un veicolo che misuri la velocità dei veicoli che segue
  - ✓ Misure di 7 giorni, 24 ore su 24: con misuratori di velocità in grado di isolare i profili di velocità.
5. Revisionare i dati sulla base delle analisi, delle ispezioni e delle misure, considerando la lunghezza minima: determinare un limite di velocità considerando i 4 step precedenti; definire un punto di inizio e di fine della *speed zone* così come eventuali modifiche da apportare alla strada se va modificato il limite di velocità, tenendo in considerazione la lunghezza minima per la *speed zone* (Tabella 6-II).
6. Consultare gli utenti: discutere lo *speed zoning* proposto con i gestori della rete stradale, i gestori del traffico, i centri di sicurezza stradale, etc... focalizzando i seguenti aspetti dello *speed zoning*:
  - ✓ conoscenza degli incidenti o di altri fattori relazionati con la sicurezza stradale
  - ✓ risultato del processo di revisione

e prendere una decisione considerando i commenti ricevuti.

<sup>17</sup> Per *Roadside Hazard* si intendono tutti quei possibili pericoli posti a margine delle sede stradale come alberi ed altri ostacoli fissi, scarpate ad elevata pendenza, etc...

<sup>18</sup> “Clear Zone—the total roadside border area, starting at the edge of the traveled way, that is available for an errant driver to stop or regain control of a vehicle. This area might consist of a shoulder, a recoverable slope, and/or a nonrecoverable, traversable slope with a clear run-out area at its toe.” (168)

7. Effettuare una seconda ispezione del sito e localizzare la nuova segnaletica: effettuare nuovamente quanto esposto allo step 3 e:
  - ✓ Revisionare la localizzazione della segnaletica proposta, verificando le distanze di visibilità e verificando che non ci sia conflitto con altri segnali o ostacoli fissi.
  - ✓ Considerare la crescita della vegetazione
  - ✓ Tracciare la localizzazione della nuova segnaletica (riferimenti GPS)
  - ✓ Annotare l'esatta collocazione della segnaletica da rimuovere
  - ✓ Richiedere eventuali interventi di manutenzione straordinaria (es. taglio di vegetazione)
8. Richiedere l'autorizzazione all'istituzione della *speed zone* (SZA – *Speed Zoning Authorization*, secondo quanto previsto dalla normativa nazionale)
9. Informare gli utenti: notificare agli enti locali ed agli utenti in cambiamenti effettuati nello *speed zoning*
10. Controllo post-installazione: effettuare un controllo dopo l'installazione al fine di assicurarsi che tutta la segnaletica sia stata installata e rimossa come suggerito e che il posizionamento della nuova segnaletica sia stato correttamente registrato (localizzazione GPS e data e ora di installazione).

Il valore della velocità dell'85esimo percentile in questo caso, pur essendo considerato un valore utile nella progettazione, implementazione e valutazione di strategie di *speed management* per la riduzione delle velocità sulle strade, non viene considerato quale indicatore di un limite di velocità sicuro.

Viene inoltre preso in considerazione il caso in cui la velocità dell'85esimo percentile possa essere superiore al limite di velocità legale della strada: in questo caso viene consigliato di adottare alcuni provvedimenti per abbassare la velocità tenuta dagli utenti.

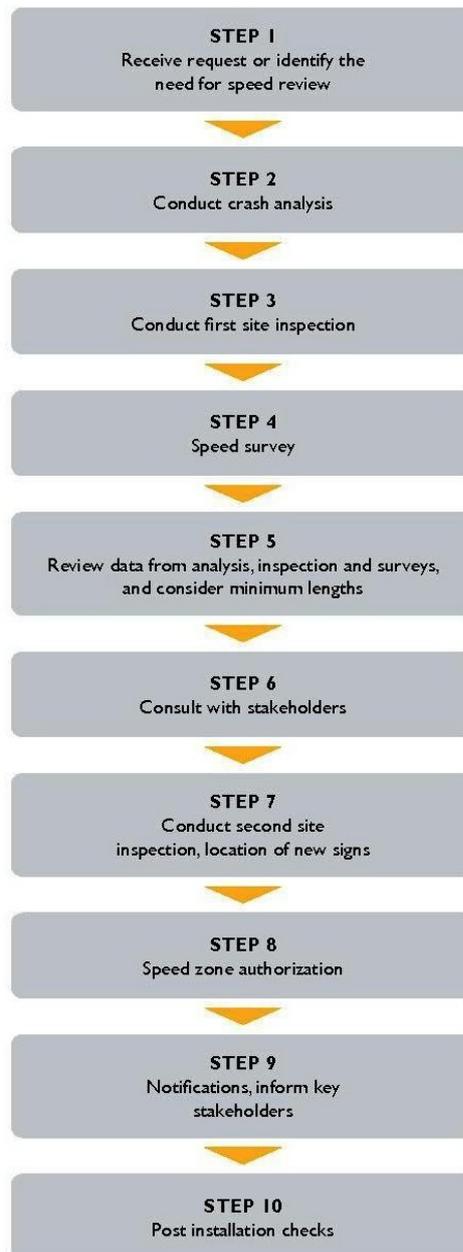


FIGURA 6-2- PROCEDURA DI REVISIONE DELLE *SPEED ZONES* (117)

### 6.3 CONSIDERAZIONI SULL'APPLICABILITÀ DI TALI METODOLOGIE

Le procedure di letteratura e le linee guida di alcuni stati fin qui esposte fanno largo uso della velocità dell'85esimo percentile, sia come valore sulla base del quale effettuare la suddivisione in tronchi omogenei, che come valore di riferimento per l'individuazione del limite di velocità più adeguato.

Per quanto riguarda il secondo aspetto, in questo capitolo richiamato esclusivamente in quanto strettamente correlato alla procedura di individuazione dei tronchi omogenei, si è già fatto rilevare come tale valore non viene considerato un valore sicuro (come ad es. nel caso della procedura consigliata dal NSW) e come spesso sia superiore al massimo limite di velocità previsto per quella determinata tipologia di strada e pertanto sia impossibile utilizzarlo per l'individuazione di limiti di velocità lungo le stesse.

Per quanto riguarda l'individuazione delle *speed zone* invece, (essendo la velocità dell'85esimo percentile il valore di velocità al quale o al di sotto del quale l'85% degli automobilisti guida il proprio veicolo) si è visto come tale valore costituisca un importante indicatore della percezione che l'utente ha dell'ambiente stradale. Tale valore pertanto - dipendente dal tipo di strada, dalle sue caratteristiche geometriche e dalla abituale condotta di guida degli utenti in relazione alla strada stessa - se associato ad altri fattori (legati alla geometria dei tronchi stradali o ad altre caratteristiche degli stessi) può dimostrarsi un indicatore preferenziale per la suddivisione in tronchi omogenei.

# 7. I MODELLI MULTI-CRITERIALI E IL DRSA

## 7.1 PREMESSA

La complessità insita in numerosi problemi decisionali “reali” comporta la ricerca e l’adozione di una metodologia adeguata alla risoluzione degli stessi e che sia dunque in grado di considerare la molteplicità e la conflittualità degli obiettivi propri di questo tipo di problemi.

La risoluzione di un problema decisionale reale, infatti, è un processo alquanto complesso, che impone in primo luogo la valutazione delle interazioni e dei conflitti esistenti tra i vari fattori coinvolti, ed in secondo luogo la valutazione dei possibili scenari e degli effetti delle possibili decisioni. La risoluzione del problema si complica ulteriormente quando “il decisore” non è un unico individuo, ma è rappresentato da una pluralità di persone o di istituzioni, che affrontano il problema da diversi punti di vista o con obiettivi differenti.

Appare evidente dunque come, per la risoluzione di tale tipo di problemi, sia necessario disporre di un appropriato approccio metodologico, in grado di adattarsi ai dati disponibili, che possa rappresentare fedelmente le scelte del decisore, che sia in grado di cogliere fenomeni di interazione e conflittualità fra i vari fattori in gioco e che possa infine “difendere” gli specifici interessi emergenti nel corso del processo decisionale.

Da qui nasce il sempre crescente interesse della Ricerca Operativa verso lo sviluppo di **analisi di tipo “multi-criteriale”**, in grado di considerare simultaneamente vari criteri, al fine di assicurare uno sviluppo del processo decisionale orientato alla ricerca di una “accettabile soluzione di compromesso”.

## 7.2 LA RICERCA OPERATIVA E I PROBLEMI DI DECISIONE

La Ricerca Operativa, definita “scienza delle decisioni”, fa uso di metodi matematici per fornire un’impostazione quantitativa e modellistica nell’analisi del processo decisionale. Essa “ha lo scopo di fornire basi razionali al processo decisionale, cercando di comprendere e strutturare situazioni complesse ed utilizzare questa comprensione per prevedere il comportamento dei sistemi e migliorare le loro prestazioni” (118).

Nella formulazione tradizionale di un problema di decisione si ha un insieme ben definito di scelte ammissibili, e un’unica *funzione obiettivo* a valori reali (detta anche *criterio*) che riflette le preferenze del decisore (*decision maker-DM*): in questo caso il problema matematico è descritto nei termini di una funzione obiettivo da massimizzare nel rispetto degli eventuali vincoli, e la soluzione del problema è costituita dall’alternativa che massimizza (o minimizza) la funzione obiettivo.

Tale tipo di approccio, essenzialmente mono-criteriale, costituisce però una forte astrazione, che non permette di modellare la pluralità di obiettivi generalmente perseguiti dal decisore nei problemi della vita reale. L’analisi costi-benefici s’inserisce in questo contesto, con le ulteriori complicazioni e forzature dovute alla presenza di effetti difficilmente quantificabili o valutabili in termini monetari, o all’implicita assoluta compensazione tra effetti positivi e negativi.

Oggi sono presenti in letteratura numerosi approcci ai problemi di decisione che differiscono dalle tecniche tradizionali e che, piuttosto che utilizzare un’unica *funzione obiettivo*, considerano un “insieme di obiettivi” rappresentati da funzioni reali (*criteri*) aggregati per mezzo di una *funzione di utilità*, rendendone possibile il confronto (sulla base del principio che maggiore è l’utilità complessiva e migliore sarà l’alternativa considerata). Il problema matematico pertanto si riconduce a trovare l’alternativa o le alternative che massimizzano la funzione di utilità, che diviene la “soluzione di compromesso”.

Tale metodologia è comunemente nota come **Multiple Criteria Decision Making** (MCDM) e, pur rientrando in un approccio classico, rappresenta un modo più realistico di trattare i problemi di decisione, rendendo esplicite le preferenze preesistenti nella mente del decisore. Tale tipologia di sistemi però presenta alcune limitazioni, che possono così essere riassunte (119):

- l’insieme delle azioni ammissibili è spesso proposto in maniera non precisa;
- le preferenze del decisore non sono sempre ben stabilite (e dunque due alternative non sono sempre confrontabili)
- i dati coinvolti nei problemi di decisione sono spesso incerti a causa della casualità delle informazioni disponibili

- la validazione della soluzione può essere basata solo su un modello matematico (trascurando ad es. aspetti organizzativi e culturali legati al processo di decisione).

Sulla base di queste considerazioni è stata proposta una nuova formulazione del processo di decisione, definita **Multiple Criteria Decision Aid** (MCDA) – ovvero aiuto multi-criteriale alla decisione – in cui l’analista aiuta il decisore a costruire i propri convincimenti e ad ottenere una appropriata “raccomandazione” per il problema di decisione affrontato, lasciando poi al decisore medesimo la decisione finale. Con questo tipo di approccio il problema di decisione si configura come segue (119):

- ✓ **definizione di un insieme di azioni potenziali**, non necessariamente stabile (ma che può evolversi ed essere modificato dal decisore stesso), tra cui considerare anche azioni “ideali”, che possono essere utilizzate come termini di confronto
- ✓ **individuazione di un insieme di criteri** che consenta di rappresentare correttamente il problema (compresi differenti punti di vista, le incertezze del decisore, etc...)
- ✓ **modellazione di un problema matematicamente non ben definito** di cui non esiste alcuna funzione da ottimizzare, ma che consenta di confrontare azioni potenziali sulla base dei criteri considerati al fine di far evolvere coerentemente il problema decisionale.

L’aiuto multi-criteriale alla decisione (MCDA) si propone di fornire al decisore degli strumenti che gli consentano di procedere nella soluzione di un problema di decisione, tenendo in considerazione una pluralità di punti di vista, spesso in conflitto tra loro, rappresentati da criteri o attributi.

In tale tipo di sistemi, la raccomandazione finale o la decisione, sono il risultato di un processo che consta delle seguenti quattro fasi (120) (Figura 7-1):

1. definizione delle azioni che devono essere prese in considerazione e formulazione del problema di decisione
2. individuazione dei punti di vista da considerare e modellazione delle preferenze del decisore rispetto ad ognuno dei punti di vista
3. sintesi delle informazioni disponibili in un modello complessivo che consenta di aggregare le preferenze
4. applicazione di una procedura che consenta di ottenere una raccomandazione per il problema di decisione considerato.

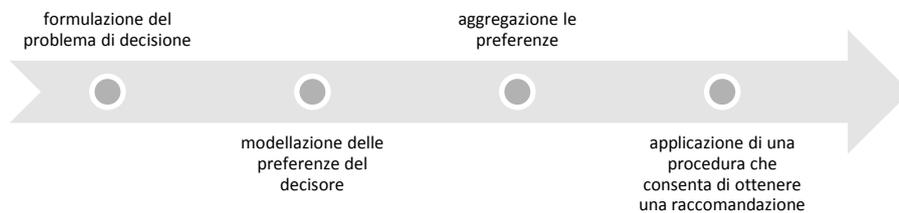


FIGURA 7-1 – SINTESI DEL PROCESSO DI AIUTO MULTI-CRITERIALE ALLA DECISIONE

L'approccio multi-criteriale è caratterizzato dai seguenti punti di forza:

- ✓ migliora la trasparenza e la coerenza del processo decisionale
- ✓ definisce, precisa e mette in evidenza il peculiare ruolo del decisore
- ✓ usa tutte le informazioni che il decisore può (e vuole) fornire per costruire un modello quanto più fedele possibile alle sue preferenze.

Per operare una scelta all'interno di un insieme di alternative possibili, oltre a stabilire dei criteri con cui operare la scelta, è necessario valutare la rilevanza di tali criteri sulla base delle preferenze del decisore.

Mentre i dati del problema sono noti (anche se alcuni solo in forma qualitativa), le preferenze del decisore non sono normalmente note a priori ed il decisore stesso le conosce, quantomeno in una prima fase, solo in modo molto impreciso.

Un passo fondamentale dell'analisi multi-criteriale delle decisioni è trovare il modo di "esprimere" le preferenze del decisore, ovvero di modellare le preferenze.

Nell'approccio classico si dà per scontata la possibilità di modellare tali preferenze per mezzo di una funzione di utilità, che assegna ad ogni azione un valore crescente con la "preferibilità" dell'azione considerata rispetto ad un determinato punto di vista. Quest'approccio prevede implicitamente che, date due azioni, queste possono sempre essere messe a confronto e sia possibile preferirne una.

Nei problemi reali però non sempre è possibile confrontare due azioni, e non sempre vale la transitività dell'indifferenza<sup>19</sup> o della preferenza<sup>20</sup> (Paradosso di Condorcet<sup>21</sup>).

<sup>19</sup> Transitività dell'indifferenza: se A e B sono indifferenti, e B e C sono indifferenti, allora anche A e C sono indifferenti.

<sup>20</sup> Transitività della preferenza: se A è preferita a B, e B è preferita a C, allora anche A è preferita a C.

<sup>21</sup> Paradosso di Condorcet: situazione indicata dal Marchese de Condorcet alla fine del XVIII secolo, nella quale le preferenze collettive possono essere cicliche (cioè non transitive) anche se le preferenze dei votanti non lo sono individualmente **Specificata fonte non valida.**

Per questa ragione si è abbandonata l'assunzione aprioristica dell'esistenza di una funzione di utilità (marginale o complessiva) - che diviene solo una delle possibili rappresentazioni delle relazioni binarie di preferenza - e si è spostata l'attenzione sulle proprietà delle relazioni binarie di preferenza e sulle conseguenti rappresentazioni numeriche, con cui si possono rappresentare situazioni molto più variegata e realistiche di quelle rappresentate dalla classica funzione di utilità (Figura 7-2).



FIGURA 7-2 – DIFFERENTI APPROCCI ALL'ANALISI MULTI-CRITERIALE DELLE DECISIONI

Tra i metodi multi-criteriali, sulla base dei modelli di aggregazione delle preferenze utilizzati, è possibile individuare :

- ✓ **Modelli funzionali:** modelli dell'utilità multi-criteriale (*Multiattribute Utility Theory* – MAUT), applicati alla teoria multi-attributo.
- ✓ **Modelli relazionali:** la cui rappresentazione più largamente conosciuta è nella forma di una relazione binaria di surclassamento (out ranking) o di una relazione di tipo fuzzy
- ✓ **Modelli interattivi:** basati sul susseguirsi di fasi di discussione tra l'analista e il decisore e fasi di calcolo
- ✓ **Modelli basati su regole decisionali:** in cui le preferenze del decisore sono rappresentate mediante una serie di regole del tipo "se.... allora..."

In Figura 7-3 è rappresentata una schematizzazione dei principali modelli multi-criteriali e i metodi più utilizzati di ognuno di essi.

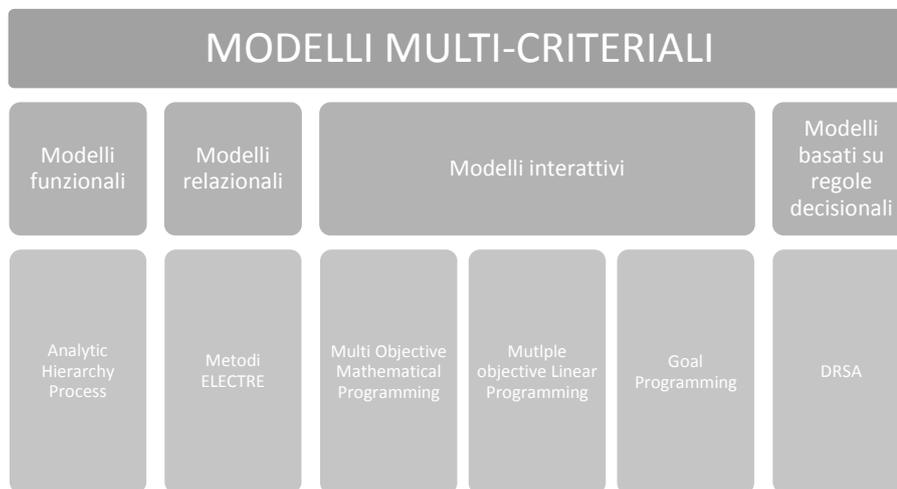


FIGURA 7-3 – PRINCIPALI MODELLI MULTICRITERIALI PER L'ANALISI DELLE DECISIONI

## 7.3 DOMINANCE-BASED ROUGH SET APPROACH (DRSA)

### 7.3.1 INTRODUZIONE

Il Sistema di Supporto alle Decisioni proposto nel presente lavoro è basato sull'applicazione della teoria conosciuta con il nome di **Dominance-based Rough Set Approach (DRSA)** (121) (122) (123) (124) (125) (126) (127).

Il DRSA è un'evoluzione della teoria classica dei Rough Set (**Classical Rough Set Approach - CRSA**), formulata da Pawlak nel 1982 (128), e successivamente sviluppata dallo stesso ideatore dal 1991 in poi grazie all'avvento dei moderni calcolatori. Tale teoria nasce come strumento matematico per lo studio e l'analisi di oggetti o azioni, descritti da attributi incerti, inconsistenti o ambigui, che possono essere considerate come scelte di un decisore o più decisori a fronte di diverse situazioni cui si chiede di dare risposta.

La filosofia alla base dei metodi *rough* si basa sull'assunzione che ogni oggetto (che in questo caso è la scelta da parte di un decisore) è associato a un certo numero d'informazioni (gli attributi che regolano la scelta) usate per descrivere l'oggetto stesso.

Su questo concetto di base Pawlak ha formulato la teoria nota come Teoria Classica (CRSA), basata sul concetto d'*indiscernibilità*, ovvero sul fatto che due oggetti con la stessa descrizione, in termini di attributi, sono indistinguibili per quanto riguarda l'informazione fornita. Questa relazione d'indiscernibilità costituisce la base della teoria dei *rough-set*,

teoria che cerca di estrapolare dai dati osservati delle regole più o meno generali sfruttando la granularità o atomicità delle informazioni.

Nella loro formulazione originaria, dopo i recenti sviluppi del metodo ribattezzata Classical Rough-set Approach (CRSA), i *rough-set* sono complementari e si intersecano con molte altre teorie matematiche e tecniche per l'impiego di informazioni imperfette, come ad esempio la teoria delle probabilità, la teoria dei numeri fuzzy ed altre. Sono da citare ad esempio gli studi dello stesso Pawlak sui *rough-set* e la probabilità (129)(130) e quelli di Dubois e Prade (131) e Słowiński (132) sulle relazioni fra fuzzy sets e *rough-set*.

Esistono inoltre numerose applicazioni nei più svariati campi, dalla medicina, alle analisi ambientali, alle previsioni dei terremoti.

Sono stati sviluppati inoltre diversi tentativi di applicare i *rough-set* alle teorie di scelta, sempre da Pawlak e Słowiński (133) (134), nonostante l'approccio classico non sia in grado di operare in caso di attributi con un ordine di preferenza sulle scelte. Proprio questo limite ha rappresentato la svolta del metodo, con un'evoluzione in questo senso.

I successivi sviluppi sono stati proprio rivolti a risolvere questo limite, ovvero l'impossibilità di stabilire una relazione d'ordine fra attributo e oggetto Greco, Matarazzo e Słowiński hanno pertanto "modificato" la teoria classica, sfruttando la cosiddetta **relazione di dominanza** e rendendo possibili le relazioni d'ordine fra scelta e attributi. Tale modifica della teoria è comunemente nota come *Dominance-based Rough Set Approach* (DRSA) e nasce per applicazioni di **analisi multi-criteriale**, ma può essere applicata a tutti i campi in cui esista una correlazione fra oggetto e attributo.

A partire quindi dal primo contributo (135) sono seguiti altri, e numerosissime applicazioni in altri campi, come gli utilizzi in campo economico, quelle relative Metodi di Decisione Multi-criteriale, oltre che numerosi altri campi di applicazione degli stessi autori (136) (137) (138), oltre ad applicazioni congiunte alla teoria dei numeri fuzzy (139) (140) (141) (142) (143) (144) (145) (146). Comunque i principali sviluppi del metodo si sono orientati verso la scelta multi-criteriale, e ai problemi di classificazione.

Le ultime estensioni del DRSA sono l'accettazione all'interno delle regole di esempi negativi, anche se in numero limitato, basato su quanto proposto da Ziarko (147)(148) nel caso dell'approccio classico. Tale sviluppo (149) (150)(151) chiamato *Variable Consistency DRSA* (VC-DRSA), ha permesso una maggiore generalizzazione del metodo, ammettendo l'esistenza di errori di rilevazione o scelta nelle *decision table*.

Infine sempre in considerazione dell'eccessiva ristrettezza iniziale nell'approssimazione e nell'estrazione delle regole, è stata introdotta un'ulteriore estensione del metodo, che consente vari gradi di inconsistenza (152). In particolare il concetto di approssimazione inferiore, è stato esteso al caso stocastico.

Un'ulteriore "variante" del DRSA è quella dell'applicazione di tale teoria nel caso in cui non sia presente un unico decisore ma una molteplicità di decisori (153).

Sia nel caso del CRSA che nel caso del DRSA (in tutte le sue varianti ed estensioni) il risultato dell'analisi di tipo rough è un complesso di regole, espresso in forma di semplice costruito logico "if...then...", in funzione degli attributi.

Questo aspetto in particolare rende il metodo assolutamente diverso da tutti gli altri: a differenza di quanto succede con i modelli "gray box"<sup>22</sup> e "black box"<sup>23</sup>, la teoria dei Rough-set permette di collegare direttamente la scelta agli attributi che la determinano, nonché, effettuando un'ulteriore approfondita analisi delle regole, gli oggetti che supportano la scelta, e che quindi la giustificano. Il tutto diventa quindi perfettamente trasparente, a differenza di quanto accade con le altre metodologie non parametriche.

### 7.3.2 CONCETTI BASE

Le informazioni che descrivono un universo di oggetti contengono spesso un ordine di preferenza intrinseco, nel senso che il dominio di alcuni attributi risulta ordinato secondo una preferenza dettata da una logica comune. Gli attributi il cui dominio è ordinato sono chiamati *criteri*. La teoria tradizionale dei Rough-set, si basa su una relazione di equivalenza, per cui non è possibile cogliere le informazioni riguardanti gli ordini di preferenza e quindi non sono di catturabili le eventuali inconsistenze derivanti dalla presenza anche di un solo criterio ordinato tra gli attributi. Per superare tale limite la relazione di indiscernibilità viene sostituita nel DRSA con una relazione d'ordine detta *relazione di dominanza*.

#### 7.3.2.1 TABELLA D'INFORMAZIONE E RELAZIONE DI DOMINANZA

Punto di partenza di un'analisi di dati tramite la teoria dei Rough Set è la tabella d'informazione (*information table*), formata da righe riportanti gli "oggetti" descritti dagli "attributi" disposti lungo le colonne. La *tabella d'informazione* dal punto di vista formale è rappresentata dalla quadrupla  $S = (U, Q, V, f)$ , dove a ogni oggetto dell'universo  $U$  considerato, è associato un certa quantità di informazioni relative a una serie di attributi

<sup>22</sup> **Gray Box (Scatole Grigie):** sono modelli fondati su paradigmi teorici solo parzialmente soddisfatti, ovvero, sono disponibili funzioni che non hanno riproducibilità scientifica, come nel caso fisico, ma statisticamente valide. È questo tipicamente il caso dei modelli che coinvolgono la decisione di un soggetto, e quindi i modelli di scelta discreta basati sulla massimizzazione da parte del decisore di un'utilità comprendente errori aleatori, con differenti funzioni di distribuzione (questo è il caso tipico dei modelli econometrici di scelta come i Logit o i Probit). Per questo tipo di modelli, i parametri o coefficienti che si ottengono hanno una parziale spiegazione, ma non è comunque possibile ricondurre al caso di studio, se non con una certa difficoltà, l'origine e la spiegazione di quanto ottenuto.

<sup>23</sup> **Black Box (Scatole Nere):** comprendono tutti quei modelli che non hanno supporto teorico, ma nascono da valutazioni empiriche o dalla riproduzione matematica di fenomeni non ben determinati. I modelli di questo tipo hanno una forma funzionale molto complessa: il tipico caso citato in questo caso è quello della rete neurale, che cerca di simulare matematicamente con operazioni complesse il funzionamento della mente umana. Questo tipo di modello genera relazioni complesse al suo interno e il significato dei coefficienti è di difficile se non impossibile valutazione e interpretazione, senza considerare la loro numerosità.

$Q = (q_1, q_2, q_3, \dots, q_m)$  tramite la funzione  $f: U \times Q \rightarrow V$  con  $V$  insieme dei valori con i quali viene espressa l'informazione.

La *tabella d'informazione* contiene pertanto l'universo  $U$  degli oggetti considerati e l'insieme finito  $Q$  degli attributi. Si indica con  $V_q$  l'insieme dei valori assunti da un attributo  $q \in Q$  e pertanto  $V = \bigcup_{q \in Q} V_q$ .

La *funzione di informazione*  $f$  è una funzione definita in  $U \times Q$  che ha valori in  $V$ , tale che per ogni  $q \in Q$  e  $x \in U$   $f(x, q) \in V_q$ . In parole semplici  $f(x, q)$  restituisce il valore dell'attributo  $q \in Q$  relativo all'oggetto  $x \in U$ .

Per la teoria dei Rough Set si possono distinguere due tipologie di attributi, gli attributi condizionali  $C$  e gli attributi decisionali  $D$ ; allora la tabella d'informazione  $S$  diventa una tabella di decisione (*decision table*) definita come  $S = (U, C, D, V, f)$  con  $C \cap D = \emptyset$  e  $C \cup D = Q$ .

Assunto che tutti gli attributi condizionali siano dei *criteri*, sia  $\succsim_q$  la relazione di *preferenza debole* su  $U$  riferita al criterio  $q \in Q$ , dove  $x \succsim_q y$  ha il significato "x è almeno tanto buono quanto y rispetto al criterio q". Ciò presuppone che  $\succsim_q$  sia un preordine completo, ovvero una relazione binaria riflessiva e transitiva, definita in  $U$  sulla base della valutazione  $f(\cdot, q)$ .

L'insieme di attributi decisionali  $D$  (eventualmente un singoletto  $\{d\}$ ) genera una partizione di  $U$  in un numero finito di classi, sia  $Cl = \{Cl_t, t \in T\}, T = \{1, 2, \dots, n\}$  con  $n$  numero delle classi, una classificazione di  $U$ , tale che ogni  $x \in U$  appartiene ad un'unica classe  $Cl_t \in Cl$ .

Si suppone che le classi siano ordinate, ossia che per tutti gli  $r, s \in T$  tali che  $r > s$  allora gli oggetti  $Cl_r$  saranno preferiti agli oggetti di  $Cl_s$ . Più formalmente se  $\succsim$  è in una relazione di preferenza debole su  $U$ , ovvero se per ogni  $x, y \in U, x \succsim y$ , allora "x è almeno tanto buono quanto y":

$$[x \in Cl_r, y \in Cl_s, r > s] \Rightarrow [x \succsim y \text{ e non } y \succsim x]$$

Tale relazione di preferenza tra le classi di  $Cl$  costituisce la base concettuale dei problemi di classificazione multi-criteriale (*multiple criteria sorting problem*) (123).

### 7.3.2.2 APPROSSIMAZIONI BASATE SULLA DOMINANZA

Gli oggetti considerati nella *decision table* sono valutati tramite i criteri  $C$  da un lato e associati alle decisioni  $D$  dall'altro.

Dal lato decisionale, la ripartizione dell'universo in classi permette di definire nel rispetto della relazione di dominanza, delle unioni di classi, chiamate *unioni ascendenti* e *unioni discendenti* delle classi così definite:

$$Cl_t^{\succsim} = \bigcup_{s \geq t} Cl_s$$

$$Cl_t^{\preceq} = \bigcup_{s \leq t} Cl_s$$

con  $t = \{1, 2, \dots, n\}$ .

L'unione  $Cl_t^{\geq}$  racchiude gli oggetti che appartengono alla classe  $Cl_t$  o ad una di livello superiore, mentre  $Cl_t^{\leq}$  contiene degli oggetti che appartengono alla classe  $Cl_t$  o ad una di livello inferiore.

L'espressione  $x \in Cl_t^{\geq}$  significa che "x appartiene almeno alla classe  $Cl_t^{\geq}$ ", mentre  $x \in Cl_t^{\leq}$  significa che "x appartiene almeno alla classe  $Cl_t^{\leq}$ ",  $Cl \in Cl_t$ .

È da notare che  $Cl_1^{\geq} = Cl_n^{\leq} = U$  e che  $Cl_n^{\leq} = Cl_1$ . Inoltre per  $t = 2, \dots, n$ , si ha:

$$Cl_{t-1}^{\leq} = U - Cl_t^{\geq}$$

$$Cl_t^{\geq} = U - Cl_{t-1}^{\leq}$$

Lato condizionale, si considera su  $U$ , sempre nel rispetto del criterio di dominanza applicato ai criteri  $C$ , insiemi di oggetti dominanti o dominati da un particolare oggetto.

Si dice che  $x$  domina  $y$ , cioè  $x D_P y$  rispetto a  $P \subseteq C$ , se  $x \succ_q y$  per ogni  $q \in P$ .

Allora, considerato  $P \subseteq C$ , si definiscono per ogni  $x \in U$ :

$$D_P^+(x) = \{y \in U: y D_P x\}$$

$$D_P^-(x) = \{y \in U: x D_P y\}$$

che sono due insiemi di oggetti, uno di oggetti dominanti  $x$ , chiamati *P-Dominanti* (*P-dominating set*), indicato con  $D_P^+(x)$ , ed uno di oggetti dominati da  $x$ , chiamati *P-Dominati* (*P-dominated set*), indicato con  $D_P^-(x)$ .

Gli insiemi dominati e gli insiemi dominanti costituiscono la base della conoscenza (*granuli o atomi*) e sono impiegati per rappresentare le unioni delle classi di decisione per mezzo delle loro approssimazioni inferiore e superiore.

L'approssimazione inferiore e superiore di  $Cl_t^{\geq}$  (*P-lower approximation of  $Cl_t^{\geq}$*  e *P-upper approximation of  $Cl_t^{\geq}$* ) nel rispetto di  $P \subseteq C$  ed indicate rispettivamente denotata con  $\underline{P}(Cl_t^{\geq})$  e  $\overline{P}(Cl_t^{\geq})$  sono definite da:

$$\underline{P}(Cl_t^{\geq}) = \{x \in U: D_P^+(x) \subseteq Cl_t^{\geq}\}$$

$$\overline{P}(Cl_t^{\geq}) = \bigcup_{x \in Cl_t^{\geq}} D_P^+(x)$$

Dalle due precedenti equazioni si può dedurre che l'approssimazione inferiore di un'unione superiore  $\underline{P}(Cl_t^{\geq})$  è composta da tutti gli oggetti  $x$  dell'universo che hanno almeno la stessa valutazione su tutti gli attributi considerati  $P$  e appartenenti alla classe  $Cl_t$  o una migliore. Quindi se un oggetto  $y$  ha almeno valutazioni migliori sui criteri di  $P$  rispetto a  $x$ , allora certamente  $y$  appartiene a  $Cl_t$  o a una classe superiore.

Prendendo quindi in considerazione tutti gli esempi della *decision table* si può concludere che le valutazioni sui criteri  $P \subseteq C$  di un oggetto  $x$  appartenente a  $\underline{P}(Cl_t^{\geq})$  crea una partizione parziale, ma sufficiente per determinare l'appartenenza a una classe  $Cl_t$  o superiore.

L'approssimazione superiore di un'unione superiore  $\overline{P}(Cl_t^{\geq})$  è invece composta da tutti gli oggetti  $x$  dell'universo che hanno almeno una valutazione non peggiore degli attributi

considerati  $P$  di un oggetto  $y$  appartenente alla classe  $Cl_t$  o una migliore. Quindi se un oggetto  $z$  ha valutazioni sui criteri di  $P$  non peggiori dell'oggetto  $x$  appartenente a  $\overline{P}(Cl_t^{\geq})$ , allora è possibile che  $z$  appartenga a  $Cl_t$  o a una classe superiore.

Prendendo quindi in considerazione tutti gli esempi della *decision table* si può concludere che le valutazioni sui criteri  $P \subseteq C$  di un oggetto  $x$  appartenente a  $\overline{P}(Cl_t^{\geq})$  creano una partizione parziale, tale che un oggetto  $z$  da esso dominato è possibile che appartenga a una classe  $Cl_t$  o superiore.

Analogamente, l'*approssimazione inferiore e superiore* di  $Cl_t^{\leq}$  (*P-lower approximation* of  $Cl_t^{\leq}$  e *P-upper approximation* of  $Cl_t^{\leq}$ ) nel rispetto di  $P \subseteq C$  ed indicate rispettivamente denotata con  $\underline{P}(Cl_t^{\leq})$  e  $\overline{P}(Cl_t^{\leq})$  sono definite da:

$$\begin{aligned}\underline{P}(Cl_t^{\leq}) &= \{x \in U: D_P^-(x) \subseteq Cl_t^{\leq}\} \\ \overline{P}(Cl_t^{\leq}) &= \bigcup_{x \in Cl_t^{\leq}} D_P^-, t = 1, 2, \dots, n\end{aligned}$$

### 7.3.2.3 PROPRIETÀ DELLE APPROSSIMAZIONI

Le approssimazioni, inferiore e superiore, definite sopra, soddisfano le proprietà seguenti per tutte le  $t \in 1, 2, \dots, n$ , in funzione di  $P \subseteq C$ :

$$\begin{aligned}\underline{P}(Cl_t^{\geq}) &\subseteq Cl_t^{\geq} \subseteq \overline{P}(Cl_t^{\geq}) \\ \underline{P}(Cl_t^{\leq}) &\subseteq Cl_t^{\leq} \subseteq \overline{P}(Cl_t^{\leq})\end{aligned}$$

Quindi un oggetto che appartiene senza ambiguità all'approssimazione inferiore dell'unione di una classe, sia inferiore che superiore, appartiene sicuramente all'unione di quella classe, mentre tutti gli oggetti che appartengono all'unione delle classi appartengono sicuramente all'approssimazione superiore. Quindi se un oggetto appartiene all'approssimazione superiore è possibile che appartenga all'unione delle classi, ma vi è ambiguità. L'insieme differenza fra le due approssimazioni è quindi costituito da oggetti la cui assegnazione ad un'unione di classi, superiore o inferiore, è ambigua rispetto al principio di dominanza.

Si definiscono dunque le frontiere rispetto a  $P$  di  $Cl_t^{\geq}$  e  $Cl_t^{\leq}$  (*P-boundaries* o *P-doubtful regions*) sono definite come:

$$\begin{aligned}Bn_P(Cl_t^{\geq}) &= \overline{P}(Cl_t^{\geq}) - \underline{P}(Cl_t^{\geq}) \\ Bn_P(Cl_t^{\leq}) &= \overline{P}(Cl_t^{\leq}) - \underline{P}(Cl_t^{\leq})\end{aligned}$$

per  $t = 1, 2, \dots, n$ .

Più semplicemente la frontiera  $Bn_P(Cl_t^{\geq})$  è composta da tutti gli oggetti ambigui rispetto al set di criteri  $P$  e dall'unione superiore delle classi  $Cl_t^{\geq}$ . Analogamente, la frontiera  $Bn_P(Cl_t^{\leq})$  è composta da tutti gli oggetti ambigui rispetto al set di criteri  $P$  e dall'unione inferiore delle classi  $Cl_t^{\leq}$ .

A causa della complementarità dell'approssimazione di tipo rough (126) seguono le seguenti proprietà:

$$\begin{aligned} Bn_P(Cl_t^{\geq}) &= Bn_P(Cl_{t-1}^{\leq}) \text{ per } t = 1, 2, \dots, n \text{ e} \\ Bn_P(Cl_t^{\leq}) &= Bn_P(Cl_{t+1}^{\geq}) \text{ per } t = 1, 2, \dots, n. \end{aligned}$$

Dal punto di vista della conoscenza, intesa come conoscenza espressa dalla *decision table* che è possibile estrarre, gli elementi delle approssimazioni inferiori delle unioni delle classi di decisione supportano le *regole certe*, mentre quelli delle frontiere le *regole incerte*.

#### 7.3.2.4 QUALITÀ DELL'APPROSSIMAZIONE E INSIEMI RIDOTTI

Come nel caso dell'approccio classico, si possono definire i parametri relativi alla qualità delle approssimazioni.

È possibile definire per ogni  $t \in T$  la *qualità dell'approssimazione (quality of sorting)* della classificazione  $Cl$ , in funzione del set di criteri  $P \subseteq C$  come:

$$\gamma_P(Cl) = \frac{\text{card}(U - (\bigcup_{t \in T} Bn_P(Cl_t^{\geq})))}{\text{card } U} = \frac{\text{card}(U - (\bigcup_{t \in T} Bn_P(Cl_t^{\leq})))}{\text{card } U}$$

La qualità dell'approssimazione  $\gamma_P(Cl)$  è il rapporto fra gli oggetti correttamente rappresentati tramite gli attributi di  $P$  e il numero di oggetti dell'universo, cioè la percentuale di oggetti per cui non c'è ambiguità.

Bisogna osservare che ampliando l'insieme dei criteri considerati, la qualità dell'approssimazione non può crescere ma in generale può decrescere. Infatti, prendendo in considerazione dei nuovi criteri, oggetti che erano ambigui possono diventare non ambigui.

Un altro argomento di grande importanza pratica è rappresentato dalla riduzione degli attributi contenuti in *un'information table*. Come nel caso dell'approccio classico i dati superflui possono essere eliminati, infatti, senza modificare o deteriorare l'informazione contenuta nel prospetto originale.

Considerando  $P \subseteq C$ ,  $P$  è una riduzione (*reduct*) di  $P$  rispetto ad una classificazione  $Cl$ , e indicato con  $RED_{Cl}(P)$  se vale l'uguaglianza  $\gamma_P(Cl) = \gamma_C(Cl)$ . Ovviamente vale la monotonicità, quindi un oggetto non ambiguo definito in funzione di  $C$  rimane tale anche in funzione di  $P$ , ovvero la riduzione non genera nuove ambiguità. Un ridotto di  $P$  è un sottoinsieme minimo di criteri di  $C$  tale che oggetti ambigui possono diventare non ambigui se si considerano altri criteri; ciò significa che se  $P$  è un ridotto, gli oggetti ambigui rispetto a  $P$  lo saranno anche rispetto a  $C$ , e se qualche criterio non viene considerato allora almeno un oggetto diverrà ambiguo. È da specificare che una tabella delle informazioni può avere più di un ridotto.

L'intersezione di tutti i ridotti è detto *core* ed è denotato come  $CORE_{Cl}$ . Il *core* contiene tutti i criteri che non possono essere rimossi senza dare luogo a delle ambiguità che non sono presenti considerando tutti i criteri di  $C$ . Questa caratteristica della teoria dei Rough-set è

fondamentale perché permette di ottenere risultati con molti meno attributi di quelli che possono essere specificati, pur mantenendo lo stesso livello di rappresentazione del problema.

### 7.3.2.5 REGOLE DECISIONALI E STRATEGIE DI ESTRAZIONE

Risultato finale di un'analisi effettuata con il DRSA è un insieme di regole decisionali, espresse in termini di proposizioni del tipo "se..., allora..." chiamate *regole di decisione*.

Le regole di decisione generate dall'approccio dei rough set non derivano direttamente dalla *decision table* ma dalle approssimazioni inferiore e superiore delle unioni ascendenti e discendenti delle classi decisionali.

Per una data unione ascendente  $Cl_t^{\geq}$  o discendente  $Cl_s^{\leq}$ , le regole estratte nell'ipotesi che gli oggetti appartenenti a  $\underline{P}(Cl_t^{\geq})$  o a  $\overline{P}(Cl_s^{\leq})$  siano *positivi* e tutti gli altri *negativi*, suggeriscono, rispettivamente, una formulazione delle stesse del tipo "...allora  $x$  appartiene almeno alla classe  $Cl_t$ " o "...allora  $x$  appartiene al massimo alla classe  $Cl_s$ ". Le regole estratte invece nell'ipotesi che gli oggetti appartenenti all'intersezione delle approssimazioni superiori dell'unione delle classi  $\underline{P}(Cl_s^{\leq}) \cap \underline{P}(Cl_t^{\geq})$  siano tutti positivi e i rimanenti negativi, suggeriscono invece che l'oggetto potrebbe appartenere ad una delle classi comprese fra  $Cl_t$  e  $Cl_s$  con ( $s < t$ .)

Più formalmente, assumendo per ogni  $q \in C, V_q \subseteq R$  (con  $V_q$  quantitativo) e per ogni  $x, y \in U$  che  $f(x, y) \geq f(y, q)$  implica che  $x \succcurlyeq_q y$  (con  $V_q$  ordinato per preferenza), si possono ottenere cinque tipi di regole decisionali:

- *Regole decisionali  $D_{\geq}$  certe*: forniscono indicazioni relative a limiti inferiori dei criteri per oggetti che appartengono all'unione ascendente delle classi  $Cl_t^{\geq}$  senza ambiguità e assumono la forma generale:

$$\text{se } f(x, q_1) \succcurlyeq r_{q_1} \text{ e } f(x, q_2) \succcurlyeq r_{q_2} \text{ e } \dots \text{ e } f(x, q_p) \succcurlyeq r_{q_p} \\ \text{allora } x \in Cl_t^{\geq}$$

con:

$$P = \{q_1, q_2, \dots, q_p\} \subseteq C \\ r_{q_1}, r_{q_2}, \dots, r_{q_p} \in V_{q_1} \times V_{q_2} \times \dots \times V_{q_p} \\ t \in T;$$

- *Regole decisionali  $D_{\geq}$  possibili*: forniscono indicazioni relative a limiti inferiori dei criteri per oggetti che appartengono all'unione ascendente delle classi  $Cl_t^{\geq}$  con o senza ambiguità e assumono la forma generale:

$$\text{se } f(x, q_1) \succcurlyeq r_{q_1} \text{ e } f(x, q_2) \succcurlyeq r_{q_2} \text{ e } \dots \text{ e } f(x, q_p) \succcurlyeq r_{q_p} \\ \text{allora } x \in / \notin Cl_t^{\geq}$$

con:

$$P = \{q_1, q_2, \dots, q_p\} \subseteq C$$

$$r_{q_1}, r_{q_2}, \dots, r_{q_p} \in V_{q_1} \times V_{q_2} \times \dots \times V_{q_p}$$

$$t \in T;$$

e dove con  $\in/\notin$  si intende l'appartenenza incerta alla classe  $Cl_t^{\geq}$ .

- *Regole decisionali  $D_{\leq}$  certe*: forniscono indicazioni relative a limiti superiori dei criteri per oggetti che appartengono all'unione discendente delle classi  $Cl_t^{\leq}$  senza ambiguità e assumono la forma generale:

$$\text{se } f(x, q_1) \leq r_{q_1} \text{ e } f(x, q_2) \leq r_{q_2} \text{ e } \dots \text{ e } f(x, q_p) \leq r_{q_p}$$

$$\text{allora } x \in Cl_t^{\leq}$$

con:

$$P = \{q_1, q_2, \dots, q_p\} \subseteq C$$

$$r_{q_1}, r_{q_2}, \dots, r_{q_p} \in V_{q_1} \times V_{q_2} \times \dots \times V_{q_p}$$

$$t \in T;$$

- *Regole decisionali  $D_{\leq}$  possibili*: forniscono indicazioni relative a limiti superiori dei criteri per oggetti che appartengono all'unione discendente delle classi  $Cl_t^{\leq}$  con o senza ambiguità e assumono la forma generale:

$$\text{se } f(x, q_1) \leq r_{q_1} \text{ e } f(x, q_2) \leq r_{q_2} \text{ e } \dots \text{ e } f(x, q_p) \leq r_{q_p}$$

$$\text{allora } x \in / \notin Cl_t^{\leq}$$

con:

$$P = \{q_1, q_2, \dots, q_p\} \subseteq C$$

$$r_{q_1}, r_{q_2}, \dots, r_{q_p} \in V_{q_1} \times V_{q_2} \times \dots \times V_{q_p}$$

$$t \in T;$$

e dove con  $\in/\notin$  si intende l'appartenenza incerta alla classe  $Cl_t^{\geq}$ .

- *Regole decisionali  $D_{\geq \leq}$* : forniscono indicazioni relative simultaneamente a limiti superiori e inferiori dei criteri per oggetti che appartengono all'unione di classi intermedie  $Cl_s \cup Cl_{s+1} \cup \dots \cup Cl_{t-1} \cup Cl_t$  senza possibilità di distinguere quale, e assumono la forma generale:

$$\text{se } f(x, q_1) \geq r_{q_1} \text{ e } f(x, q_2) \geq r_{q_2} \text{ e } \dots \text{ e } f(x, q_k) \geq r_{q_k} \text{ e } f(x, q_{k+1})$$

$$\geq r_{q_{k+1}} \text{ e } \dots \text{ e } f(x, q_p) \geq r_{q_p}$$

$$\text{allora } x \in Cl_s^{\leq} \cup Cl_{s+1}^{\leq} \cup \dots \cup Cl_{t-1}^{\leq} \cup Cl_t^{\leq}$$

con:

$$O' = \{q_1, q_2, \dots, q_k\} \subseteq C$$

$$O'' = \{q_{k+1}, q_{k+2}, \dots, q_p\} \subseteq C$$

$$P = O' \cup O'' \text{ con } O' \text{ e } O'' \text{ non necessariamente disgiunti}$$

$$r_{q_1}, r_{q_2}, \dots, r_{q_p} \in V_{q_1} \times V_{q_2} \times \dots \times V_{q_p}$$

$$s, t \in T;$$

$$s < t$$

Le regole del primo e del terzo tipo – ovvero le regole certe - rappresentano una conoscenza certa indotta dalla *decision table* e quindi sono regole esatte, in quanto non comprendono esempi negativi. Le regole del secondo e del quarto tipo invece rappresentano una possibile conoscenza, e pertanto sono regole probabilistiche, caratterizzate da un livello di confidenza. Le regole dell'ultimo tipo infine rappresentano una conoscenza dubbia.

Va sottolineato che le decisioni di tipo probabilistico permettono di limitare il numero di regole, nonché le contraddizioni che si possono generare.

Un set di regole si definisce *completo* se permette di classificare tutti gli oggetti della *decision table*, e permette di riclassificarli correttamente se sono attributi della sua parte consistente, oppure in insiemi di classi, comprendente quella corretta se sono oggetti della parte inconsistente dell'informazione. Un set di regole è *minimo (minimal)* se è completo e non ridondante, ovvero se l'esclusione di una regola lo rende non completo.

È possibile, pertanto definire diverse strategie di estrazione delle regole:

- a) Generazione di un set di regole minimo, che ricopre tutti gli oggetti della tabella di informazione;
- b) Generazione di un set di regole completo, che considera tutte le possibili regole generate dalla *decision table*;
- c) Generazione di un set di regole caratteristico, anche parzialmente discriminanti, che ricopre la gran parte degli oggetti della tabella di decisione.

La scelta di una categoria di regole (piuttosto che di un'altra) va definita in funzione dell'applicazione specifica.

Si dice che un elemento  $x \in U$  supporta (*support*) la regola decisionale  $r$  se l'elemento, sia nella sua parte condizionale che nella sua parte decisionale, ha dato luogo alla generazione della regola stessa.

Ogni regola decisionale è inoltre caratterizzata dal suo *strength*, definito come il numero di oggetti che supportano la regola; nel caso di regole approssimate lo *strength* è calcolato separatamente per ogni possibile classe decisionale.

Se una regola è supportata da oggetti che appartengono esclusivamente all'approssimazione inferiore - *lower approximation* - della classe decisionale allora la regola è detta *certa o deterministica*, se invece è supportata da oggetti che appartengono esclusivamente all'approssimazione superiore (*upper approximation*) della classe decisionale, allora la regola è detta *possibile o probabilistica*. Le regole approssimate sono invece supportate solo da oggetti della frontiera (*boundaries*) della corrispondente classe decisionale.

### 7.3.3 VANTAGGI

Il DRSA presenta due vantaggi fondamentali rispetto ad altri metodi di multicriteriali:

- raccoglie le “informazioni” necessarie per mettere a punto il modello, in termini di “*esempi di decisioni*” che sono fornite dal decisore stesso (che al contrario può avere qualche difficoltà nell’assegnare direttamente dei pesi a ciascun criterio, nello stabilire un relazione di maggiore o minore importanza tra i criteri o nel fissare delle soglie di preferenza, indifferenza o veto) (154) (155);
- genera un modello decisionale espresso in termini di regole del tipo “*se..., allora...*” facilmente comprensibili. Ciò è molto importante perché permette al decisore di mantenere il pieno controllo del processo decisionale ed evita l’approccio “*black box*” tipico di molte metodologie alternative.

Per ogni regola decisionale generata è possibile sapere su quale decisione esemplare è basata, ovvero qual è la decisione esemplare che ha la regola sta descrivendo. Tale tipo di informazione è importante in quanto permette al decisore (decision maker - DM) di poter valutare criticamente la regola e qualora questa risulti “poco convincente” può facilmente revisionare le decisioni esemplari e generare nuovamente le regole e revisionarle, fin quando non sarà soddisfatto delle regole estratte. Ciò è in accordo con il principio di *posterior rationality* di March (156) che invoca la scoperta delle intenzioni del decisore invece dell’interpretazione a priori delle stesse: per gli esperti è più semplice fornire degli esempi di “buone decisioni” piuttosto che spiegare le ragioni secondo cui considerano “buona” una decisione. In questo senso il DRSA chiede agli esperti ciò che per loro è più semplice, ovvero un set di decisioni esemplari, e restituisce loro ciò che per loro è maggiormente difficile, ovvero le spiegazioni relative alla bontà delle decisioni.

In aggiunta, il DRSA fornisce delle spiegazioni in una forma chiara e trasparente, che consente di conoscere l’esatta relazione tra l’informazione data e la raccomandazione finale generata, al contrario di molti altri metodi – come ad esempio i metodi di regressione - che esprimono i risultati in una formulazione tecnica di difficile comprensione per utenti privi di conoscenze specifiche e vengono pertanto percepiti come *black box*. Il DRSA al contrario, essendo una metodologia del tutto trasparente, è di tipo *glass box* (157).

Grazie alla perfetta trasparenza del metodo questo può essere facilmente revisionato ed aggiornato - sulla base delle politiche correnti dell’ente gestore, delle normative, criteri tecnici che si vogliono tenere in considerazione, della pratica e dell’esperienza acquisita - variando l’insieme degli “*esempi di decisioni*” o gli attributi che li costituiscono, necessari per calibrare il modello e derivando le regole “*se..., allora...*” che “spiegano” il nuovo insieme di esempi.

Per maggiori dettagli sulla matematica del metodo si rimanda alla bibliografia specifica (122).

## 7.4 DRSA CON DECISORI MULTIPLI

In moltissimi problemi reali, gli effetti determinati da un insieme di criteri non vengono determinati da un unico decisore o da un'unica tipologia di decisori. Accade spesso invece che i decisori siano molteplici e/o con obiettivi differenti. Per tale ragione è importante poter affrontare questo tipo di problemi e caratterizzare le situazioni in cui più decisori concordano verso un'unica soluzione, o quando invece le soluzioni da questi individuate divergono, e poter analizzare le ragioni per cui questo accade.

Numerosi approcci sono stati individuati per risolvere tale tipologia di problemi, tutti con l'obiettivo di far convergere i decisori verso un'unica soluzione, minimizzando le non similarità (o massimizzando le similarità).

Piuttosto che cercare il compromesso tra i decisori, il DRSA è stato invece proposto come strumento per definire le condizioni in cui si verifica un consenso tra i vari decisori, tramite delle regole decisionali generate dalle valutazioni di vari decisori (153).

Si consideri dunque una tabella di decisione (*decision table*) formata da:

- un insieme finito di oggetti  $U = \{a, b, \dots, x, y, \dots\}$  - chiamato universo (*universe*)
- un insieme finito di criteri  $C = \{1, \dots, q, \dots, m\}$
- un insieme finito di decisori (*decision makers* - DM)  $H = \{1, \dots, i, \dots, h\}$ , cui corrispondono  $h$  attributi di decisione

Si supponga inoltre che ognuno dei decisori  $i \in H$  ha un ordine preferenziale nell'universo  $U$  e che questo ordine preferenziale sia rappresentato da un insieme finito di classi preferenzialmente ordinate

$$Cl_i = \{Cl_{t,i}, t \in T_i\}, T_i = \{1, \dots, n_i\}$$

tale che:

$$\bigcup_{t=1}^{n_i} Cl_{t,i} = U, \quad Cl_{r,i} \cap Cl_{s,i} = \emptyset \text{ per tutti } r, s \in T_i$$

e se  $x \in Cl_{r,i}$ ,  $y \in Cl_{s,i}$  e  $r > s$ , allora  $x$  è preferibile a  $y$  per il decisore  $i$ .

Per un singolo decisore  $i \in H$ , l'unione ascendente e discendente (*upward and downward unions*) della classe decisionale ( $t = 1, \dots, n_i$ ) sarà data da:

$$Cl_{t,i}^{\geq} = \bigcup_{s>t} Cl_{s,i}$$

$$Cl_{t,i}^{\leq} = \bigcup_{s\leq t} Cl_{s,i}$$

Considerando un singolo decisore, il DRSA non necessita di alcuna estensione, in quanto la sola differenza sta nel fatto che, piuttosto che un solo set di classi ordinate in maniera preferenziale, si ha un set multiplo di classi ordinate preferenzialmente (un set per ogni decisore).

Volendo considerare l'insieme dei decisori  $H$  nella sua totalità, si ha la necessità di introdurre alcuni nuovi concetti:

- *multi-unione ascendente* rispetto ad una configurazione (*upward multi-union with respect to one configuration*)  $[t(1), \dots, t(h)]$ ,  $(t(i) \in T_i, \text{ per ogni } i \in H)$ :

$$Cl_{[t(1), \dots, t(h)]}^{\geq} = \bigcap_{i \in H} Cl_{t(i), i}^{\geq}$$

- *multi-unione discendente* rispetto ad una configurazione (*downward multi-union with respect to one configuration*)  $[t(1), \dots, t(h)]$ ,  $(t(i) \in T_i, \text{ per ogni } i \in H)$ :

$$Cl_{[t(1), \dots, t(h)]}^{\leq} = \bigcap_{i \in H} Cl_{t(i), i}^{\leq}$$

- *mega-unione ascendente* rispetto ad un set  $k$  di configurazioni (*upward mega-union with respect to a set of  $k$  configuration*)  $[t_1(1), \dots, t_1(h)], \dots, [t_k(1), \dots, t_k(h)]$ ,  $k = 1, \dots, \prod_{i=1}^h n_i$

$$Cl_{\{[t_1(1), \dots, t_1(h)], \dots, [t_k(1), \dots, t_k(h)]\}}^{\geq} = \bigcup_{r=1}^k Cl_{[t_r(i), \dots, t_r(h)]}^{\geq}$$

- *mega-unione discendente* rispetto ad un set  $k$  di configurazioni (*downward mega-union with respect to a set of  $k$  configuration*)  $[t_1(1), \dots, t_1(h)], \dots, [t_k(1), \dots, t_k(h)]$ ,  $k = 1, \dots, \prod_{i=1}^h n_i$

$$Cl_{\{[t_1(1), \dots, t_1(h)], \dots, [t_k(1), \dots, t_k(h)]\}}^{\leq} = \bigcup_{r=1}^k Cl_{[t_r(i), \dots, t_r(h)]}^{\leq}$$

Nei concetti sovraesposti per configurazione (*configuration*) si intende un profilo di valutazioni, ossia un vettore di nomi di classi decisionali usate dai decisori (ad esempio una configurazione [basso, medio, alto] è una configurazione di nomi di classi dei tre decisori).

Per *multi-unione ascendente* si intende un unione di oggetti che vengono assegnati da un particolare decisore *almeno (at least)* alla classe decisionale superiore indicata nella corrispondente configurazione: ad esempio per la configurazione [basso, medio, alto] la multi unione ascendente include tutti quegli oggetti che sono qualificati come "almeno basso" per il primo decisore, "almeno medio" per il secondo decisore e "almeno alto" per il terzo decisore. Analogamente per *multi-unione discendente* si intende un unione di oggetti che saranno assegnati da un particolare decisore come *al massimo (at most)* alla classe decisionale superiore indicata nella corrispondente configurazione.

Mentre il massimo numero di tutte le possibili configurazioni è uguale al numero di tutte le possibili combinazioni di classi di nomi di un particolare decisore, ovvero  $\prod_{i=1}^h n_i$ , il numero  $k$  di configurazioni considerate in una mega-unione di classi può essere ovviamente più piccolo. Date  $k$  configurazioni, una *mega-unione ascendente* è data dalla somma della multi-unione ascendente corrispondente alle  $k$  configurazioni: ad esempio per due configurazioni [basso, medio, alto] e [medio, basso, alto], la mega-unione ascendente include tutti gli

oggetti che sono qualificati come “almeno basso” per il primo decisore, “almeno medio” per il secondo decisore e “almeno alto” per il terzo decisore, e tutti gli oggetti che sono classificati come “almeno medio” per il primo decisore, “almeno basso” per il secondo decisore e almeno alto” per il terzo decisore. Analogamente una *mega-unione discendente* è data dalla somma della multi-unione discendente corrispondente alle k configurazioni.

Utilizzando il concetto di mega-unione, è possibile definire una decisione collettiva di tipo maggioritario; ad esempio, nel caso semplice di tre decisori e SI/NO come possibili decisioni per gli oggetti, una mega-unione maggioritaria è data dal set di oggetti per cui almeno due dei decisori hanno votato SI.

Rispetto alla approssimazione di multi-unioni possono essere stabiliti i seguenti principi di coerenza: per ogni  $P \subseteq C$

- $x \in U$  appartiene a  $CI_{[t(1), \dots, t(h)]}^{\geq}$  senza alcuna inconsistenza se  $x \in CI_{[t(1), \dots, t(h)]}^{\geq}$  e, per ogni  $y \in U$  che domina  $x$  in  $P$ , anche  $y \in CI_{[t(1), \dots, t(h)]}^{\geq}$  (ossia  $D_P^+(x) \subseteq CI_{[t(1), \dots, t(h)]}^{\geq}$ )
- $x \in U$  può appartenere a  $CI_{[t(1), \dots, t(h)]}^{\geq}$ , se esiste almeno un  $y \in CI_{[t(1), \dots, t(h)]}^{\geq}$  tale che  $x$  domina  $y$  in  $P$  (ovvero  $x \in D_P^+(y)$ ).

Per ogni  $P \subseteq C$ , il set di tutti gli oggetti che appartengono a  $CI_{[t(1), \dots, t(h)]}^{\geq}$  senza alcuna inconsistenza costituisce l'approssimazione inferiore rispetto a  $P$  (*P-lower approximation*) della multi-unione ascendente  $CI_{[t(1), \dots, t(h)]}^{\geq}$ ,

$$\underline{P}(CI_{[t(1), \dots, t(h)]}^{\geq}) = \{x \in U: D_P^+(x) \subseteq CI_{[t(1), \dots, t(h)]}^{\geq}\}.$$

Il set di tutti gli oggetti che possono appartenere a  $CI_{[t(1), \dots, t(h)]}^{\geq}$  costituisce l'approssimazione superiore rispetto a  $P$  (*P-upper approximation*) della multi-unione ascendente  $CI_{[t(1), \dots, t(h)]}^{\geq}$ ,

$$\overline{P}(CI_{[t(1), \dots, t(h)]}^{\geq}) = \bigcup_{x \in CI_{[t(1), \dots, t(h)]}^{\geq}} D_P^+(x)$$

La definizione di approssimazione inferiore e approssimazione rispetto a  $P$  della multi-unione discendente  $CI_{[t(1), \dots, t(h)]}^{\leq}$  può essere ottenuta con analogo ragionamento, per cui si hanno:

$$\underline{P}(CI_{[t(1), \dots, t(h)]}^{\leq}) = \{x \in U: D_P^-(x) \subseteq CI_{[t(1), \dots, t(h)]}^{\leq}\}$$

$$\overline{P}(CI_{[t(1), \dots, t(h)]}^{\leq}) = \bigcup_{x \in CI_{[t(1), \dots, t(h)]}^{\leq}} D_P^-(x)$$

Usando le definizioni precedenti di *P-lower* e *P-upper approximation* è possibile definire i *P-boundary*, ossia le frontiere in  $P$  di  $CI_{[t(1), \dots, t(h)]}^{\geq}$  e  $CI_{[t(1), \dots, t(h)]}^{\leq}$ :

$$Bn_P(CI_{[t(1), \dots, t(h)]}^{\geq}) = \overline{P}(CI_{[t(1), \dots, t(h)]}^{\geq}) - \underline{P}(CI_{[t(1), \dots, t(h)]}^{\geq})$$

$$Bn_P(CI_{[t(1), \dots, t(h)]}^{\leq}) = \overline{P}(CI_{[t(1), \dots, t(h)]}^{\leq}) - \underline{P}(CI_{[t(1), \dots, t(h)]}^{\leq})$$

Per ogni  $P \subseteq C$  e per ogni configurazione  $[t(1), \dots, t(h)]$  e  $t(i) \in T_i$  per ogni  $i \in H$ :

$$\begin{aligned} \underline{P}(Cl_{[t(1), \dots, t(h)]}^{\geq}) &= \prod_{i=1}^h \underline{P}(Cl_{[t(i), i]}^{\geq}), & \overline{P}(Cl_{[t(1), \dots, t(h)]}^{\geq}) &= \bigcup_{i=1}^h \overline{P}(Cl_{[t(1), i]}^{\geq}) \\ \underline{P}(Cl_{[t(1), \dots, t(h)]}^{\leq}) &= \prod_{i=1}^h \underline{P}(Cl_{[t(i), i]}^{\leq}), & \overline{P}(Cl_{[t(1), \dots, t(h)]}^{\leq}) &= \bigcup_{i=1}^h \overline{P}(Cl_{[t(1), i]}^{\leq}) \end{aligned}$$

Similmente al caso delle multi-unioni, è possibile esprimere i seguenti principi di coerenza rispetto alle mega-unioni: per ogni  $P \subseteq C$

- $x \in U$  appartiene alla mega-unione  $Cl_{[[t_1(1), \dots, t_1(h)], \dots, [t_k(1), \dots, t_k(h)]]}^{\geq}$  senza alcuna inconsistenza se  $x \in Cl_{[[t_1(1), \dots, t_1(h)], \dots, [t_k(1), \dots, t_k(h)]]}^{\geq}$  e per ogni  $y \in U$  che domina  $x$  su  $P$ , e anche  $y \in Cl_{[[t_1(1), \dots, t_1(h)], \dots, [t_k(1), \dots, t_k(h)]]}^{\geq}$ , cioè  $D_P^+(x) \subseteq Cl_{[[t_1(1), \dots, t_1(h)], \dots, [t_k(1), \dots, t_k(h)]]}^{\geq}$
- $x \in U$  può appartenere a  $Cl_{[[t_1(1), \dots, t_1(h)], \dots, [t_k(1), \dots, t_k(h)]]}^{\geq}$  se esiste almeno una  $y \in Cl_{[[t_1(1), \dots, t_1(h)], \dots, [t_k(1), \dots, t_k(h)]]}^{\geq}$  tale che  $x$  domina  $y$  su  $P$ , ovvero  $x \in D_P^+(x)$ .

A questo punto è possibile definire l'approssimazione di tipo *rough* delle mega-unioni. Per ogni  $P \subseteq C$  il set di tutti gli oggetti che appartengono a  $Cl_{[[t_1(1), \dots, t_1(h)], \dots, [t_k(1), \dots, t_k(h)]]}^{\geq}$  senza alcuna inconsistenza costituisce l'approssimazione inferiore rispetto a  $P$  della mega-unione ascendente:

$$\underline{P}(Cl_{[[t_1(1), \dots, t_1(h)], \dots, [t_k(1), \dots, t_k(h)]]}^{\geq}) = \{x \in U: D_P^+(x) \subseteq Cl_{[[t_1(1), \dots, t_1(h)], \dots, [t_k(1), \dots, t_k(h)]]}^{\geq}\}$$

Il set di tutti gli oggetti che possono appartenere a  $Cl_{[[t_1(1), \dots, t_1(h)], \dots, [t_k(1), \dots, t_k(h)]]}^{\geq}$  costituiscono invece la l'approssimazione superiore rispetto a  $P$  della mega-unione ascendente:

$$\overline{P}(Cl_{[[t_1(1), \dots, t_1(h)], \dots, [t_k(1), \dots, t_k(h)]]}^{\geq}) = \bigcup_{x \in Cl_{[[t_1(1), \dots, t_1(h)], \dots, [t_k(1), \dots, t_k(h)]]}^{\geq}} D_P^+(x)$$

Le definizioni di approssimazione superiore ed inferiore in  $P$  della mega-unione discendente  $Cl_{[[t_1(1), \dots, t_1(h)], \dots, [t_k(1), \dots, t_k(h)]]}^{\leq}$  può essere ottenuta seguendo lo stesso ragionamento, per cui si ha:

$$\underline{P}(Cl_{[[t_1(1), \dots, t_1(h)], \dots, [t_k(1), \dots, t_k(h)]]}^{\leq}) = \{x \in U: D_P^-(x) \subseteq Cl_{[[t_1(1), \dots, t_1(h)], \dots, [t_k(1), \dots, t_k(h)]]}^{\leq}\}$$

$$\overline{P}(Cl_{[[t_1(1), \dots, t_1(h)], \dots, [t_k(1), \dots, t_k(h)]]}^{\leq}) = \bigcup_{x \in Cl_{[[t_1(1), \dots, t_1(h)], \dots, [t_k(1), \dots, t_k(h)]]}^{\leq}} D_P^-(x)$$

Usando le definizioni precedenti di *P-lower* e *P-upper approximation* è possibile definire i *P-boundary* delle mega-unioni ascendente e discendente:

$$Bn_P \left( Cl_{[[t_1(1), \dots, t_1(h)], \dots, [t_k(1), \dots, t_k(h)]]}^{\geq} \right) =$$

$$\begin{aligned} & \overline{P} \left( Cl_{[[t_1(1), \dots, t_1(h)], \dots, [t_k(1), \dots, t_k(h)]]}^{\geq} \right) - \underline{P} \left( Cl_{[[t_1(1), \dots, t_1(h)], \dots, [t_k(1), \dots, t_k(h)]]}^{\geq} \right) \\ & \quad Bn_P \left( Cl_{[[t_1(1), \dots, t_1(h)], \dots, [t_k(1), \dots, t_k(h)]]}^{\leq} \right) = \\ & \overline{P} \left( Cl_{[[t_1(1), \dots, t_1(h)], \dots, [t_k(1), \dots, t_k(h)]]}^{\leq} \right) - \underline{P} \left( Cl_{[[t_1(1), \dots, t_1(h)], \dots, [t_k(1), \dots, t_k(h)]]}^{\leq} \right) \end{aligned}$$

Nel caso del DRSA con multipli decisori, la sintassi delle regole decisionali rispetto a quella già presentata nel caso del DRSA classico, si mantiene identica nella parte condizione, mentre nella parte decisionale sono invece presenti le mega-unioni ascendenti e discendenti:

1. se  $x_{q_1} \succ_{q_1} r_{q_1}$  e  $x_{q_2} \succ_{q_2} r_{q_2}$  e ...  $x_{q_p} \succ_{q_p} r_{q_p}$ ,  
allora  $x \in Cl_{[[t_1(1), \dots, t_1(h)], \dots, [t_k(1), \dots, t_k(h)]]}^{\geq}$
2. se  $x_{q_1} \succ_{q_1} r_{q_1}$  e  $x_{q_2} \succ_{q_2} r_{q_2}$  e ...  $x_{q_p} \succ_{q_p} r_{q_p}$ ,  
allora  $x$  può appartenere a  $Cl_{[[t_1(1), \dots, t_1(h)], \dots, [t_k(1), \dots, t_k(h)]]}^{\geq}$
3. se  $x_{q_1} \preccurlyeq_{q_1} r_{q_1}$  e  $x_{q_2} \preccurlyeq_{q_2} r_{q_2}$  e ...  $x_{q_p} \preccurlyeq_{q_p} r_{q_p}$ , allora  $x \in Cl_{[[t_1(1), \dots, t_1(h)], \dots, [t_k(1), \dots, t_k(h)]]}^{\leq}$
4. se  $x_{q_1} \preccurlyeq_{q_1} r_{q_1}$  e  $x_{q_2} \preccurlyeq_{q_2} r_{q_2}$  e ...  $x_{q_p} \preccurlyeq_{q_p} r_{q_p}$ ,  
allora  $x$  può appartenere a  $Cl_{[[t_1(1), \dots, t_1(h)], \dots, [t_k(1), \dots, t_k(h)]]}^{\leq}$
5. se  $x_{q_1} \succ_{q_1} r_{q_1}$  e  $x_{q_2} \succ_{q_2} r_{q_2}$  e ...  $x_{q_k} \succ_{q_k} r_{q_k}$  e  $x_{q_{k+1}} \preccurlyeq_{q_{k+1}} r_{q_{k+1}}$  e ... e  $x_{q_p} \preccurlyeq_{q_p} r_{q_p}$ , allora  $x \in Cl_s^{\geq} \cap Cl_t^{\leq}$ ,  $s \leq t$  o  $t \geq s$ .



# 8. INDIVIDUAZIONE DELLE *SPEED ZONE*

## 8.1 PREMESSA E DEFINIZIONE DEL PROBLEMA

La definizione di limiti localizzati presuppone la suddivisione dell'infrastruttura in tronchi stradali aventi caratteristiche omogenee (*speed zones*).

Nel Capitolo 4 si sono illustrate le metodologie più utilizzate per la definizione delle *speed zone* nei vari paesi, e si è rilevato come, per quanto nel nostro paese sia impossibile utilizzare la velocità dell'85esimo come criterio per l'individuazione delle *speed zone*, questo risulti uno dei fattori preferenziali da tenere in conto nella suddivisione in tronchi omogenei in quanto importante indicatore della percezione che l'utente ha dell'ambiente stradale.

Appare evidente però come sia necessario individuare i fattori e le caratteristiche che consentano una corretta suddivisione in *speed zone* - basata oltre che sulla percezione dell'utente anche su considerazioni oggettive che consentano successivamente di individuare il limite di velocità maggiormente idoneo per il tronco stradale individuato – nonché una procedura di facile implementazione ed aggiornamento.

## 8.2 METODOLOGIA PROPOSTA

La metodologia proposta in questa sede si pone come obiettivo quello di individuare un metodo di analisi che consenta:

- la suddivisione della strada in tronchi con caratteristiche omogenee, considerando tutte quelle caratteristiche che concorrono a formare un determinato standard di sicurezza e che è necessario considerare nella determinazione del limite di velocità più adeguato

- un semplice aggiornamento della suddivisione in *speed zone*, qualora qualcuna delle caratteristiche subisca delle variazioni.

La scelta e l'individuazione di tali caratteristiche dipende soprattutto dalla tipologia e quantità di dati a disposizione e dal grado di dettaglio dei rilievi effettuati sulla strada: più numerosi e dettagliati saranno i dati a disposizione e maggiormente dettagliata sarà la suddivisione in *speed zone*.

Per quanto riguarda la semplicità di aggiornamento, si è cercato di individuare un sistema quanto più "automatizzato" possibile e che, qualora intervenisse qualche cambiamento negli attributi scelti per descrivere la strada o si avessero a disposizione nuovi rilievi, consentisse un aggiornamento quasi automatico della suddivisione in tronchi omogenei.

### 8.2.1 ATTRIBUTI DA CONSIDERARE

Per quanto concerne gli attributi o fattori da utilizzare, come già detto, questi dipendono essenzialmente dai database a disposizione e dai rilievi effettuati su strada di cui si dispone. Numerosissimi sono comunque gli attributi che è possibile considerare per la suddivisione in *speed zone*.

Si riporta qui di seguito un elenco, non esaustivo, degli attributi di cui è possibile tenere conto nella suddivisione della strada in tronchi omogenei:

- limiti di velocità esistenti
- tipologia di sezione stradale (margini, numero di corsie, larghezza delle corsie, spartitraffico, etc...)
- roadside hazard e clear zone
- andamento verticale della strada
- andamento orizzontale
- segnaletica
- raggi di curvatura
- numero e tipo di intersezioni
- numero, tipologia e utilizzo degli accessi
- attività presenti ai margini
- tipologia di traffico
- v85
- ...

Tali attributi (qualora tutti disponibili) possono essere considerati tutti contemporaneamente, o essere opportunamente selezionati, per evitare una suddivisione eccessivamente particolareggiata: si potrebbe infatti incorrere in una suddivisione in tronchi eccessivamente ridotti in lunghezza, con conseguenti problematiche di sicurezza stradale.

Per tale ragione è necessario, una volta effettuata la suddivisione della strada in tronchi omogenei, effettuare una “revisione” per verificare che sia rispettata la lunghezza minima del tronco in funzione della velocità massima imposta sullo stesso, secondo quanto previsto per ragioni di sicurezza ed dettagliato dalle Linee Guida del NSW (117) - Tabella 8-I.

**TABELLA 8-I – LUNGHEZZE MINIME PER LE SPEED ZONE (117)**

LIMITE DI VELOCITÀ [KM/H]	MINIMA LUNGHEZZA CONSIGLIATA [KM]
40	0.2
50 (LIMITE URBANO)	NON APPLICABILE
60	0.5
70	2.0
80	2.0
90	2.0
100	3.0
110	10.0

## 8.2.2 IL GIS E LA SEGMENTAZIONE DINAMICA

Per quanto riguarda il sistema da utilizzare per effettuare la suddivisione in tronchi omogenei della strada, si propone in questa sede l'utilizzo dei software GIS, attualmente molto diffusi.

I software GIS - acronimo di Geographic Information Systems e traducibile in Sistema Informativo Geografico (o Territoriale) – sono dei sistemi nati per la gestione, l'analisi e la visualizzazione di informazioni con contenuto geografico/spaziale. Si tratta di *“strumenti software che permettono l'acquisizione, l'elaborazione, l'analisi, la memorizzazione e la rappresentazione delle informazioni territoriali georeferenziate”*(158) (159) ormai di uso comune in svariati settori - pianificazione, programmazione e gestione di territori e/o ambienti (esterni o confinati) etc...

I software GIS, integrando le caratteristiche di diversi software – CAD, Database, Image Processing, costituiscono uno strumento completo, adatto alla rappresentazione del territorio e al trattamento delle informazioni associate agli oggetti (punti, linee poligoni) georeferenziate, ovvero con assegnate delle coordinate spaziali congruenti con la base cartografica di riferimento.

Si tratta di strumenti molto potenti che consentono numerosi tipi di elaborazioni - dalla semplice gestione di elementi vettoriali, immagini raster, attributi, reti, etc..., alla rappresentazione geografica (mappa) in cui vengono visualizzati gli elementi geografici e le loro relazioni spaziali, alla analisi geografica ed elaborazione dell'informazione (dati+strumenti=nuovi dati).

Grazie proprio alla presenza di strumenti di elaborazione, è possibile lavorare con i dati per “estrarre” nuove informazioni (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).



**FIGURA 8-1 – STRUMENTI DI ELABORAZIONE DEI SOFTWARE GIS**

I GIS, grazie alle loro caratteristiche, sono al giorno d’oggi molto utilizzati come strumenti di gestione da moltissimi enti pubblici e privati (Figura 8-2).

Nell’ipotesi dunque che il gestore della strada sia in possesso di un Sistema Informativo Territoriale (GIS), all’interno del quale siano contenute tutte le informazioni relative ai tronchi stradali ad esso in gestione, e dato anche il numero di parametri che è possibile tenere in conto per l’individuazione di un tronco omogeneo (cui possa essere applicato un unico limite di velocità), si è pensato di utilizzare tale strumento al fine di effettuare, in maniera quanto più possibile automatica, le operazioni di inserimento di eventuali nuovi dati e la suddivisione in tronchi omogenei.

Uno dei tanti strumenti che i software GIS mettono a disposizione è quello delle **Segmentazione Dinamica** (o *Dynamic Segmentation*), un processo che consente la trasformazione di dati di tipo lineare georeferenziati, organizzati in tabelle, in *features*<sup>24</sup>, ovvero in elementi che possono essere rappresentati ed analizzati in una mappa (160) (Figura 8-3).

---

<sup>24</sup> *Features* – elementi dell’ambiente GIS

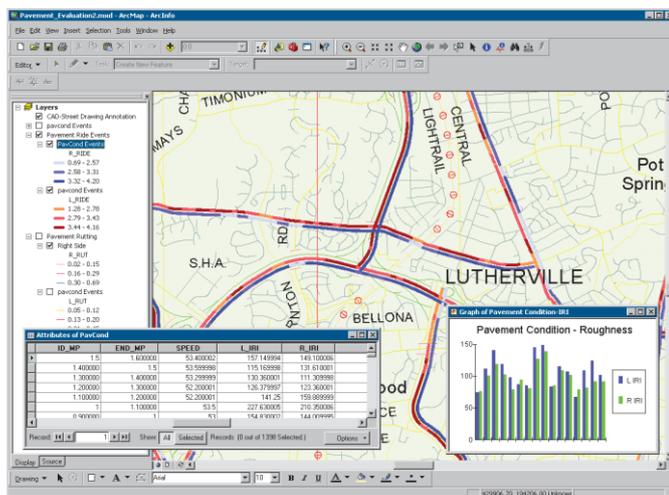


FIGURA 8-2 – IL GIS COME STRUMENTO DI GESTIONE DELLA RETE VIARIA (161)

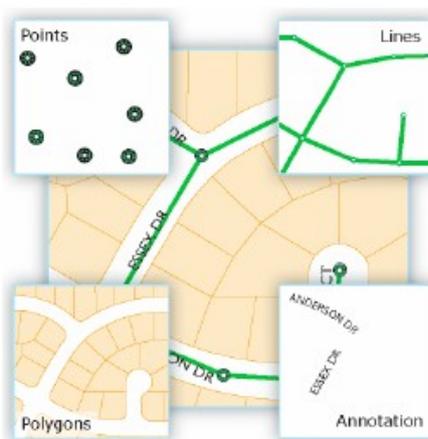


FIGURA 8-3 – TIPOLOGIE DI FEATURES CHE È POSSIBILE UTILIZZARE IN AMBIENTE GIS

Gli elementi di tipo lineare – quali appunto le reti stradali, le reti di distribuzione etc... - sono normalmente descritti da una serie di attributi: con la *linear referencing* è possibile associare un set multiplo di attributi ad una porzione di elemento (161) (Figura 8-4).

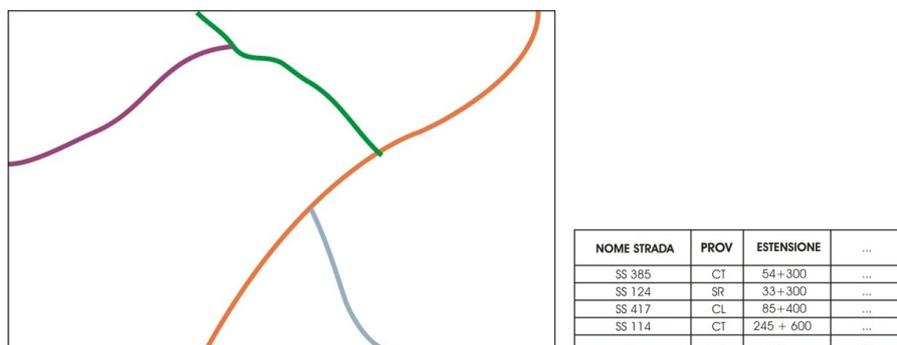


FIGURA 8-4 – ATTRIBUTI ASSOCIATI AD UN ELEMENTO LINEARE

In ambiente GIS è sufficiente rappresentare l'elemento lineare (in questo caso la strada) mediante un grafo orientato, referenziato geograficamente (tali elementi sono denominati *route*) che, oltre al sistema di riferimento interno, sono caratterizzati da un numero identificativo univoco. In questo modo è possibile localizzare lungo l'elemento ogni tipo di informazione – *event* - (sia essa puntuale o lineare), semplicemente tramite una localizzazione relativa: ad esempio, data una strada estesa 30 km, questa sarà rappresentata da un grafo orientato (*route*), cui è associato un numero identificativo, che va dalla progressiva chilometrica 0 alla progressiva chilometrica 30; su di essa sarà possibile localizzare automaticamente un incidente (*point event*) avvenuto alla chilometrica 25+300 o un intervento di manutenzione sulla pavimentazione (*line event*) tra il km 6 e il km 15 (Figura 8-5).

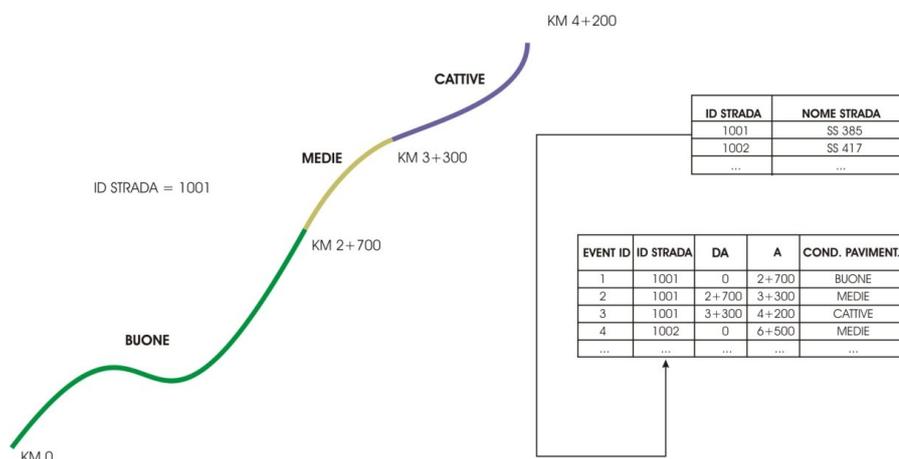
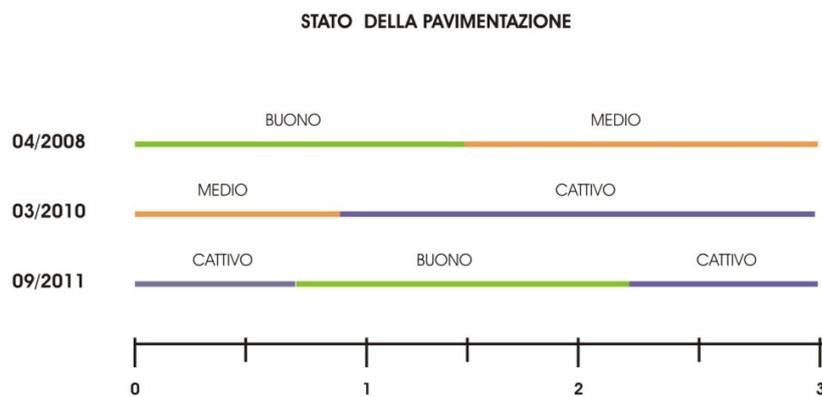


FIGURA 8-5- SEGMENTAZIONE DINAMICA PER LE CONDIZIONI DELLA PAVIMENTAZIONE STRADALE

Il modello vettoriale di registrazione dei dati prevede che, ogni qualvolta il valore di un attributo cambia, l'elemento lineare venga "tagliato"; in alcuni casi tali attributi cambiano di frequente – come ad esempio le condizioni della pavimentazione di una strada – e per tanto sarà necessario di volta in volta effettuare una nuova suddivisione, unendo alcuni elementi e tagliandone degli altri (Figura 8-6).

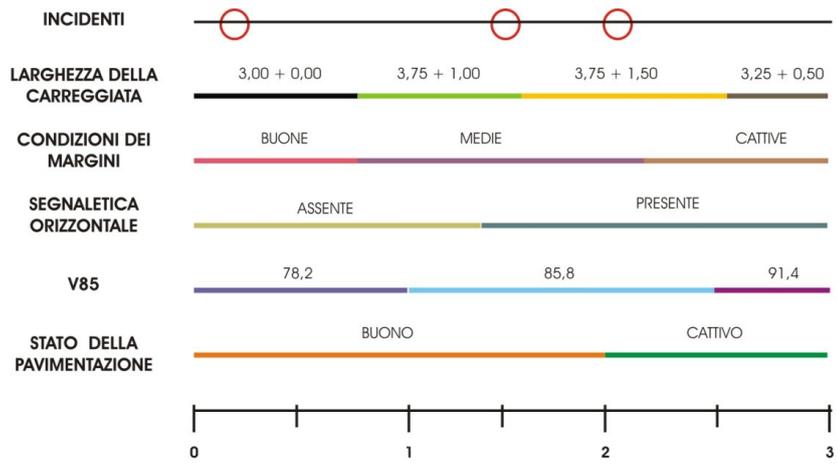


**FIGURA 8-6 – ESEMPIO DI CAMBIAMENTO NEL TEMPO DI UN ATTRIBUTO CHE DESCRIVE LE CONDIZIONI DI MANUTENZIONE DELLA PAVIMENTAZIONE STRADALE (161)**

La segmentazione naturalmente diviene maggiormente complessa quando si lavora con più attributi contemporaneamente - quali incidenti, informazioni sulla sezione stradale, superficie carrabile, limiti di velocità, incidenti, etc... ; ogni volta che uno di questi attributi cambia sarà necessario suddividere nuovamente la strada (Figura 8-7).

Il processo di Segmentazione Dinamica - *Dynamic segmentation o DynSeg* – consente di effettuare tale suddivisione in maniera automatica, consentendo di associare ad ogni porzione di elemento lineare un set multiplo di attributi ed ottenere così un elemento dinamico (*route event source*), che si modifica automaticamente al cambiare degli attributi che lo descrivono.

Grazie a tale strumento il gestore di una rete stradale può dividere in tronchi le proprie strade in funzione di uno o più attributi che li descrivono.



**FIGURA 8-7 – REGISTRAZIONE DI UN SET MULTIPLO DI ATTRIBUTI GRAZIE ALLA REFERENZIAZIONE LINEARE (161)**

# 9. DEFINIZIONE DEI LIMITI DI VELOCITÀ CON IL DRSA E VERIFICHE DI APPLICABILITÀ DEI LIMITI

## 9.1 PREMESSA

Il Sistema di Supporto alle Decisioni (SSD) proposto nell'ambito del presente lavoro si pone come obiettivo quello di costituire uno strumento in grado di consigliare l'ente gestore della strada sulla scelta del limite di velocità più corretto per ciascun tronco stradale, basandosi sulle caratteristiche dello stesso. Tale sistema, dopo una prima fase di individuazione di tronchi omogenei, dovrà consentire al gestore della strada di assegnare un limite di velocità localizzato a ciascun tronco.

Per la determinazione di tale limite viene effettuata un'analisi di tipo multi-criteriale con il Dominance-based Rough Set Approach (DRSA), di cui si sono già illustrati i concetti base nel capitolo 7, che è in grado di fornire un insieme di regole decisionali - nella forma "se... allora..." - che sintetizzano le conoscenze e le scelte di uno o più esperti nella scelta dei limiti di velocità più adeguati.

S'illustra nel presente capitolo lo sviluppo del modello multi-criteriale che sfrutta il DRSA per la determinazione di limiti di velocità, nel caso di *speed zone* descritte esclusivamente da attributi di tipo "statico", e l'utilizzo delle regole decisionali per la determinazione del limite di velocità più adeguato per ogni *speed zone* individuata.

## 9.2 INTRODUZIONE

### 9.2.1 METODOLOGIA

La metodologia utilizzata per la determinazione dei limiti di velocità, come già anticipato, è il **Dominance-based Rough Set Approach**, già illustrato nel capitolo 7.

Si tratta di un metodo di analisi multi-criteriale, in grado di fornire un insieme di regole decisionali - nella forma "se... allora..."- che sintetizzano le conoscenze, e le scelte, di uno o più esperti nella determinazione dei limiti di velocità più adeguati. Sulla base dei limiti di velocità fissati dagli esperti su un campione di tronchi stradali, descritti esclusivamente da caratteristiche geometriche e di manutenzione, vengono generate delle regole decisionali nella seguente forma: "se le caratteristiche del tronco stradale sono... allora il limite di velocità su quel tronco dovrà essere maggiore uguale/minore uguale a ...". In questo modo, prendendo in considerazione un nuovo tronco stradale (*speed zone*), ogni volta che risulti soddisfatta la parte condizionale, dovrà essere soddisfatta anche la parte decisionale.

Tale metodo presuppone dunque in primo luogo la **strutturazione di una tabella di casi esemplari** da sottoporre ad un team di esperti, i quali dovranno effettuare delle "scelte esemplari" che verranno analizzate con il DRSA e andranno a determinare un **insieme di regole decisionali**, sulla base delle quali ci si baserà per la determinazione dei limiti sulle *speed zone* individuate (Figura 9-1).



FIGURA 9-1 – RAPPRESENTAZIONE SCHEMATICA DEL PROCESSO DI DETERMINAZIONE DEI LIMITI DI VELOCITÀ

La tabella di decisioni esemplari, alla base dello sviluppo dell'intero sistema, è costituita da un insieme di *speed zone* esemplari, descritte unicamente da alcuni “**attributi**”, descritti dettagliatamente nel sottoparagrafo a seguire.

Nel caso presentato in questo capitolo, gli attributi scelti sono esclusivamente di tipo statico, ossia attributi che non si modificano istante per istante (come quelli relativi al traffico o alle condizioni meteo) ma fissi, e pertanto utili esclusivamente alla determinazione di limiti di velocità localizzati di tipo fisso.

Si sottolinea, ad ogni modo, che gli attributi scelti per l'applicazione presentata in questa sede sono assolutamente esemplificativi e che è possibile utilizzare, per la determinazione delle regole decisionali, qualunque tipo di attributo e/o un numero anche molto grande di casi esemplificativi, in quanto il DRSA è in grado di analizzare, con brevi tempi di calcolo, database complessi.

### 9.2.2 DATI DI BASE

Per lo sviluppo del Sistema di Supporto alle Decisioni - sia per la fase di suddivisione in *speed zone*, che per la fase di analisi multi-criteriale – è stato necessario scegliere gli attributi atti a descrivere le caratteristiche di ogni *speed zone*, necessari all'identificazione delle stesse e alla determinazione del limite maggiormente adeguato.

La scelta degli attributi, nel caso in esame, è stata fatta tenendo conto della tipologia di strade presa in esame e dei dati che è possibile reperire mediante ispezioni in situ e con il supporto degli enti gestori delle stesse.

Gli attributi, scelti per descrivere gli elementi distintivi di ogni tronco stradale omogeneo, possono essere classificati in tre tipologie:

- attributi che descrivono le **condizioni operative** del tronco stradale;
- attributi che descrivono le **caratteristiche geometriche** di ogni tronco stradale;
- attributi che descrivono lo **stato di manutenzione** del tronco stradale.

Gli attributi considerati nel presente caso sono riportati in Tabella 9-I.

Si descrivono nel seguito gli attributi considerati e la loro classificazione Tabella 9-II.

L'attributo “**volume di traffico**” si riferisce al traffico giornaliero medio (TGM) registrato sul tronco stradale d'interesse; derivante da dati ufficiali forniti dagli Enti Gestori, è classificato come alto, medio o basso, considerando quale soglia superiore il valore di 20.000 veicoli/giorno e quale soglia inferiore 6.000 veicoli/giorno. Cioè il traffico sarà alto se è maggiore superiore a 20.000 veicoli/giorno, sarà medio se è compreso tra i 6.000 e i 20.000 veicoli/giorno, sarà basso se è inferiore a 6.000 veicoli/giorno.

L'attributo "percentuale di veicoli pesanti" è anch'esso classificato come alto, medio, basso, con soglia superiore il valore del 20% e soglia inferiore il valore del 10%: considerando bassa una percentuale di veicoli pesanti inferiore al 10% del volume di traffico complessivo, media una percentuale compresa tra il 10% e il 20% del volume di traffico complessivo, e come alta una percentuale di veicoli pesanti superiore al 20%.

**TABELLA 9-I – DESCRIZIONE DEGLI ATTRIBUTI CONSIDERATI NELLA TABELLA DEI CASI ESEMPLARI**

ATTRIBUTO	DESCRIZIONE	
A <sub>1</sub>	VOLUME DI TRAFFICO	TRAFFICO GIORNALIERO MEDIO (TGM) REGISTRATO SUL TRONCO STRADALE D'INTERESSE (DA DATI UFFICIALI FORNITI DAGLI ENTI GESTORI)
A <sub>2</sub>	PERCENTUALE DI VEICOLI PESANTI	PERCENTUALE DI VEICOLI PESANTI SUL TRAFFICO GIORNALIERO MEDIO (DA DATI UFFICIALI FORNITI DAGLI ENTI GESTORI)
A <sub>3</sub>	LARGHEZZA DELLA CORSIA	LARGHEZZA IN METRI DELLA CORSIA DEL TRONCO D'INTERESSE
A <sub>4</sub>	LARGHEZZA DELLA BANCHINA	LARGHEZZA IN METRI DELLA BANCHINA DEL TRONCO D'INTERESSE
A <sub>5</sub>	SEGNALETICA	CORRETTA SEGNALETICA ORIZZONTALE E VERTICALE LUNGO IL TRONCO STRADALE IN ESAME
A <sub>6</sub>	CONDIZIONI DELLA PAVIMENTAZIONE	STATO DI MANUTENZIONE DELLA PAVIMENTAZIONE SULLA BASE DI INDAGINI VISIVE
A <sub>7</sub>	ROADSIDE HAZARD RATING	TIPO E LA LARGHEZZA DELLA BANCHINA, LA PENDENZA DEL RILEVATO STRADALE, LA PRESENZA/ASSENZA DI OGGETTI FISSI SUI MARGINI, ...
A <sub>8</sub>	TASSO D'INCIDENTALITÀ	RAPPORTO TRA IL NUMERO DI INCIDENTI OSSERVATO IN UN ARCO DI TEMPO DEFINITO E L'ESPOSIZIONE AL RISCHIO
A <sub>9</sub>	ADVERSE ALIGNMENT	CARATTERISTICHE DELLA STRADA CON ANDAMENTO VERTICALE E/O ORIZZONTALE CHE DIFFERISCONO IN MANIERA SIGNIFICATIVA DALL'ANDAMENTO GENERALE DELLA STESSA

Gli attributi "larghezza della corsia" e "larghezza della banchina" si riferiscono rispettivamente alle larghezze in metri della corsia e della banchina del tronco d'interesse.

L'attributo "segnaletica" invece indica la presenza o l'assenza della corretta segnaletica orizzontale e verticale lungo il tronco stradale in esame.

L'attributo "condizioni della pavimentazione" descrive lo stato di manutenzione della pavimentazione in termini di alto, medio e basso.

L'attributo "Roadside Hazard Rating (RHR)" è un parametro che permette di misurare le condizioni dei margini tenendo in considerazione il tipo e la larghezza della banchina, la pendenza del rilevato stradale, la presenza/assenza di oggetti fissi sui margini. La scala individuata da Zeeger (71) individua sette differenti categorie di RHR; questa scala, poco adeguata alle strade italiane, è stata adattata individuando solo 4 tipologie di RHR, in cui 1 rappresenta le migliori condizioni (*lowest hazard*) e 4 le peggiori (*highest hazard*). Le quattro tipologie sono definite come segue:

- RHR=1

- ✓ Barriere di ritenuta presenti ove necessario e correttamente installate e a norma
- ✓ Assenza di ostacoli fissi (alberi, pali, terrapieni,...)
- ✓ Possibilità di ricovero in caso di fuoriuscita di strada
- RHR=2
  - ✓ Barriere di ritenuta presenti ove necessario ma non correttamente installate o non a norma
  - ✓ Presenza parziale di ostacoli fissi (alberi, pali, terrapieni,...)
  - ✓ Possibilità parziale di ricovero in caso di fuoriuscita di strada
- RHR=3
  - ✓ Barriere di ritenuta presenti solo in parte
  - ✓ Presenza significativa di ostacoli fissi (alberi, pali, terrapieni,...)
  - ✓ Possibilità molto ridotta di ricovero in caso di fuoriuscita di strada con probabilità di collisione con altri veicoli
- RHR=4
  - ✓ Assenza totale di barriere di ritenuta
  - ✓ Esposizione ad ostacoli rigidi
  - ✓ Scarpate ad elevata pendenza
  - ✓ Nessuna possibilità di ricovero in caso di fuoriuscita di strada

L'attributo "**tasso d'incidentalità**" caratterizza le condizioni di sicurezza di ogni tronco stradale. Per ogni tronco il tasso d'incidentalità è definito come il rapporto tra il numero di incidenti osservato in un arco di tempo definito (in genere 5 anni) e l'esposizione al rischio (data dal prodotto dell'intensità di traffico nel periodo osservato per la lunghezza del tronco); la valutazione del livello di sicurezza è basata su una procedura di controllo statistico di qualità e permette di distinguere le sezioni in (162)(163):

- tronchi a bassa incidentalità
- tronchi ad alta incidentalità.

L'attributo "**Adverse Alignment**", infine, include quelle caratteristiche della strada con andamento verticale e/o orizzontale che differiscono in maniera significativa dall'andamento generale della stessa. I tronchi di questo tipo hanno caratteristiche geometriche che abbassano notevolmente le velocità operative lungo gli stessi. In particolare vengono considerati *adverse alignment*: curve di piccolo raggio, lunghi rettifili seguiti da curve di piccolo raggio, successioni di curve, restringimenti della sezione, presenza di dossi, cattivo coordinamento piano-altimetrico, etc.

**TABELLA 9-II – CLASSIFICAZIONE DEGLI ATTRIBUTI CONSIDERATI NELLA TABELLA DEI CASI ESEMPLARI**

ATTRIBUTO	POSSIBILI VALORI			
VOLUME DI TRAFFICO	ALTO	MEDIO		BASSO
	VEICOLI/GIORNO $\geq$ 20.000	20.000 $\geq$ VEICOLI/GIORNO $\geq$ 6.000		VEICOLI/GIORNO $\leq$ 6.000
PERCENTUALE DI VEICOLI PESANTI	ALTO	MEDIO		BASSO
	VEICOLI PESANTI $\geq$ 20% DEL TGM	20% DEL TGM $\geq$ VEICOLI PESANTI $\geq$ 10% DEL TGM		VEICOLI PESANTI $\leq$ 10% DEL TGM
LARGHEZZA DELLA CORSIA	IN METRI			
LARGHEZZA DELLA BANCHINA	IN METRI			
SEGNALETICA	PRESENTE		ASSENTE O IN PESSIMO STATO	
CONDIZIONI DELLA PAVIMENTAZIONE	OTTIME	MEDIE-BUONE		CATTIVE
ROADSIDE HAZARD RATING	1	2	3	4
	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ BARRIERE DI RITENUTA PRESENTI OVE NECESSARIO E CORRETTAMENTE INSTALLATE E A NORMA</li> <li>✓ ASSENZA DI OSTACOLI FISSI (ALBERI, PALI, TERRAPIENI,...)</li> <li>✓ POSSIBILITÀ DI RICOVERO IN CASO DI FUORIUSCITA DI STRADA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ BARRIERE DI RITENUTA PRESENTI OVE NECESSARIO MA NON CORRETTAMENTE INSTALLATE O NON A NORMA</li> <li>✓ PRESENZA PARZIALE DI OSTACOLI FISSI (ALBERI, PALI, TERRAPIENI,...)</li> <li>✓ POSSIBILITÀ PARZIALE DI RICOVERO IN CASO DI FUORIUSCITA DI STRADA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ BARRIERE DI RITENUTA PRESENTI SOLO IN PARTE</li> <li>✓ PRESENZA SIGNIFICATIVA DI OSTACOLI FISSI (ALBERI, PALI, TERRAPIENI,...)</li> <li>✓ POSSIBILITÀ MOLTO RIDOTTA DI RICOVERO IN CASO DI FUORIUSCITA DI STRADA CON PROBABILITÀ DI COLLISIONE CON ALTRI VEICOLI</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ ASSENZA TOTALE DI BARRIERE DI RITENUTA</li> <li>✓ ESPOSIZIONE AD OSTACOLI RIGIDI</li> <li>✓ SCARPATE AD ELEVATA PENDENZA</li> <li>✓ NESSUNA POSSIBILITÀ DI RICOVERO IN CASO DI FUORIUSCITA DI STRADA</li> </ul>
TASSO D'INCIDENTALITÀ	ALTO		BASSO	
ADVERSE ALIGNMENT	PRESENTE		ASSENTE	

Per la costruzione della tabella d'informazione (tabella dei casi esemplari) sono stati presi in considerazione **100 tronchi stradali tipo, con attributi variabili, prendendo come modello le strade extraurbane secondarie italiane, con limite legale di 90 km/h.** Questa tabella è poi

stata sottoposta ad un team di esperti, i quali hanno assegnato, a ciascun caso esemplare, un limite di velocità. Sulla base di questa tabella di decisione, il DRSA ha generato delle regole di decisione.

Si illustra dettagliatamente nel paragrafo successivo l'applicazione del DRSA al caso in esame.

## 9.3 APPLICAZIONE DEL DRSA PER LA DETERMINAZIONE DELLE REGOLE DI DECISIONE

### 9.3.1 TABELLA D'INFORMAZIONE E RELAZIONE DI DOMINANZA

Punto di partenza di un'analisi di dati tramite la teoria dei Rough Set è la tabella d'informazione (*information table*), formata da righe riportanti gli "oggetti" descritti dagli "attributi" disposti lungo le colonne. Nel caso in esame nella tabella d'informazione ad ogni riga corrisponde un tronco stradale (definiti "*objects*") mentre le colonne della tabella contengono le caratteristiche tecniche e funzionali (definiti "*attributes*"), opportunamente scelti, che descrivono ogni tronco stradale individuato.

Alcuni attributi sono chiamati criteri ("*criteria*") perché le informazioni che forniscono si basano su una relazione di preferenza intrinseca, nel senso che l'insieme dei valori che essi possono assumere è ordinato secondo una preferenza che deriva dalle caratteristiche del problema. Ad esempio, nel caso del problema di determinare i limiti di velocità, considerando l'attributo "tasso d'incidentalità" è chiaro che sarà preferibile una strada con un basso tasso d'incidentalità ad una con un alto tasso d'incidentalità e che perciò si assegnerà un limite maggiore alla strada con un minore tasso d'incidentalità piuttosto che a quella con un maggiore tasso d'incidentalità.

La tabella d'informazione dal punto di vista formale è rappresentata dalla quadrupla  $S = (U, Q, V, f)$ , dove a ogni oggetto dell'universo  $U$  considerato, è associato un certa quantità di informazioni relative a una serie di attributi  $Q = (q_1, q_2, q_3, \dots, q_m)$  tramite la funzione  $f: U \times Q \rightarrow V$  con  $V$  insieme dei valori con i quali viene espressa l'informazione.

La tabella d'informazione contiene pertanto l'universo  $U$  degli oggetti considerati e l'insieme finito  $Q$  degli attributi.

Si indica con  $V_q$  l'insieme dei valori assunti da un attributo  $q \in Q$  e pertanto  $V = \bigcup_{q \in Q} V_q$ .

La *funzione di informazione*  $f$  è una funzione definita in  $U \times Q$  che ha valori in  $V$ , tale che per ogni  $q \in Q$  e  $x \in U$   $f(x, q) \in V_q$ . In parole semplici  $f(x, q)$  restituisce il valore dell'attributo  $q \in Q$  relativo all'oggetto  $x \in U$ .

Gli attributi utilizzati per descrivere gli elementi distintivi di ogni tronco stradale omogeneo sono quelli elencati al paragrafo precedente con, in parentesi, i valori che possono assumere:

- A<sub>1</sub>= Volume di Traffico (alto, medio e basso);
- A<sub>2</sub>= Percentuale di veicoli pesanti (alto, medio e basso);
- A<sub>3</sub>= Larghezza della corsia (in metri);
- A<sub>4</sub>= Larghezza della banchina (in metri);
- A<sub>5</sub>= Segnaletica (si o no);
- A<sub>6</sub>= Condizioni della pavimentazione (alto, medio e basso);
- A<sub>7</sub>= Roadside Hazard Rating (1, 2, 3 o 4);
- A<sub>8</sub>= Tasso d'incidentalità (alto o basso);
- A<sub>9</sub>= Adverse Alignment (si o no).

Nel seguito si indicherà con A, M, B, i valori "Alto", "Medio" e "Basso" e S, N i valori "Si" e "No".

Per la costruzione della tabella d'informazione sono stati presi in considerazione 100 tronchi stradali tipo, con attributi variabili, prendendo come modello le strade extraurbane secondarie italiane, con limite legale di 90 km/h.

I tronchi stradali tipo sono stati selezionati tenendo in conto le caratteristiche geometriche, operative, di manutenzione e il tasso d'incidentalità, ottenendo delle *speed zone* con caratteristiche omogenee e di lunghezza sempre superiore a 300 metri.

Per la teoria dei Rough Set si possono distinguere due tipologie di attributi, gli attributi condizionali *C* e gli attributi decisionali *D*; allora la tabella d'informazione *S* diventa una tabella di decisione (*decision table*) definita come  $S = (U, C, D, V, f)$  con  $C \cap D = \emptyset$  e  $C \cup D = Q$ .

Nella presente applicazione quelli precedentemente elencati sono gli attributi condizionali; l'attributo decisionale, per ogni tronco stradale individuato, è il limite di velocità raccomandato da un gruppo di esperti quale limite di velocità più appropriato tra i valori di 60, 70, 80 e 90 km/h (limite legale imposto in Italia per la tipologia di strade in esame).

La tabella d'informazione utilizzata nella presente applicazione è riportata parzialmente in Tabella 9-III e per intero in allegato (Tabella 14-I).

In generale il concetto di attributo condizionale è differente dal criterio, così come precedentemente definito, in quanto l'insieme dei valori dei criteri deve essere ordinato (in maniera crescente o decrescente) secondo una preferenza, mentre il dominio degli attributi condizionali non deve necessariamente essere ordinato. Nel caso in esame tutti gli attributi condizionali sono criteri, in quanto possono essere ordinati in funzione dell'attributo decisionale considerato; ad esempio, peggiori sono le condizioni della pavimentazione e inferiore dovrà essere il valore del limite di velocità imposto su quel tronco stradale.

Assunto dunque che tutti gli attributi condizionali siano dei *criteri*, sia  $\succsim_q$  la relazione di *preferenza debole* su *U* riferita al criterio  $q \in Q$ , dove  $x \succsim_q y$  ha il significato "x è almeno tanto buono quanto y rispetto al criterio q". Ciò presuppone che  $\succsim_q$  sia un preordine

completo, ovvero una relazione binaria riflessiva e transitiva, definita in  $U$  sulla base della valutazione  $f(., q)$ .

**TABELLA 9-III- TABELLA DI DECISIONE (DECISION TABLE) - STRALCIO**

TRONCO STRADALE	ATTRIBUTI CONDIZIONALI									ATTRIBUTO DECISIONALE
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	A <sub>7</sub>	A <sub>8</sub>	A <sub>9</sub>	LIMITE DI VELOCITÀ CONSIGLIATO
	VOLUME DI TRAFFICO	PERCENTUALE DI VEICOLI PESANTI	LARGHEZZA DELLA CORSIA	LARGHEZZA DELLA BANCHINA	SEGNALETICA	CONDIZIONI DELLA PAVIMENTAZIONE	ROADSIDE HAZARD RATING	TASSO D'INCIDENTALITÀ	ADVERSE ALIGNMENT	
1	ALTO	ALTO	3,25	0,00	SI	MEDIO	1	BASSO	NO	80
2	ALTO	MEDIO	3,25	1,00	SI	ALTO	1	ALTO	NO	90
3	MEDIO	MEDIO	3,50	1,00	SI	BASSO	2	BASSO	NO	90
4	BASSO	BASSO	3,50	1,00	SI	MEDIO	4	ALTO	SI	70
5	BASSO	MEDIO	3,50	0,00	NO	ALTO	2	BASSO	NO	90
6	MEDIO	MEDIO	3,50	1,00	SI	ALTO	1	BASSO	SI	90
7	BASSO	ALTO	3,50	1,25	SI	ALTO	2	BASSO	NO	90
8	ALTO	ALTO	3,50	0,00	NO	BASSO	4	ALTO	SI	60
9	MEDIO	ALTO	3,75	0,00	NO	MEDIO	2	BASSO	SI	80
10	ALTO	MEDIO	3,75	0,75	SI	BASSO	3	ALTO	SI	60
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
90	ALTO	MEDIO	3,00	0,70	SI	ALTO	2	ALTO	NO	80
91	MEDIO	BASSO	3,00	0,00	NO	ALTO	3	ALTO	SI	60
92	BASSO	MEDIO	3,75	0,00	NO	MEDIO	1	ALTO	NO	90
93	MEDIO	ALTO	3,75	0,50	SI	MEDIO	4	ALTO	NO	70
94	ALTO	BASSO	3,75	1,00	SI	BASSO	3	BASSO	NO	80
95	BASSO	MEDIO	3,50	0,00	NO	MEDIO	2	ALTO	NO	80
96	BASSO	BASSO	3,75	1,00	SI	ALTO	4	ALTO	SI	70
97	MEDIO	MEDIO	3,50	1,25	SI	ALTO	2	ALTO	NO	90
98	BASSO	MEDIO	3,00	1,00	SI	BASSO	1	BASSO	SI	80
99	ALTO	BASSO	3,00	0,70	SI	MEDIO	2	ALTO	SI	80
100	ALTO	ALTO	3,00	0,00	NO	ALTO	3	ALTO	SI	70

L'insieme di attributi decisionali  $D$  (eventualmente un singoletto  $\{d\}$ ) genera una partizione di  $U$  in un numero finito di classi, sia  $Cl = \{Cl_t, t \in T\}, T = \{1, 2, \dots, n\}$  con  $n$  numero delle classi, una classificazione di  $U$ , tale che ogni  $x \in U$  appartiene ad un'unica classe  $Cl_t \in Cl$ .

Si suppone che le classi siano ordinate, ossia che per tutti gli  $r, s \in T$  tali che  $r > s$  allora gli oggetti  $Cl_r$  saranno preferiti agli oggetti di  $Cl_s$ . Più formalmente se  $\succsim$  è in una relazione di preferenza debole su  $U$ , ovvero se per ogni  $x, y \in U$ ,  $x \succsim y$ , allora "x è almeno tanto buono quanto y":

$$[x \in Cl_r, y \in Cl_s, r > s] \Rightarrow [x \succsim y \text{ e non } y \succsim x]$$

Tale relazione di preferenza tra le classi di  $Cl$  costituisce la base concettuale dei problemi di classificazione multi-criteriale (*multiple criteria sorting problem*) (123).

Nella presente applicazione l'insieme degli attributi decisionali  $D$  è un singolo dato dall'attributo "limite di velocità consigliato" che scompone l'universo  $U$  delle 100 sezioni stradali nelle seguenti classi:

- $Cl_1$  formata dalle sezioni stradali con limite di velocità consigliato pari a 60 km/h;
- $Cl_2$  formata dalle sezioni stradali con limite di velocità consigliato pari a 70 km/h;
- $Cl_3$  formata dalle sezioni stradali con limite di velocità consigliato pari a 80 km/h;
- $Cl_4$  formata dalle sezioni stradali con limite di velocità consigliato pari a 90 km/h.

### 9.3.2 APPROSSIMAZIONI BASATE SULLA DOMINANZA

La ripartizione dell'universo in classi permette di definire, nel rispetto della relazione di dominanza, delle unioni di classi, chiamate *unioni ascendenti* e *unioni discendenti* delle classi così definite:

$$Cl_t^{\succsim} = \bigcup_{s \geq t} Cl_s$$

$$Cl_t^{\preceq} = \bigcup_{s \leq t} Cl_s$$

con  $t = \{1, 2, \dots, n\}$ .

Nel caso in esame:

- l'unione ascendente  $Cl_1^{\succsim}$  è formata dalle sezioni stradali nelle quali il limite di velocità è almeno pari a 60 km/h ( $\geq 60$  km/h)
- l'unione ascendente  $Cl_2^{\succsim}$  è formata dalle sezioni stradali nelle quali il limite di velocità è almeno pari a 70 km/h ( $\geq 70$  km/h);
- l'unione ascendente  $Cl_3^{\succsim}$  è formata dalle sezioni stradali nelle quali il limite di velocità è almeno pari a 80 km/h ( $\geq 80$  km/h);
- l'unione ascendente  $Cl_4^{\succsim}$  è formata dalle sezioni stradali nelle quali il limite di velocità è almeno pari a 90 km/h ( $\geq 90$  km/h);
- l'unione discendente  $Cl_1^{\preceq}$  è formata dalle sezioni stradali nelle quali il limite di velocità è al massimo pari a 60 km/h ( $\leq 60$  km/h);

- l'unione discendente  $Cl_2^{\leq}$  è formata dalle sezioni stradali nelle quali il limite di velocità è al massimo pari a 70 km/h ( $\leq 70$  km/h);
- l'unione discendente  $Cl_3^{\leq}$  è formata dalle sezioni stradali nelle quali il limite di velocità è al massimo pari a 80 km/h ( $\leq 80$  km/h);
- l'unione discendente  $Cl_4^{\leq}$  è formata dalle sezioni stradali nelle quali il limite di velocità è al massimo pari a 90 km/h ( $\leq 90$  km/h).

L'espressione  $x \in Cl_t^{\geq}$  significa che "x appartiene almeno alla classe  $Cl_t^{\geq}$ ", mentre  $x \in Cl_t^{\leq}$  significa che "x appartiene almeno alla classe  $Cl_t^{\leq}$ ",  $Cl \in Cl_t$ .

È da notare che  $Cl_1^{\geq} = Cl_n^{\leq} = U$  e che  $Cl_n^{\leq} = Cl_1$ . Nella presente applicazione l'unione ascendente  $Cl_1^{\geq}$  e l'unione discendente  $Cl_4^{\leq}$  contengono tutte i 100 tronchi stradali considerati: per tutti i tronchi stradali considerati infatti il limite di velocità sarà sempre almeno pari a 60 km/h e al massimo pari a 90 km/h.

Inoltre per  $t = 2, \dots, n$ , si ha:

$$\begin{aligned} Cl_{t-1}^{\leq} &= U - Cl_t^{\geq} \\ Cl_t^{\geq} &= U - Cl_{t-1}^{\leq} \end{aligned}$$

L'idea chiave dei Rough Set è l'**approssimazione della conoscenza espressa in termini di attributi decisionali desunta da una conoscenza espressa in termini di attributi condizionali**: nel caso in esame riuscire a spiegare la suddivisione degli oggetti (tronchi stradali) in classi decisionali (limiti di velocità) in funzione degli attributi condizionali che li descrivono.

Nella teoria dei Dominance Rough Set (*Dominance Rough Set Approach*, DRSA), nel momento in cui gli attributi condizionali sono criteri (ossia ordinati in funzione dell'attributo decisionale considerato) e le classi hanno un ordine di preferenza, la conoscenza approssimata è data da un insieme di unioni di classi (inferiori e superiori) e i "granuli di conoscenza" usati per l'approssimazione sono costituiti da insiemi di oggetti definiti utilizzando la **relazione di dominanza** (base del DRSA) invece che la *relazione di indiscernibilità* (tipica del CRSA).

Si dice che  $x$  *domina*  $y$ , cioè  $x D_p y$  rispetto a  $P \subseteq C$ , se  $x \succsim_q y$  per ogni  $q \in P$ .

Allora, considerato  $P \subseteq C$ , si definiscono per ogni  $x \in U$  i "granuli di conoscenza" usati per le approssimazioni nel DRSA sono:

- l'insieme degli oggetti che dominano  $x$ , chiamati *P-Dominanti* (*P-dominating set*),

$$D_P^+(x) = \{y \in U: y D_P x\}$$

- l'insieme degli oggetti dominati da  $x$ , chiamati *P-Dominati* (*P-dominated set*),

$$D_P^-(x) = \{y \in U: x D_P y\}$$

Gli insiemi dominati e gli insiemi dominanti costituiscono dei "granuli di conoscenza" nel senso che si suppone che le sezioni stradali che dominano  $x$  dovrebbero essere classificate

come con limite di velocità “almeno” pari a quello di  $x$ , così come quelle dominate da  $x$  possono essere classificate come con limite di velocità “al massimo” pari a quello di  $x$ . Per ogni  $P \subseteq C$  si dice  $x \in U$  appartiene alla classe  $Cl_t^{\geq}$  senza alcuna ambiguità se  $x \in Cl_t^{\geq}$  e, per ogni oggetto  $y \in U$  dominato da  $x$  rispetto a  $P$ , si ha  $y \in Cl_t^{\geq}$ , ossia  $D_P^+(x) \subseteq Cl_t^{\geq}$ . In altre parole, un’ambiguità relativa ad ogni oggetto  $x$  rispetto al criterio  $P$  riguarda il caso in cui ci sia almeno un altro oggetto che “non è peggiore di  $x$ ” per tutti i criteri considerati in  $P$  e tuttavia assegnati ad una classe “peggiore”.

Si dice che  $y \in U$  può appartenere alla classe  $Cl_t^{\geq}$  con eventualmente qualche ambiguità se esiste almeno un oggetto  $x \in Cl_t^{\geq}$  tale che  $y$  domini  $x$  rispetto all’insieme  $P \subseteq C$ , ovvero  $y \in D_P^+(x)$ . Per esempio, se “il tronco stradale  $y$  domina il tronco stradale  $x$ ”, e quest’ultimo appartiene all’unione ascendente di classi  $Cl_3^{\geq}$  delle strade con limite di velocità consigliato non minore di 80 km/h, allora anche  $y$  potrebbe appartenere all’unione ascendente di classi  $Cl_3^{\geq}$  con eventualmente qualche ambiguità. In parole semplici, se il tronco stradale  $y$  è non peggiore del tronco stradale  $x$  in tutti i criteri considerati ( $y$  domina  $x$ ), allora il limite di velocità di  $y$  dovrebbe essere non minore di quello di  $x$ , con l’eventuale presenza di ambiguità dovute al fatto che in effetti  $y$  o qualche altro tronco che domina  $x$ , in realtà potrebbe avere un limite più basso per varie ragioni (per esempio ci sono criteri - particolari ragioni - non considerati nel caso generale). È da notare che dire che  $y \in U$  potrebbe appartenere a  $Cl_t^{\geq}$  non necessariamente significa che vi appartenga. Infatti, nell’esempio precedente,  $y$  potrebbe appartenere a  $Cl_3^{\geq}$ , ma se il suo limite di velocità è 70 km/h,  $y$  appartiene alla classe  $Cl_2^{\leq}$ . Questo è dovuto al fatto che c’è un’ambiguità tra  $x$  e  $y$  rispetto all’insieme di criteri  $P$ .

Dunque rispetto a  $P \subseteq C$ , l’insieme di tutti gli oggetti appartenenti alla classe  $Cl_t^{\geq}$  senza alcuna ambiguità costituisce l’*approssimazione inferiore* di  $P$  in  $Cl_t^{\geq}$  (*P-lower approximation of  $Cl_t^{\geq}$* ), denotata con  $\underline{P}(Cl_t^{\geq})$ , mentre l’insieme di tutti gli oggetti che potrebbero appartenere alla classe  $Cl_t^{\geq}$ , eventualmente con qualche ambiguità, costituisce l’*approssimazione superiore* di  $P$  in  $Cl_t^{\geq}$  (*P-upper approximation of  $Cl_t^{\geq}$* ), denotata con  $\overline{P}(Cl_t^{\geq})$ :

$$\underline{P}(Cl_t^{\geq}) = \{x \in U: D_P^+(x) \subseteq Cl_t^{\geq}\}$$

$$\overline{P}(Cl_t^{\geq}) = \bigcup_{x \in Cl_t^{\geq}} D_P^+(x), t = 1, 2, \dots, n$$

Si osservi che  $\underline{P}(Cl_t^{\geq}) \subseteq \overline{P}(Cl_t^{\geq})$  per ogni  $P \subseteq C$  e per ogni  $t = 1, 2, \dots, n$ .

Le frontiere rispetto a  $P$  di  $Cl_t^{\geq}$  e  $Cl_t^{\leq}$  (*P-boundaries o P-doubtful regions*) sono definite come:

$$Bn_P(Cl_t^{\geq}) = \overline{P}(Cl_t^{\geq}) - \underline{P}(Cl_t^{\geq})$$

$$Bn_P(Cl_t^{\leq}) = \overline{P}(Cl_t^{\leq}) - \underline{P}(Cl_t^{\leq})$$

per  $t = 1, 2, \dots, n$ .

Più semplicemente la frontiera  $Bn_P(Cl_t^{\geq})$  è composta da tutti gli oggetti ambigui rispetto al set di criteri P e dall'unione superiore delle classi  $Cl_t^{\geq}$ . Analogamente, la frontiera  $Bn_P(Cl_t^{\leq})$  è composta da tutti gli oggetti ambigui rispetto al set di criteri P e dall'unione inferiore delle classi  $Cl_t^{\leq}$ .

A causa della complementarità dell'approssimazione di tipo rough (126) seguono le seguenti proprietà:

$$\begin{aligned} Bn_P(Cl_t^{\geq}) &= Bn_P(Cl_{t-1}^{\leq}) \text{ per } t = 1, 2, \dots, n \text{ e} \\ Bn_P(Cl_t^{\leq}) &= Bn_P(Cl_{t+1}^{\geq}) \text{ per } t = 1, 2, \dots, n. \end{aligned}$$

### 9.3.3 QUALITÀ DELL'APPROSSIMAZIONE ED INSIEMI RIDOTTI

Come nel caso dell'approccio classico, si possono definire i parametri relativi alla qualità delle approssimazioni.

E' possibile definire per ogni  $t \in T$  la **qualità dell'approssimazione** (*quality of sorting*) della classificazione  $Cl$ , in funzione del set di criteri  $P \subseteq C$  come:

$$\gamma_P(Cl) = \frac{\text{card}(U - (\cup_{t \in T} Bn_P(Cl_t^{\geq})))}{\text{card } U} = \frac{\text{card}(U - (\cup_{t \in T} Bn_P(Cl_t^{\leq})))}{\text{card } U}$$

La qualità dell'approssimazione  $\gamma_P(Cl)$  è il rapporto fra gli oggetti correttamente rappresentati tramite gli attributi di P e il numero di oggetti dell'universo, cioè la percentuale di oggetti per cui non c'è ambiguità.

Bisogna osservare che ampliando l'insieme dei criteri considerati, la qualità dell'approssimazione non può crescere ma in generale può decrescere. Infatti, prendendo in considerazione dei nuovi criteri, oggetti che erano ambigui possono diventare non ambigui. Considerando la tabella delle informazioni costruita (Tabella 9-III) essa risulta inconsistente per l'insieme completo dei criteri considerati (C): si verificano alcune inconsistenze per le sezioni stradali 33 e 39, 91 e 100, i quali sono identificati come "**oggetti ambigui**". Come facilmente visibile in Tabella 9-IV, il tronco stradale 39 è peggiore del tronco stradale 33 per tutti gli attributi, anzi i valori in  $A_1$  e  $A_2$  sono migliori nel tronco 39 che nel tronco 33, ma il limite di velocità raccomandato è superiore nel tronco 33 che nel 39. Una situazione analoga si verifica tra il tronco 91 e il tronco 100. Ciò significa che c'è ambiguità nella classificazione delle coppie di tronchi stradali 39 e 33, e 91 e 100. In altri termini, le indicazioni del gruppo di esperti nel raccomandare un limite di velocità appropriato non possono essere spiegate tutte semplicemente considerando i nove criteri di C.

TABELLA 9-IV – COPPIE DI OGGETTI INCONSISTENTI

TRONCO STRADALE	ATTRIBUTI									LIMITE DI VELOCITÀ RACCOMANDATO
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	A <sub>7</sub>	A <sub>8</sub>	A <sub>9</sub>	
	VOLUME DI TRAFFICO	PERCENTUALE DI VEICOLI PESANTI	LARGHEZZA DELLA CORSIA	LARGHEZZA DELLA BANCHINA	SEGNALETICA	CONDIZIONI DELLA PAVIMENTAZIONE	ROADSIDE HAZARD RATING	TASSO D'INCIDENTALITÀ	ADVERSE ALIGNMENT	
33	ALTO	ALTO	3,50	0,00	NO	MEDIO	3	BASSO	SI	70
39	MEDIO	MEDIO	3,50	0,00	NO	MEDIO	3	BASSO	SI	60
91	MEDIO	MEDIO	3,00	0,00	NO	ALTO	3	ALTO	SI	60
100	ALTO	ALTO	3,00	0,00	NO	ALTO	3	ALTO	SI	70

Ogni sottoinsieme minimo di criteri  $P \subseteq C$  tale che  $\gamma_P(Cl) = \gamma_C(Cl)$  è definito **ridotto** di  $Cl$  (*reduct*) ed è denotato come  $RED_{Cl}$ . Un ridotto di  $P$  è un sottoinsieme minimo di criteri di  $C$  tale che oggetti ambigui possono diventare non ambigui se si considerano altri criteri; ciò significa che se  $P$  è un ridotto, gli oggetti ambigui rispetto a  $P$  lo saranno anche rispetto a  $C$ , e se qualche criterio non viene considerato allora almeno un oggetto diverrà ambiguo. È da specificare che una tabella delle informazioni può avere più di un ridotto.

L'intersezione di tutti i ridotti è detto *core* ed è denotato come  $CORE_{Cl}$ . Il *core* contiene tutti i criteri che non possono essere rimossi senza dare luogo a delle ambiguità che non sono presenti considerando tutti i criteri di  $C$ . Nel caso in esame (sempre con riferimento alla tabella delle informazioni riportata in Tabella 9-III) sono stati calcolati i ridotti separatamente per ogni classe considerata: in Tabella 9-V, Tabella 9-VI e Tabella 9-VII sono mostrati i criteri che costituiscono i ridotti rispettivamente per il limite di velocità 70 km/h, 80 km/h e 90 km/h. I ridotti calcolati permettono di individuare quegli attributi per i quali, per ogni limite di velocità raccomandato (dunque per ogni classe  $Cl$ ), è mantenuta la stessa qualità di approssimazione dell'intero set di criteri  $C$ , e più precisamente:

- la Tabella 9-V mostra che esiste in solo ridotto che permette di discriminare tra sezioni stradali con limite di velocità raccomandato  $\geq 70$  km/h e sezioni stradali con limite di velocità raccomandato  $< 70$  km/h;
- la Tabella 9-VI mostra che esistono invece due ridotti che permettono di discriminare tra sezioni stradali con limite di velocità raccomandato  $\geq 80$  km/h e sezioni stradali con limite di velocità raccomandato  $< 80$  km/h;

- la Tabella 9-VII mostra i cinque ridotti che consentono di discriminare tra sezioni stradali con limite di velocità raccomandato  $\geq 90$  km/h e sezioni stradali con limite di velocità raccomandato  $< 90$  km/h.

Tutti i sottoinsiemi di criteri (ridotti) individuati sono ugualmente buoni e sufficienti a garantire una qualità di approssimazione pari a quella dell'intera tabella delle informazioni considerata (Tabella 9-III).

**TABELLA 9-V – RIDOTTI PER LIMITE DI VELOCITÀ CONSIGLIATO 70 KM/H**

Criteri		Ridotto
		#1
A <sub>1</sub>	VOLUME DI TRAFFICO	X
A <sub>2</sub>	PERCENTUALE DI VEICOLI PESANTI	X
A <sub>3</sub>	LARGHEZZA DELLA CORSIA	
A <sub>4</sub>	LARGHEZZA DELLA BANCHINA	X
A <sub>5</sub>	SEGNALETICA	
A <sub>6</sub>	CONDIZIONI DELLA PAVIMENTAZIONE	X
A <sub>7</sub>	ROADSIDE HAZARD RATING	
A <sub>8</sub>	TASSO D'INCIDENTALITÀ	X
A <sub>9</sub>	ADVERSE ALIGNMENT	X

**TABELLA 9-VI – RIDOTTI PER LIMITE DI VELOCITÀ CONSIGLIATO 80 KM/H**

Criteri		Ridotti		Core
		#1	#2	
A <sub>1</sub>	VOLUME DI TRAFFICO			
A <sub>2</sub>	PERCENTUALE DI VEICOLI PESANTI			
A <sub>3</sub>	LARGHEZZA DELLA CORSIA	X		
A <sub>4</sub>	LARGHEZZA DELLA BANCHINA	X	X	X
A <sub>5</sub>	SEGNALETICA			
A <sub>6</sub>	CONDIZIONI DELLA PAVIMENTAZIONE	X	X	X
A <sub>7</sub>	ROADSIDE HAZARD RATING	X	X	X
A <sub>8</sub>	TASSO D'INCIDENTALITÀ		X	
A <sub>9</sub>	ADVERSE ALIGNMENT	X	X	X

**TABELLA 9-VII – RIDOTTI PER LIMITE DI VELOCITÀ CONSIGLIATO 90 KM/H**

Criteri		Ridotti					Core
		#1	#2	#3	#4	#5	
A <sub>1</sub>	VOLUME DI TRAFFICO	X	X	X			
A <sub>2</sub>	PERCENTUALE DI VEICOLI PESANTI	X	X		X	X	
A <sub>3</sub>	LARGHEZZA DELLA CORSIA	X	X	X	X	X	X
A <sub>4</sub>	LARGHEZZA DELLA BANCHINA	X		X	X		
A <sub>5</sub>	SEGNALETICA		X			X	
A <sub>6</sub>	CONDIZIONI DELLA PAVIMENTAZIONE	X	X			X	
A <sub>7</sub>	ROADSIDE HAZARD RATING	X	X	X	X	X	X
A <sub>8</sub>	TASSO D'INCIDENTALITÀ			X	X	X	
A <sub>9</sub>	ADVERSE ALIGNMENT	X	X	X	X	X	X

Ad esempio, rispetto alla velocità 70 km/h, prendendo in considerazione il sottoinsieme di attributi che costituiscono il ridotto (Tabella 9-V), ovvero: A<sub>1</sub> (*Volume di Traffico*), A<sub>2</sub> (*Percentuale di veicoli pesanti*), A<sub>4</sub> (*Larghezza della banchina*), A<sub>6</sub> (*Condizioni della pavimentazione*), A<sub>7</sub> (*Roadside Hazard Rating*), A<sub>8</sub> (*Tasso d'incidentalità*), A<sub>9</sub> (*Adverse Alignment*), per le sezioni stradali con limite di velocità raccomandato  $\geq 70$  km/h e  $\leq 70$  km/h, si avranno le stesse inconsistenze presenti per l'intero dataset dei criteri, ovvero quelle per le sezioni stradali 33 e 39, 91 e 100 precedentemente descritte; inoltre se si rimuove, ovvero non si considera, uno qualsiasi dei criteri costituenti il ridotto, si genereranno delle nuove inconsistenze. Se si rimuove ad esempio l'attributo A<sub>9</sub> (*Adverse Alignment*), cioè si considerano esclusivamente gli attributi considerati il set di attributi A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>4</sub>, A<sub>6</sub>, A<sub>7</sub>, A<sub>8</sub>, altre coppie di sezioni stradali presentano delle inconsistenze: le sezioni stradali 4 e 74, le sezioni stradali 11 e 39, 17 e 38, 23 e 38, 38 e 57, 38 e 76, 42 e 82.

Per il limite di velocità 80 km/h sono quattro i criteri che sono presenti in tutti i ridotti calcolati (Tabella 9-VI), e che costituiscono il core: i criteri A<sub>4</sub> (*Larghezza della banchina*), A<sub>6</sub> (*Condizioni della pavimentazione*), A<sub>7</sub> (*Roadside Hazard Rating*) e A<sub>9</sub> (*Adverse Alignment*), sono "i più importanti" e sono indispensabili a spiegare le decisioni degli esperti per le sezioni stradali con limite di velocità raccomandato  $\geq 80$  km/h e  $\leq 80$  km/h.

Stesse considerazioni possono essere fatte per i ridotti calcolati per il limite di velocità 90 km/h (Tabella 9-VII), in cui il core è costituito solo da tre criteri:  $A_3$  (*Larghezza della corsia*),  $A_7$  (*Roadside Hazard Rating*) e  $A_9$  (*Adverse Alignment*).

È rilevante osservare che i criteri che costituiscono i ridotti (e il core) sono differenti per i tre limiti di velocità considerati: per ogni limite di velocità il gruppo di esperti ha preso in considerazione differenti attributi, dando maggiore o minore importanza ad alcuni piuttosto che ad altri a seconda del limite di velocità “da consigliare”.

### 9.3.4 REGOLE DECISIONALI E STRATEGIE DI ESTRAZIONE

Risultato finale di un’analisi effettuata con il DRSA è un insieme di regole decisionali, espresse in termini di proposizioni del tipo “*se..., allora...*” chiamate **regole di decisione**.

Le regole di decisione generate dall’approccio dei rough set non derivano direttamente dalla *decision table* ma dalle approssimazioni inferiore e superiore delle unioni ascendenti e discendenti delle classi decisionali.

Per una data unione ascendente  $Cl_t^{\geq}$  o discendente  $Cl_s^{\leq}$ , le regole estratte nell’ipotesi che gli oggetti appartenenti a  $\underline{P}(Cl_t^{\geq})$  o a  $\overline{P}(Cl_s^{\leq})$  siano *positivi* e tutti gli altri *negativi*, suggeriscono, rispettivamente, una formulazione delle stesse del tipo “...*allora x appartiene almeno alla classe  $Cl_t^{\geq}$* ” o “...*allora x appartiene al massimo alla classe  $Cl_s^{\leq}$* ”. Le regole estratte invece nell’ipotesi che gli oggetti appartenenti all’intersezione delle approssimazioni superiori dell’unione delle classi  $\underline{P}(Cl_s^{\leq}) \cap \underline{P}(Cl_t^{\geq})$  siano tutti positivi e i rimanenti negativi, suggeriscono invece che l’oggetto potrebbe appartenere ad una delle classi comprese fra  $Cl_t$  e  $Cl_s$  con ( $s < t$ .)

Più formalmente, assumendo per ogni  $q \in C, V_q \subseteq R$  (con  $V_q$  quantitativo) e per ogni  $x, y \in U$  che  $f(x, y) \geq f(y, q)$  implica che  $x \succcurlyeq_q y$  (con  $V_q$  ordinato per preferenza), si possono considerare i seguenti tre tipi di regole decisionali:

- *Regole decisionali  $D_{\geq}$* : forniscono indicazioni relative a limiti inferiori dei criteri per oggetti che appartengono all’unione ascendente delle classi  $Cl_t^{\geq}$  e assumono la forma generale:

$$\text{se } f(x, q_1) \succcurlyeq r_{q_1} \text{ e } f(x, q_2) \succcurlyeq r_{q_2} \text{ e } \dots \text{ e } f(x, q_p) \succcurlyeq r_{q_p} \\ \text{allora } x \in Cl_t^{\geq}$$

con:

$$P = \{q_1, q_2, \dots, q_p\} \subseteq C$$

$$r_{q_1}, r_{q_2}, \dots, r_{q_p} \in V_{q_1} \times V_{q_2} \times \dots \times V_{q_p}$$

$$t \in T;$$

- *Regole decisionali  $D_{\leq}$* : forniscono indicazioni relative a limiti superiori dei criteri per oggetti che appartengono all’unione discendente delle classi  $Cl_t^{\leq}$  e assumono la forma generale:

$$\text{se } f(x, q_1) \leq r_{q_1} \text{ e } f(x, q_2) \leq r_{q_2} \text{ e } \dots \text{ e } f(x, q_p) \leq r_{q_p}$$

$$\text{allora } x \in Cl_t^{\leq}$$

con:

$$P = \{q_1, q_2, \dots, q_p\} \subseteq C$$

$$r_{q_1}, r_{q_2}, \dots, r_{q_p} \in V_{q_1} \times V_{q_2} \times \dots \times V_{q_p}$$

$$t \in T;$$

- *Regole decisionali*  $D_{\geq}$ : forniscono indicazioni relative simultaneamente a limiti superiori e inferiori dei criteri per oggetti che appartengono all'unione di classi intermedie classi  $Cl_s \cup Cl_{s+1} \cup \dots \cup Cl_{t-1} \cup Cl_t$  senza possibilità di distinguere quale, e assumono la forma generale:

$$\text{se } f(x, q_1) \geq r_{q_1} \text{ e } f(x, q_2) \geq r_{q_2} \text{ e } \dots \text{ e } f(x, q_k) \geq r_{q_k} \text{ e } f(x, q_{k+1})$$

$$\geq r_{q_{k+1}} \text{ e } \dots \text{ e } f(x, q_p) \geq r_{q_p}$$

$$\text{allora } x \in Cl_s^{\leq} \cup Cl_{s+1}^{\leq} \cup \dots \cup Cl_{t-1}^{\leq} \cup Cl_t^{\leq}$$

con:

$$O' = \{q_1, q_2, \dots, q_k\} \subseteq C$$

$$O'' = \{q_{k+1}, q_{k+2}, \dots, q_p\} \subseteq C$$

$P = O' \cup O''$  con  $O'$  e  $O''$  non necessariamente disgiunti

$$r_{q_1}, r_{q_2}, \dots, r_{q_p} \in V_{q_1} \times V_{q_2} \times \dots \times V_{q_p}$$

$$s, t \in T;$$

$$s < t$$

È possibile che  $\{q_1, q_2, \dots, q_k\} \cap \{q_{k+1}, q_{k+2}, \dots, q_p\} \neq \emptyset$  nella parte condizionale di una regola decisionale  $D_{\geq}$  e che si possa avere  $f(x, q) \geq r_q$  e  $f(x, q) \geq r'_q$  con  $r_q \leq r'_q$  per  $q \in C$ . Inoltre se  $r_q = r'_q$ , le due condizioni divengono  $f(x, q) = r_q$  e si avrebbe una situazione di indifferenza.

Si dice che un elemento  $x \in U$  supporta (**support**) la regola decisionale  $r$  se l'elemento, sia nella sua parte condizionale che nella sua parte decisionale, ha dato luogo alla generazione della regola stessa.

Ogni regola decisionale è inoltre caratterizzata dal suo **strength**, definito come il numero di oggetti che supportano la regola; nel caso di regole approssimate lo **strength** è calcolato separatamente per ogni possibile classe decisionale.

Se una regola è supportata da oggetti che appartengono esclusivamente all'approssimazione inferiore - *lower approximation* - della classe decisionale allora la regola è detta *certa o deterministica*, se invece è supportata da oggetti che appartengono esclusivamente all'approssimazione superiore (*upper approximation*) della classe decisionale, allora la regola è detta *possibile o probabilistica*. Le regole approssimate sono invece supportate solo da oggetti della frontiera (*boundaries*) della corrispondente classe decisionale.

La procedura per la generazione delle regole decisionali da una tabella decisionale (*decision table*) usa un **principio di apprendimento induttivo**: gli oggetti sono considerati come esempi di classificazione e al fine di generare una *regola* decisionale con una conclusione univoca o *certa* relativamente all'assegnazione di un oggetto alla classe di decisione X, gli "esempi" appartenenti alla *C-lower approximation* di X sono chiamati positivi e rimanenti negativi. Analogamente, in caso di *regole possibili*, gli esempi appartenenti alla *C-upper approximation* di X sono positivi e i rimanenti negativi. Le regole possibili sono caratterizzate da un coefficiente, detto *confidenza (confidence)*, che esprime quanto la regola è consistente: questa è data dal rapporto tra il numero di esempi positivi che supportano la regola e il numero di esempi che appartengono all'insieme X in accordo con l'attributo decisionale. Infine, in caso di regole approssimate, gli esempi appartenenti al *C-boundary* di X sono positivi e i rimanenti negativi.

Una regola decisionale è detta *minimale (minimal)* se, rimuovendo qualche attributo dalla parte condizionale essa restituisce una regola in grado di "coprire" anche gli oggetti negativi. Un insieme di regole si definisce *completo* se permette di classificare tutti gli oggetti della *decision table*, e permette di ri-classificarli correttamente se non formano alcuna ambiguità con altri oggetti, oppure in insiemi di classi, comprendente quella corretta, se formano qualche ambiguità con altri oggetti.

Un insieme di regole è *minimo* se è *completo e non ridondante*, ovvero se l'esclusione di una regola lo rende non completo.

Nella presente applicazione per la generazione delle regole si è fatto uso di un algoritmo di calcolo (scritto in QBasic) sviluppato ad hoc dal prof. Greco. Per l'induzione delle regole con il CRSA e con il DRSA sono altresì disponibili gratuitamente in rete dei software – come il jMAF - sviluppati all'Università di Poznan, dal coautore della teoria del DRSA, il prof. Roman Słowiński (164).

Nel caso in esame, dalla Tabella 9-III sono state generate 391 regole decisionali nella forma "*se... allora...*", e precisamente:

- 89 regole decisionali che suggeriscono un limite di velocità  $\geq 90$  km/h;
- 63 regole decisionali che suggeriscono un limite di velocità  $\geq 80$  km/h;
- 53 regole decisionali che suggeriscono un limite di velocità  $\geq 70$  km/h;
- 67 regole decisionali che suggeriscono un limite di velocità  $\leq 60$  km/h;
- 59 regole decisionali che suggeriscono un limite di velocità  $\leq 70$  km/h;
- 60 regole decisionali che suggeriscono un limite di velocità  $\leq 80$  km/h;

Ogni regola decisionale specifica il limite di velocità raccomandato e le ragioni per le quali questo viene raccomandato; per ogni regola decisionale è inoltre possibile sapere quali oggetti della *tavola delle decisioni* supportano la regola.

La possibilità di conoscere quali siano gli esempi (gli oggetti della tabella delle informazioni) che supportano le specifiche regole decisionali permette al decisore di capire e mettere in discussione le “decisioni esemplari” da cui sono tratte le regole ed eventualmente revisionarle e modificarle.

In Tabella 9-VIII sono riportati alcuni esempi di regole generate.

**TABELLA 9-VIII – ESEMPI DI REGOLE DECISIONALI GENERATE**

SE....	ALLORA....	OGGETTI CHE SUPPORTANO LA REGOLA
VOLUME DI TRAFFICO ≤ "BASSO" E LARGHEZZA DELLA BANCHINA ≥ "1.00 M" E CONDIZIONI DELLA PAVIMENTAZIONE ≤ "MEDIO" E TASSO D'INCIDENTALITÀ ≤ "BASSO"	<b>Limite di velocità ≥ 90 km/h</b>	7,31,44,46,47,51,70
LARGHEZZA DELLA CORSIA ≥ "3.75 M" E SEGNALETICA È "PRESENTE" E CONDIZIONI DELLA PAVIMENTAZIONE = "ALTO" E ROADISDE HAZARD RATING ≤ "3"	<b>Limite di velocità ≥ 80 km/h</b>	18,19,36,46,80,85
VOLUME DI TRAFFICO ≤ "BASSO" E PERCENTUALE DI VEICOLI PESANTI ≤ "MEDIO" E LARGHEZZA DELLA BANCHINA ≥ "0.70 M" E CONDIZIONI DELLA PAVIMENTAZIONE ≤ "MEDIO"	<b>Limite di velocità ≥ 70 km/h</b>	4,26,31,44,46,47,51,70,83,96
LARGHEZZA DELLA CORSIA ≤ "3.25 M", LARGHEZZA DELLA BANCHINA ≤ "0.70 M" E ROADISDE HAZARD RATING ≥ "4"	<b>Limite di velocità ≤ 60 km/h</b>	14,15,22,37,45,69,77,88
LARGHEZZA DELLA BANCHINA ≤ "0.50 M" E ROADISDE HAZARD RATING ≥ "2" E TASSO D'INCIDENTALITÀ ≥ "ALTO" E ADVERSE ALIGNMENT È "PRESENTE"	<b>Limite di velocità ≤ 70 km/h</b>	8,14,24,41,45,69,73,75,91,100
VOLUME DI TRAFFICO ≥ "MEDIO" E SEGNALETICA È "ASSENTE" E TASSO D'INCIDENTALITÀ ≥ "ALTO"	<b>Limite di velocità ≤ 80 km/h</b>	8,24,41,65,86,91,100

## 9.4 DETERMINAZIONE DEL LIMITE DI VELOCITÀ

Una volta definite le *speed-zone*, per determinare il limite di velocità da assegnare ad ognuno dei tronchi stradali omogenei individuati, si utilizza il metodo di analisi multicriteriale presentato nel precedente paragrafo.

Il modello di analisi, sulla base delle decisioni degli esperti in merito agli “esempi” della tabella decisionale, ha dato luogo ad una serie di regole in grado fornire al decisore delle indicazioni sulle modalità di scelta dei limiti di velocità.

Il numero di regole generato però è altissimo e non di immediata applicazione.

È per questo motivo che si è reso necessario sviluppare un programma di calcolo in grado di interfacciarsi in maniera rapida con l’output del DRSA (ossia le regole decisionali) e di consentire all’utente finale – l’ente gestore della strada - di determinare facilmente, sulla base delle caratteristiche della *speed zone* considerata, quale sia il limite consigliato e quali sono le regole che hanno dato luogo a tale “consiglio”: inserendo come input i dati caratteristici delle *speed zones* individuate, il programma di calcolo è in grado di restituire un limite di velocità raccomandato e delle regole decisionali che possono aiutare il decisore a comprendere meglio le ragioni di tale suggerimento.

Il programma di calcolo (realizzato in FilemakerPRO) opera nella seguente maniera:

- riceve come input i dati relativi alla *speed zone* considerata
- sulla base delle regole decisionali generate dal modello di analisi DRSA, determina il limite di velocità consigliato
- consente la lettura delle regole che hanno determinato ciascuna “decisione” e i casi esempio che hanno dato luogo alle regole (esempi che supportano le regole).

I dati di input del programma naturalmente ricalcano quelli utilizzati per la determinazione delle regole decisionali e sono quelli riportati in Figura 9-2.

traffico giornaliero medio (TGM)	<b>alto</b>
percentuale di veicoli pesanti	<b>bassa</b>
larghezza delle corsie (m)	<b>3,50</b>
larghezza delle banchine (m)	<b>1,00</b>
segnaletica orizzontale	<b>presente</b>
condizioni della pavimentazione	<b>buone</b>
roadside hazard rating (RHR)	<b>3</b>
accident rate	<b>basso</b>
adverse alignment	<b>presente</b>

**vedi risultati** **calcola**

FIGURA 9-2 – SCHERMATA DEL PROGRAMMA DI CALCOLO PER L'INSERIMENTO DEI DATI DI INPUT

Ad eccezione dei valori “di tipo continuo”- consentiti esclusivamente per la larghezza delle corsie e delle banchine - gli altri attributi sono classificati come esposto al paragrafo 9.2.2, e sono dotati di menù a tendina.

Sulla base dei valori inseriti come input – corrispondenti alle caratteristiche della *speed zone* esaminata - il programma legge tutte le regole fornite dal modello di analisi DRSA e “seleziona” quelle che concordano nella parte condizionale con gli attributi della *speed zone* in esame e possono pertanto essere utilizzate nella determinazione del limite di velocità.

**Il programma determina il limite di velocità come quel valore in grado di soddisfare contemporaneamente tutte le regole decisionali selezionate.** Qualora non fosse possibile soddisfare tutte le regole decisionali restituite dal DRSA, si considereranno le regole supportate da un numero sempre maggiore di “oggetti” della *decision table*, fino a quando il set delle regole consentirà la convergenza verso un unico limite di velocità in grado di soddisfare tutte le regole decisionali.

Ad esempio, considerando una *speed zone* con le seguenti caratteristiche:

- $A_1$  (Volume di Traffico)= Alto
- $A_2$  (Percentuale di veicoli pesanti)= Basso
- $A_3$  (Larghezza della corsia) = 3,50 m
- $A_4$  (Larghezza della banchina)= 1,00 m
- $A_5$  (Segnaletica)= Presente
- $A_6$  (Condizioni della pavimentazione)= Medie/Buone
- $A_7$  (Roadside Hazard Rating)= 3
- $A_8$  (Tasso d'incidentalità)= Basso
- $A_9$  (Adverse Alignment )= Presente

Le regole decisionali generate dal modello di analisi DRSA che possono essere utilizzate con tali dati di input - selezionate dal programma - sono 20 (sulle 391 generate), di cui:

- ✓ 8 regole decisionali raccomandano un limite di velocità  $\geq 70$  km/h (Figura 9-3);
- ✓ 2 regole decisionali raccomandano un limite di velocità  $\leq 70$  km/h (Figura 9-4);
- ✓ 10 regole decisionali raccomandano un limite di velocità  $\leq 80$  km/h (Figura 9-5).

Il programma pertanto suggerisce un limite di velocità di 70 km/h, poiché questo è il valore in grado di soddisfare al contempo tutte le regole decisionali: tale limite infatti non è inferiore a 70 km/h e allo stesso tempo non è superiore a 70 km/h e a 80 km/h.

Per ognuna delle regole decisionali è inoltre possibile sapere quanti sono i casi esemplari che supportano la regola e quali sono (Figura 9-6).



velocità limite  **V ≤ 80 km/h**

n. regola	Supporto	regole
13	18	TGM alto + larghezza della corsia ≤ 3,5 m + condizioni della pavimentazione medie
24	20	TGM alto + larghezza della corsia ≤ 3,5 m + RHR ≥ 2
25	45	larghezza delle banchine ≤ 1,2 m + RHR ≥ 3
28	18	TGM alto + condizioni della pavimentazione medie + RHR ≥ 3
45	24	TGM alto + adverse alignment presente
51	27	TGM medio + condizioni della pavimentazione medie + adverse alignment presente
53	28	larghezza della corsia ≤ 3,5 m + larghezza delle banchine ≤ 1 m + condizioni della pavimentazione medie + adverse alignment presente
54	35	RHR ≥ 3 + adverse alignment presente
55	32	TGM medio + RHR ≥ 2 + adverse alignment presente
56	36	condizioni della pavimentazione medie + RHR ≥ 2 + adverse alignment presente

FIGURA 9-5 - REGOLE DECISIONALI CHE RACCOMANDANO UN LIMITE DI VELOCITÀ ≤ 80 KM/H

CASI ESEMPLARI della REGOLA r15										
caso n.	traffico giornaliero medio (TGM)	percentuale di veicoli pesanti	larghezza delle corsie	larghezza delle banchine	segnaletica orizzontale	condizioni della pavimentazione	R.H.R.	accidente rate	adverse alignment	velocità limite
8	alto	alta	3,50	0,00	assente	pessime	4	alto	presente	60
15	alto	bassa	3,25	0,00	presente	pessime	4	basso	presente	60
25	alto	alta	3,50	1,00	presente	pessime	4	alto	presente	60
28	medio	alta	3,50	0,75	presente	medie	4	alto	presente	60
29	medio	bassa	3,50	1,00	presente	medie	3	basso	presente	70
30	medio	media	3,50	0,75	presente	ottime	4	basso	assente	70
33	alto	alta	3,50	0,00	assente	medie	3	basso	presente	70
34	medio	media	3,50	0,75	presente	pessime	4	basso	assente	70
35	alto	bassa	3,50	0,70	presente	medie	3	alto	presente	60
37	alto	alta	3,25	0,00	assente	pessime	4	basso	presente	60
38	alto	bassa	3,25	0,70	presente	pessime	3	basso	assente	60
39	medio	media	3,50	0,00	assente	medie	3	basso	presente	60
42	alto	alta	3,25	1,00	presente	medie	4	basso	presente	60
45	medio	media	3,25	0,00	presente	medie	4	alto	presente	60
57	medio	media	3,00	0,00	assente	pessime	3	basso	assente	70
64	alto	media	3,50	1,00	presente	pessime	4	alto	presente	60
74	alto	bassa	3,50	1,00	presente	medie	3	alto	presente	60
82	medio	alta	3,00	1,00	presente	pessime	4	basso	presente	70
89	alto	media	3,25	1,00	presente	medie	4	basso	presente	70
91	medio	bassa	3,00	0,00	assente	ottime	3	alto	presente	60
100	alto	alta	3,00	0,00	assente	ottime	3	alto	presente	70

FIGURA 9-6 – CASI ESEMPLARI DA CUI “DERIVA” LA REGOLA N.15 TRA QUELLE CHE CONSIGLIANO UN LIMITE DI VELOCITÀ ≤ 70 KM/H

Esiste però la possibilità che tale valore non sia possibile da determinare in maniera così immediata. Considerando ad esempio una *speed zone* con le seguenti caratteristiche:

- $A_1$  (*Volume di Traffico*)= Alto
- $A_2$  (*Percentuale di veicoli pesanti*)= Basso
- $A_3$  (*Larghezza della corsia*) = 3,50 m
- $A_4$  (*Larghezza della banchina*)= 1,00 m
- $A_5$  (*Segnaletica*)= Presente
- $A_6$  (*Condizioni della pavimentazione*)= Medie
- $A_7$  (*Roadside Hazard Rating*)= 3
- $A_8$  (*Tasso d'incidentalità*)= Basso
- $A_9$  (*Adverse Alignment*)= Assente

Le regole decisionali generate dal modello di analisi DRSA selezionate dal programma sono 25, di cui:

- ✓ 13 regole decisionali raccomandano un limite di velocità  $\geq 70$  km/h;
- ✓ 5 regole decisionali raccomandano un limite di velocità  $\geq 80$  km/h;
- ✓ 2 regole decisionali raccomandano un limite di velocità  $\geq 90$  km/h;
- ✓ 1 regole decisionali raccomandano un limite di velocità  $\leq 70$  km/h;
- ✓ 4 regole decisionali raccomandano un limite di velocità  $\leq 80$  km/h.

In questo caso non esiste un unico limite di velocità in grado di soddisfare tutti i suggerimenti forniti dalle regole decisionali, in quanto non esiste un valore che sia al contempo non inferiore a 90 km/h e non superiore a 70 km/h (tali valori contengono naturalmente anche i valori inferiori/superiori).

Il set di regole selezionate deve pertanto subire un'ulteriore selezione, sulla base del proprio supporto (*support*<sup>25</sup>): si considerano man mano regole maggiormente supportate. Si considerano cioè in un primo momento le regole con supporto  $\geq 1$  - ossia tutte le regole (tra quelle selezionate) supportate anche da un solo caso esemplare (oggetto della *decision table*); se queste danno luogo ad un set di regole che non consentono di individuare un unico limite di velocità, si considerano quelle con supporto  $\geq 2$  (ovvero quelle supportate da almeno 2 oggetti); se anche queste non convergono verso un unico valore si considereranno le regole con supporto  $\geq 3$ , e così via...

Nel caso esempio precedente si sono considerate man mano regole decisionali maggiormente supportate: solo considerando regole con un supporto  $\geq 22$  si riesce ad

---

<sup>25</sup> IL SUPPORTO È IL NUMERO DI OGGETTI DELLA DECISION TABLE CHE VERIFICA SIA LA PARTE CONDIZIONALE DELLA REGOLA CHE QUELLA DECISIONALE. INDICA QUANTI SONO GLI OGGETTI CHE SUPPORTANO LA REGOLA E QUINDI GLI OGGETTI CHE EFFETTIVAMENTE SPIEGANO LA DECISIONE CHE DERIVA DALL'APPLICARE TALE REGOLA.

individuare un limite di velocità – 80 km/h - in grado di soddisfare tutte le regole decisionali selezionate, che si sono ridotte ad 11 e precisamente:

- ✓ 7 regole decisionali raccomandano un limite di velocità  $\geq 70$  km/h;
- ✓ 1 regole decisionali raccomandano un limite di velocità  $\geq 80$  km/h;
- ✓ 4 regole decisionali raccomandano un limite di velocità  $\leq 80$  km/h.

Naturalmente tale procedura è assolutamente automatizzata.

L'output fornito dal programma è un unico limite di velocità.

Il programma di calcolo fornisce altresì la possibilità di visualizzare le regole che hanno indotto alla generazione del limite e di sapere per ogni regola quali sono gli oggetti che la supportano.

La possibilità per il decisore di conoscere "l'origine" di ogni regola, dovuta alla massima trasparenza del metodo di analisi utilizzato, gli consente di avere un controllo ulteriore sulle proprie scelte. Qualora infatti vi sia qualche risultato poco convincente il decisore può controllare la tabella di decisione e decidere di "rivederla" o modificarla secondo quanto egli ritiene più corretto: gli esperti infatti possono aver dato eccessivo peso ad alcuni attributi o non considerato affatto altri attributi che invece il decisore ritiene fondamentali per la determinazione del limite di velocità più idoneo.

La possibilità di visualizzare le regole decisionali che hanno determinato il limite di velocità consente inoltre al decisore di analizzare criticamente la *speed zone* in esame: dalle regole decisionali infatti, spiegando le ragioni del limite consigliato, mettono in luce le criticità della *speed zone* in esame.

## 9.5 VERIFICHE DI APPLICABILITÀ DEI LIMITI

Il programma di calcolo, sulla base del DRSA, suggerisce dunque un limite di velocità sulla base delle caratteristiche della sezione stradale e le regole maggiormente significative atte a spiegare le ragioni del suggerimento da parte degli esperti.

Il limite di velocità però, oltre a rispondere a degli standard di sicurezza, per essere rispettato dagli utenti deve essere credibile - ossia corrispondere alle caratteristiche della strada percepibili dagli utenti e al suo contesto - come suggerito da letteratura (165) (38), e deve altresì rispettare criteri di omogeneità tra *speed zone* adiacenti.

A tal fine il decisore, prima di fissare il limite di velocità per la *speed zone*, dovrà effettuare delle verifiche:

- Verifica di credibilità del limite di velocità
- Verifica di omogeneità tra *speed zone* adiacenti.

La verifica di credibilità del limite verrà effettuata confrontando il limite di velocità individuato con il DRSA e le “problematiche” che emergono dall’analisi delle regole decisionali, con la velocità tenuta dagli utenti – ovvero con la velocità dell’85esimo percentile, che come più volte rilevato fornisce un’ottima “misura” della percezione che ha l’utente della *speed zone* attraversata - e le problematiche della strada emerse dalle ispezioni sui luoghi (Figura 9-7).

Confrontando la velocità dell’85esimo percentile ( $V_{85}$ ), quella raccomandata dal DRSA ( $V_R$ ) e il limite di velocità legale ( $V_L$ ) per la tipologia di strada in esame, possono presentarsi le seguenti tre situazioni (dato che il limite raccomandato sarà sempre inferiore o al massimo uguale al limite legale, ovvero  $V_R \leq V_L$ ):

1.  $V_R \leq V_{85} \leq V_L$
2.  $V_R \leq V_L \leq V_{85}$
3.  $V_{85} \leq V_R \leq V_L$

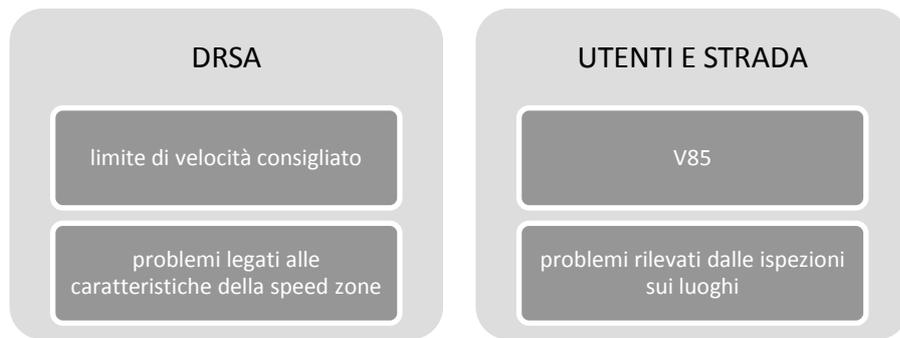


FIGURA 9-7 – VERIFICA DI CREDIBILITÀ

Nel primo caso il limite raccomandato è inferiore alla velocità dell’85esimo percentile: il decisore può fissare il limite di velocità raccomandato dal DRSA ma tale valore, con buona probabilità, non sarà ben percepito dagli utenti che, sulla base delle caratteristiche della strada tengono una velocità superiore. In questo caso il decisore potrebbe:

- fissare il limite raccomandato dal SSD e al contempo, al fine di rendere maggiormente credibile il limite imposto (e dunque far in modo che la velocità

tenuta dagli utenti sia quanto più possibile vicina a quella raccomandata), introdurre degli interventi di *traffic-calming*<sup>26</sup>

- o in alternativa individuare delle misure tali da migliorare le caratteristiche del tronco stradale (sulla base di quanto emerge dalle regole decisionali) e consentire un incremento del limite di velocità fino ad un valore credibile per gli utenti.

Nel secondo caso il limite raccomandato è inferiore alla velocità dell'85esimo percentile, che però è superiore al limite consentito per legge per tale tipologia di strada: il decisore può adottare il limite di velocità raccomandato ma, essendo la velocità tenuta dagli utenti superiore al limite legale, sarà necessario introdurre degli interventi di *traffic-calming* che costringano gli utenti a moderare la velocità fino al limite fissato.

Nel terzo caso il limite di velocità raccomandato dal DRSA è superiore alla velocità dell'85° percentile: il decisore può adottare tale limite senza effettuare alcun intervento, in quanto questo sarà certamente credibile per gli utenti della strada.

Una volta fissati i limiti su tutte le speed-zone considerate, un'ulteriore verifica dovrà essere effettuata per verificare **l'omogeneità dei limiti di velocità tra le speed zone adiacenti**, per ragioni legate alla sicurezza degli utenti. I repentini cambiamenti di velocità infatti vanno sempre evitati: in linea con quanto previsto dalla normativa (166) - relativamente al diagramma delle velocità - non potranno essere ammesse differenze di velocità tra una *speed zone* ed un'altra superiori ai 20 km/h, e in alcuni casi superiori ai 10 km/h.

Verrà dunque calcolata la differenza velocità fra tratti adiacenti e verranno "revisionati" tutti i limiti alla luce di tali considerazioni: qualora necessario verranno inserite delle *speed zone* di transizione, tali da evitare cambiamenti repentini di velocità tra un tronco e l'altro.

## 9.6 CONSIDERAZIONI SULLA METODOLOGIA

Il metodo di analisi multi-criteriale utilizzato nel presente lavoro, basato sul Dominance-based Rough Set Approach (DRSA), presenta alcuni vantaggi rispetto ad altri approcci di tipo multi-criteriale.

Il DRSA, infatti, essendo in grado di generare un modello decisionale esplicitato in termini di regole decisionali di facile comprensione – espresse in linguaggio naturale nella forma "se... allora..." – permette un **pieno controllo sul processo decisionale** e sulle "motivazioni" che

---

<sup>26</sup> Definizione dell'ITE (Institute of Transportation Engineers) «*Traffic calming involves changes in street alignment, installation of barriers, and other physical measures to reduce traffic speeds and/or cut-through volumes, in the interest of street safety, livability, and other public purposes.*» [Gli interventi di moderazione del traffico includono modifiche della geometria stradale, installazione di barriere o altri ostacoli fisici, allo scopo di ridurre le velocità e i flussi di traffico, nell'interesse della sicurezza stradale, della vivibilità e di altri pubblici interessi.]

hanno determinato le decisioni e dunque le regole decisionali, evitando così l'effetto *black box* di altre metodologie alternative di supporto alle decisioni ed assicurando un alto livello di "trasparenza".

Il DRSA inoltre consente **un'agevole revisione del processo decisionale**, sia in fase di calibrazione del modello - in quanto permette di individuare eventuali incongruenze nelle decisioni esemplari - che in fasi successive, consentendo di effettuare delle modifiche al modello decisionale, aggiornando il set di decisioni esemplari dal quale vengono generate le regole decisionali. In questo modo il modello può essere "corretto" o periodicamente aggiornato e revisionato, anche sulla base di politiche o priorità differenti: nel caso dei limiti di velocità (argomento del presente lavoro) il sistema può essere aggiornato sulla base degli "orientamenti" dell'ente gestore (che possono cambiare nel tempo), sulla base dell'esperienza e della pratica del gestore, etc...

Il modello inoltre può essere modificato tenendo conto di:

- **differenti attributi condizionali** – che descrivono gli oggetti - per tenere conto di fattori differenti: le informazioni utilizzate dal decisore per suggerire un limite di velocità possono essere completamente differenti
- **o un numero maggiore di decisori** (*decision makers*) con differenti orientamenti e priorità nella determinazione delle scelte decisionali.

La metodologia utilizzata, grazie dunque alla sua enorme "flessibilità", può adattarsi a qualunque tipo di esigenza: nel caso specifico dei limiti di velocità, ad attributi di tipo dinamico o anche a più decisori.

Nei successivi capitoli si mostrerà l'applicazione del medesimo sistema sia nel caso di attributi dinamici che nel caso di molteplici decisori, oltre ad un'applicazione ad una strada reale del sistema esposto nel presente capitolo.



# 10. DEFINIZIONE DI LIMITI DI VELOCITÀ DINAMICI CON IL DRSA

## 10.1 PREMESSA

Come anticipato nel precedente capitolo, il modello di analisi di tipo multi-criteriale con il Dominance-based Rough Set Approach (DRSA), è caratterizzato – oltre che da un elevato grado di “trasparenza” - da una grande “flessibilità”. Il modello può essere infatti modificato al fine di adattarsi alle esigenze del decisore (inteso come utente finale del modello), sia in termini di quantità e tipologia di attributi, che in termini di numero di esperti che si devono esprimere nella determinazione delle decisioni esemplari alla base del modello.

In questo capitolo si mostrerà un’applicazione del modello decisionale basato sul DRSA, in cui si fa uso di differenti attributi condizionali, rispetto al modello presentato nel capitolo precedente.

In particolare, ferma restando la prima fase d’individuazione dei tronchi omogenei (*speed zone*), la presente applicazione è finalizzata alla strutturazione di un modello decisionale in grado di consigliare un limite di velocità di tipo dinamico per ciascun tronco individuato, e dunque di suggerire all’utente della strada, un limite di velocità adeguato sia in condizioni “normali” che in particolari condizioni di traffico, climatiche, etc...

## 10.2 INTRODUZIONE

I limiti di velocità di tipo dinamico, già illustrati nel paragrafo 4.6, sono dei limiti di velocità che si attivano sulla base di particolari condizioni del traffico, di visibilità, condizioni climatiche, etc...: assolutamente automatici, utilizzano sistemi di rilevamento dati direttamente su strada - sistemi ad induzione posti nella pavimentazione (*loop detectors*), sistemi radar, rilevatori di visibilità, stazioni meteorologiche, sensori sulla pavimentazione, etc... - e mostrano il limite di velocità su pannelli a messaggio variabile.

L'idea alla base di quanto presentato nel presente capitolo - in analogia a quanto fatto per i limiti di tipo statico - è quella di **applicare l'analisi multi-criteriale mediante DRSA a dei tronchi stradali descritti mediante attributi condizionali sia di tipo statico che di tipo variabile nel tempo**, in maniera tale da poter applicare il modello decisionale anche per la determinazione di limiti variabili.

Il sistema è stato pensato per essere in grado di funzionare non solo in particolari condizioni (di traffico, climatiche, etc...) ma anche in condizioni normali, riuscendo a fornire il limite di velocità adeguato alle condizioni della strada.

### 10.2.1 METODOLOGIA

La metodologia utilizzata per la determinazione dei limiti di velocità è sempre il Dominance-based Rough Set Approach. Nel presente capitolo si "modificherà" la tabella dei casi esemplari da sottoporre agli esperti, introducendo degli attributi condizionali di tipo variabile nel tempo; su tali casi esemplari gli esperti dovranno effettuare delle "scelte esemplari", che verranno analizzate con il DRSA e andranno a determinare un insieme di regole decisionali, sulla cui ci si baserà per la determinazione dei limiti sulle *speed zone* individuate.

Nella tabella di decisioni esemplari, alla base dello sviluppo dell'intero sistema, le *speed zone* esemplari, saranno descritte mediante "attributi", che in questo caso sono sia di tipo statico che di tipo dinamico.

Si sottolinea, anche in questo caso, che gli attributi scelti per l'applicazione presentata in questa sede sono assolutamente esemplificativi e che è possibile utilizzare, per la determinazione delle regole decisionali, qualunque tipo di attributo e/o un numero (anche molto grande) di casi esemplificativi.

### 10.2.2 DATI DI BASE

Nel presente caso gli attributi condizionali, atti a descrivere le caratteristiche di ogni *speed zone* e necessari all'identificazione delle stesse e alla determinazione del limite maggiormente adeguato, sono stati scelti in maniera tale da tenere conto, oltre alle

caratteristiche geometriche e di manutenzione della strada, anche delle condizioni operative ed ambientali presenti.

Gli attributi considerati nel presente caso sono riportati in Tabella 10-I.

Gli attributi “**larghezza della corsia**” e “**larghezza della banchina**” si riferiscono rispettivamente alle larghezze in metri della corsia e della banchina del tronco d’interesse.

L’attributo “**condizioni dei margini**” si riferisce allo stato di manutenzione dei margini stradali: vengono classificate come buone se i margini sono ben identificabili, liberi da vegetazione o terriccio, come cattive se sono ricoperti di vegetazione o terriccio e dunque non ben riconoscibili.

L’attributo “**segnaletica**” invece indica la presenza o l’assenza della corretta segnaletica orizzontale e verticale lungo il tronco stradale in esame.

L’attributo “**condizioni della pavimentazione**” descrive lo stato di manutenzione della pavimentazione in termini di alto, medio e basso.

**TABELLA 10-I – DESCRIZIONE DEGLI ATTRIBUTI CONSIDERATI NELLA TABELLA DEI CASI ESEMPLARI**

ATTRIBUTO		DESCRIZIONE
A <sub>1</sub>	LARGHEZZA DELLA CORSIA	LARGHEZZA IN METRI DELLA CORSIA DEL TRONCO D’INTERESSE
A <sub>2</sub>	LARGHEZZA DELLA BANCHINA	LARGHEZZA IN METRI DELLA BANCHINA DEL TRONCO D’INTERESSE
A <sub>3</sub>	CONDIZIONI DEI MARGINI	CONDIZIONI DEI MARGINI STRADALI DEL TRONCO D’INTERESSE
A <sub>4</sub>	SEGNALETICA	CORRETTA SEGNALETICA ORIZZONTALE E VERTICALE LUNGO IL TRONCO STRADALE IN ESAME
A <sub>5</sub>	CONDIZIONI DELLA PAVIMENTAZIONE	STATO DI MANUTENZIONE DELLA PAVIMENTAZIONE SULLA BASE DI INDAGINI VISIVE
A <sub>6</sub>	ROADSIDE HAZARD RATING	TIPO E LA LARGHEZZA DELLA BANCHINA, LA PENDENZA DEL RILEVATO STRADALE, LA PRESENZA/ASSENZA DI OGGETTI FISSI SUI MARGINI, ...
A <sub>7</sub>	TASSO D’INCIDENTALITÀ	RAPPORTO TRA IL NUMERO DI INCIDENTI OSSERVATO IN UN ARCO DI TEMPO DEFINITO E L’ESPOSIZIONE AL RISCHIO
A <sub>8</sub>	ADVERSE ALIGNMENT	CARATTERISTICHE DELLA STRADA CON ANDAMENTO VERTICALE E/O ORIZZONTALE CHE DIFFERISCONO IN MANIERA SIGNIFICATIVA DALL’ANDAMENTO GENERALE DELLA STESSA
A <sub>9</sub>	STATO DELLA SUPERFICIE STRADALE	CONDIZIONI DELLA SUPERFICIE PAVIMENTATA LUNGO IL TRONCO STRADALE IN ESAME, IN TERMINI DI PRESENZA O MENO DI ACQUA (MISURATA DA SENSORE POSTO SULLA PAVIMENTAZIONE)
A <sub>10</sub>	PIOGGIA	PRESENZA ED INTENSITÀ DI PIOGGIA (MISURATA DA SENSORE DI INTENSITÀ DI PIOGGIA)
A <sub>11</sub>	VENTO	PRESENZA DI VENTO (MISURATA DA CENTRALINA DI RILEVAZIONE)
A <sub>12</sub>	NEBBIA	PRESENZA DI NEBBIA (MISURATA DA CENTRALINA DI RILEVAZIONE)
A <sub>13</sub>	VOLUME DI TRAFFICO	TRAFFICO GIORNALIERO MEDIO (TGM) REGISTRATO SUL TRONCO STRADALE D’INTERESSE (MISURATA DA RILEVATORE DI TRAFFICO)

L’attributo “**Roadside Hazard Rating (RHR)**” è un parametro che permette di misurare le condizioni dei margini tenendo in considerazione il tipo e la larghezza della banchina, la

pendenza del rilevato stradale, la presenza/assenza di oggetti fissi sui margini. La scala individuata da Zeeger (71) individua sette differenti categorie di RHR; questa scala, poco adeguata alle strade italiane, è stata adattata individuando solo 4 tipologie di RHR, in cui 1 rappresenta le migliori condizioni (*lowest hazard*) e 4 le peggiori (*highest hazard*). Le quattro tipologie sono definite come segue:

- RHR=1
  - ✓ Barriere di ritenuta presenti ove necessario e correttamente installate e a norma
  - ✓ Assenza di ostacoli fissi (alberi, pali, terrapieni,...)
  - ✓ Possibilità di ricovero in caso di fuoriuscita di strada
- RHR=2
  - ✓ Barriere di ritenuta presenti ove necessario ma non correttamente installate o non a norma
  - ✓ Presenza parziale di ostacoli fissi (alberi, pali, terrapieni,...)
  - ✓ Possibilità parziale di ricovero in caso di fuoriuscita di strada
- RHR=3
  - ✓ Barriere di ritenuta presenti solo in parte
  - ✓ Presenza significativa di ostacoli fissi (alberi, pali, terrapieni,...)
  - ✓ Possibilità molto ridotta di ricovero in caso di fuoriuscita di strada con probabilità di collisione con altri veicoli
- RHR=4
  - ✓ Assenza totale di barriere di ritenuta
  - ✓ Esposizione ad ostacoli rigidi
  - ✓ Scarpate ad elevata pendenza
  - ✓ Nessuna possibilità di ricovero in caso di fuoriuscita di strada

L'attributo "**tasso d'incidentalità**" caratterizza le condizioni di sicurezza di ogni tronco stradale. Per ogni tronco il tasso d'incidentalità è definito come il rapporto tra il numero di incidenti osservato in un arco di tempo definito (in genere 5 anni) e l'esposizione al rischio (data dal prodotto dell'intensità di traffico nel periodo osservato per la lunghezza del tronco); la valutazione del livello di sicurezza è basata su una procedura di controllo statistico di qualità e permette di distinguere le sezioni in (162)(163):

- tronchi a bassa incidentalità
- tronchi ad alta incidentalità.

L'attributo "**Adverse Alignment**" include quelle caratteristiche della strada con andamento

verticale e/o orizzontale che differiscono in maniera significativa dall'andamento generale della stessa. I tronchi di questo tipo hanno caratteristiche geometriche che abbassano notevolmente le velocità operative lungo gli stessi. In particolare vengono considerati *adverse alignment*: curve di piccolo raggio, lunghi rettili seguiti da curve di piccolo raggio, successioni di curve, restringimenti della sezione, presenza di dossi, cattivo coordinamento plano-altimetrico, etc.

L'attributo "**stato della superficie stradale**" si riferisce alle condizioni (istantanee) della superficie della pavimentazioni stradale, in termini di presenza o assenza di acqua (bagnata/asciutta), così come rilevata da appositi sensori posti sulla pavimentazione.

L'attributo "**pioggia**" caratterizza le condizioni meteorologiche misurate da appositi sensori, in grado di rilevare l'intensità di pioggia: viene classificata come assente, pioggia moderata (se inferiore ai 6 mm/h) o pioggia intensa, se superiore a 6 mm/h.

Gli attributi "**vento**" e "**nebbia**" indicano rispettivamente la presenza o l'assenza di vento e/o nebbia nel tronco stradale d'interesse: l'attributo vento è classificato come presente se la velocità del vento supera i 30 km/h, l'attributo nebbia è classificato come presente quanto la visibilità è inferiore ai 1000 metri.

L'attributo "**volume di traffico**" si riferisce al traffico giornaliero medio (TGM) registrato sul tronco stradale d'interesse, come misurato da apposito rilevatore di traffico. È classificato come alto, medio o basso, considerando quale soglia superiore il valore di 20.000 veicoli/giorno e quale soglia inferiore 6.000 veicoli/giorno. Cioè il traffico sarà alto se è maggiore superiore a 20.000 veicoli/giorno, sarà medio se è compreso tra i 6.000 e i 20.000 veicoli/giorno, sarà basso se è inferiore a 6.000 veicoli/giorno.

Si descrivono nel seguito gli attributi considerati e la loro classificazione (Tabella 10-II).

Per la costruzione della *tabella d'informazione* (tabella dei casi esemplari) sono stati presi in considerazione **125 tronchi stradali tipo, con attributi variabili, prendendo come modello le strade extraurbane secondarie italiane**, con limite legale di 90 km/h. Questa tabella è poi stata sottoposta ad un team di esperti, i quali hanno assegnato, a ciascun caso esemplare, un limite di velocità. Sulla base di questa tabella di decisione il DRSA ha generato delle regole di decisione.

Si illustra dettagliatamente nel paragrafo successivo l'applicazione del DRSA al caso in esame.

**TABELLA 10-II - CLASSIFICAZIONE DEGLI ATTRIBUTI CONSIDERATI NELLA TABELLA DEI CASI ESEMPLARI**

ATTRIBUTO	POSSIBILI VALORI			
LARGHEZZA DELLA CORSIA	IN METRI			
LARGHEZZA DELLA BANCHINA	IN METRI			
CONDIZIONI DEI MARGINI	BUONE CONDIZIONI		CATTIVE CONDIZIONI	
	BEN IDENTIFICABILI, LIBERI DA VEGETAZIONE E NON COPERTI DA TERRENO		COPERTI DI VEGETAZIONE O DA TERRENO E NON BEN IDENTIFICABILI	
SEGNALETICA	PRESENTE, BEN VISIBILE E CHIARA		ASSENTE, MOLTO POCO VISIBILE E/O AMBIGUA	
CONDIZIONI DELLA PAVIMENTAZIONE	OTTIMO STATO	MEDIO/BUONO STATO	PESSIMO STATO	
ROADSIDE HAZARD RATING	1	2	3	4
	✓ BARRIERE DI RITENUTA PRESENTI OVE NECESSARIO E CORRETTAMENTE E INSTALLATE A NORMA ✓ ASSENZA DI OSTACOLI FISSI (ALBERI, PALI, TERRAPIENI,...) ✓ POSSIBILITÀ DI RICOVERO IN CASO DI FUORIUSCITA DI STRADA	✓ BARRIERE DI RITENUTA PRESENTI OVE NECESSARIO MA NON CORRETTAMENTE INSTALLATE O NON A NORMA ✓ PRESENZA PARZIALE DI OSTACOLI FISSI (ALBERI, PALI, TERRAPIENI,...) POSSIBILITÀ PARZIALE DI RICOVERO IN CASO DI FUORIUSCITA DI STRADA	✓ BARRIERE DI RITENUTA PRESENTI SOLO IN PARTE ✓ PRESENZA SIGNIFICATIVA DI OSTACOLI FISSI (ALBERI, PALI, TERRAPIENI,...) POSSIBILITÀ MOLTO RIDOTTA DI RICOVERO IN CASO DI FUORIUSCITA DI STRADA CON PROBABILITÀ DI COLLISIONE CON ALTRI VEICOLI	✓ ASSENZA TOTALE DI BARRIERE DI RITENUTA ✓ ESPOSIZIONE AD OSTACOLI RIGIDI SCARPATE AD ELEVATA PENDENZA ✓ NESSUNA POSSIBILITÀ DI RICOVERO IN CASO DI FUORIUSCITA DI STRADA
TASSO D'INCIDENTALITÀ	ALTO		BASSO	
ADVERSE ALIGNMENT	PRESENTE		ASSENTE	
STATO DELLA SUPERFICIE STRADALE	ASCIUTTO		BAGNATO	
PIOGGIA	ASSENZA DI PRECIPITAZIONI		PRECIPITAZIONI MODERATE	PRECIPITAZIONI INTENSE
	NO		< 6 MM/ORA	> 6 MM/ORA
VENTO	ASSENZA DI VENTO/VENTO MODERATO		PRESENZA DI VENTO/VENTO INTENSO	
	< 30 KM/H		> 30 KM/H	
NEBBIA	ASSENZA DI NEBBIA		PRESENZA DI NEBBIA	
	VISIBILITÀ > 1000 METRI		VISIBILITÀ < 1000 METRI	
VOLUME DI TRAFFICO	RIDOTTI VOLUMI DI TRAFFICO		ELEVATI VOLUMI DI TRAFFICO	
	VEICOLI/GIORNO ≤ 6.000		VEICOLI/GIORNO ≥ 6.000	

## 10.3 APPLICAZIONE DEL DRSA PER LA DETERMINAZIONE DELLE REGOLE DI DECISIONE

### 10.3.1 TABELLA D'INFORMAZIONE E RELAZIONE DI DOMINANZA

Punto di partenza di un'analisi di dati tramite la teoria dei Rough Set è la tabella d'informazione (*information table*), formata da righe riportanti gli "oggetti" descritti dagli "attributi" disposti lungo le colonne. Nel caso in esame nella tabella d'informazione ad ogni riga corrisponde un tronco stradale (definiti "*objects*") mentre le colonne della tabella contengono le caratteristiche tecniche e funzionali (definiti "*attributes*"), opportunamente scelti, che descrivono ogni tronco stradale individuato. Alcuni attributi sono chiamati criteri perché le informazioni che forniscono si basano su una relazione di preferenza intrinseca, nel senso che l'insieme dei valori che essi possono assumere è ordinato secondo una preferenza che deriva dalle caratteristiche del problema.

La *tabella d'informazione* dal punto di vista formale è rappresentata dalla quadrupla  $S = (U, Q, V, f)$ , dove a ogni oggetto dell'universo  $U$  considerato, è associato un certa quantità di informazioni relative a una serie di attributi  $Q = (q_1, q_2, q_3, \dots, q_m)$  tramite la funzione  $f: U \times Q \rightarrow V$  con  $V$  insieme dei valori con i quali viene espressa l'informazione.

La *tabella d'informazione* contiene pertanto l'universo  $U$  degli oggetti considerati e l'insieme finito  $Q$  degli attributi.

Si indica con  $V_q$  l'insieme dei valori assunti da un attributo  $q \in Q$  e pertanto  $V = \bigcup_{q \in Q} V_q$ .

La *funzione di informazione*  $f$  è una funzione definita in  $U \times Q$  che ha valori in  $V$ , tale che per ogni  $q \in Q$  e  $x \in U$   $f(x, q) \in V_q$ . In parole semplici  $f(x, q)$  restituisce il valore dell'attributo  $q \in Q$  relativo all'oggetto  $x \in U$ .

Gli attributi utilizzati per descrivere gli elementi distintivi di ogni tronco stradale omogeneo sono quelli elencati al paragrafo precedente, con (in parentesi) i valori che possono assumere:

- A<sub>1</sub>= Larghezza della corsia (in metri);
- A<sub>2</sub>= Larghezza della banchina (in metri);
- A<sub>3</sub>= Condizioni dei margini (buone(B)/cattive (C));
- A<sub>4</sub>= Segnaletica (si o no);
- A<sub>5</sub>= Condizioni della pavimentazione – alto (A), medio (M) e basso (B);
- A<sub>6</sub>= Roadside Hazard Rating (1, 2, 3 o 4);
- A<sub>7</sub>= Tasso d'incidentalità - alto (A) o basso (B);
- A<sub>8</sub>= Adverse Alignment (si o no);
- A<sub>9</sub>= Stato della superficie stradale (asciutto/bagnato);
- A<sub>10</sub>= Pioggia – assente (no), moderata (M), intensa (I);
- A<sub>11</sub>= Vento – presente (si)/assente (no);

$A_{12}$ = Nebbia – presente (si)/assente (no);

$A_{13}$ = Volume di Traffico – alto (A), medio (M) e basso (B);

Per la costruzione della *tabella d'informazione* sono stati presi in considerazione 125 tronchi stradali tipo, con attributi variabili, prendendo come modello le strade extraurbane secondarie italiane, con limite legale di 90 km/h.

I tronchi stradali tipo sono stati selezionati tenendo in conto le caratteristiche geometriche, operative, di manutenzione e il tasso d'incidentalità, ottenendo delle *speed zones* con caratteristiche omogenee e di lunghezza sempre superiore a 300 metri.

Per la teoria dei Rough Set si possono distinguere due tipologie di attributi, gli attributi condizionali  $C$  e gli attributi decisionali  $D$ ; allora la tabella d'informazione  $S$  diventa una tabella di decisione (*decision table*) definita come  $S = (U, C, D, V, f)$  con  $C \cap D = \emptyset$  e  $C \cup D = Q$ .

Nella presente applicazione quelli in precedenza elencati sono gli attributi condizionali; l'attributo decisionale, per ogni tronco stradale individuato, è il limite di velocità raccomandato da un gruppo di esperti quale limite di velocità più appropriato tra i valori di 50, 60, 70, 80 e 90 km/h (limite legale imposto in Italia per la tipologia di strade in esame).

La tabella d'informazione utilizzata nella presente applicazione è riportata parzialmente in Tabella 10-III e per intero in allegato (Tabella 14-II).

Anche in questo caso tutti gli attributi condizionali considerati sono *criteri*, in quanto possono essere ordinati in funzione dell'attributo decisionale considerato.

Assunto dunque che tutti gli attributi condizionali siano dei *criteri*, sia  $\succsim_q$  la relazione di *preferenza debole* su  $U$  riferita al criterio  $q \in Q$ , dove  $x \succsim_q y$  ha il significato "x è almeno tanto buono quanto y rispetto al criterio q". Ciò presuppone che  $\succsim_q$  sia un preordine completo, ovvero una relazione binaria riflessiva e transitiva, definita in  $U$  sulla base della valutazione  $f(\cdot, q)$ .

L'insieme di attributi decisionali  $D$  (eventualmente un singoletto  $\{d\}$ ) genera una partizione di  $U$  in un numero finito di classi, sia  $Cl = \{Cl_t, t \in T\}$ ,  $T = \{1, 2, \dots, n\}$  con  $n$  numero delle classi, una classificazione di  $U$ , tale che ogni  $x \in U$  appartiene ad un'unica classe  $Cl_t \in Cl$ .

Si suppone che le classi siano ordinate, ossia che per tutti gli  $r, s \in T$  tali che  $r > s$  allora gli oggetti  $Cl_r$  saranno preferiti agli oggetti di  $Cl_s$ . Più formalmente se  $\succsim$  è in una relazione di preferenza debole su  $U$ , ovvero se per ogni  $x, y \in U$ ,  $x \succsim y$ , allora "x è almeno tanto buono quanto y":

$$[x \in Cl_r, y \in Cl_s, r > s] \Rightarrow [x \succsim y \text{ e non } y \succsim x]$$

Tale relazione di preferenza tra le classi di  $Cl$  costituisce la base concettuale dei problemi di classificazione multi-criteriale (*multiple criteria sorting problem*) (123).

Nella presente applicazione l'insieme degli attributi decisionali  $D$  è un singoletto dato dall'attributo "limite di velocità consigliato" che scompone l'universo  $U$  delle 100 sezioni stradali nelle seguenti classi:

- $Cl_1$  formata dalle sezioni stradali con limite di velocità consigliato pari a 50 km/h;
- $Cl_2$  formata dalle sezioni stradali con limite di velocità consigliato pari a 60 km/h;
- $Cl_3$  formata dalle sezioni stradali con limite di velocità consigliato pari a 70 km/h;
- $Cl_4$  formata dalle sezioni stradali con limite di velocità consigliato pari a 80 km/h;
- $Cl_5$  formata dalle sezioni stradali con limite di velocità consigliato pari a 90 km/h.

**TABELLA 10-III- TABELLA DI DECISIONE (DECISION TABLE) – STRALCIO**

TRONCO STRADALE	ATTRIBUTI CONDIZIONALI													ATTRIBUTO DECISIONALE
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	A <sub>7</sub>	A <sub>8</sub>	A <sub>9</sub>	A <sub>10</sub>	A <sub>11</sub>	A <sub>12</sub>	A <sub>13</sub>	LIMITE DI VELOCITÀ CONSIGLIATO
	LARGHEZZA DELLA CORSIA	LARGHEZZA DELLA BANCHINA	CONDIZIONI DEI MARGINI	SEGNALETICA	CONDIZIONI DELLA PAVIMENTAZIONE	ROADSIDE HAZARD RATING	TASSO D'INCIDENTALITÀ	ADVERSE ALIGNMENT	CONDIZIONI SUP. STRADALE	PIOGGIA	VENTO	NEBBIA	VOLUME DI TRAFFICO	0
1	3.25	0.00	C	SI	M	1	B	NO	B	NO	NO	SI	B	80
2	3.25	1.00	B	SI	A	1	A	NO	B	M	NO	NO	B	80
3	3.50	1.00	C	SI	M	2	B	SI	A	NO	NO	SI	B	70
4	3.50	1.00	B	SI	M	4	A	SI	B	M	SI	NO	A	60
5	3.50	0.00	C	NO	A	2	B	NO	B	M	NO	NO	B	80
6	3.50	1.00	B	SI	B	1	B	SI	A	NO	NO	NO	B	80
7	3.50	1.25	B	SI	A	2	A	SI	B	I	NO	SI	A	60
8	3.50	0.00	C	NO	B	4	A	SI	A	NO	NO	SI	A	50
9	3.75	0.00	C	NO	M	2	B	SI	A	NO	NO	SI	A	70
10	3.75	0.75	C	SI	B	3	A	SI	A	NO	NO	SI	A	50
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
120	3.50	1.00	B	SI	A	2	B	SI	A	NO	NO	NO	B	90
121	3.75	1.25	B	SI	A	3	B	NO	A	M	NO	NO	B	90
122	3.75	0.00	C	NO	M	2	B	NO	A	NO	NO	NO	B	90
123	3.50	1.25	B	SI	M	3	B	NO	A	NO	NO	NO	B	90
124	3.75	0.00	C	NO	M	1	A	NO	A	NO	NO	NO	B	90
125	3.50	1.25	B	SI	A	2	A	NO	A	M	NO	NO	B	90

### 10.3.2 APPROSSIMAZIONI BASATE SULLA DOMINANZA

La ripartizione dell'universo in classi permette di definire nel rispetto della relazione di dominanza, delle unioni di classi, chiamate *unioni ascendenti* e *unioni discendenti* delle classi così definite:

$$Cl_t^{\geq} = \bigcup_{s \geq t} Cl_s$$

$$Cl_t^{\leq} = \bigcup_{s \leq t} Cl_s$$

con  $t = \{1, 2, \dots, n\}$ .

Nel caso in esame:

- l'*unione ascendente*  $Cl_1^{\geq}$  è formata dalle sezioni stradali nelle quali il limite di velocità è almeno pari a 50 km/h ( $\geq 50$  km/h)
- l'*unione ascendente*  $Cl_2^{\geq}$  è formata dalle sezioni stradali nelle quali il limite di velocità è almeno pari a 60 km/h ( $\geq 60$  km/h);
- l'*unione ascendente*  $Cl_3^{\geq}$  è formata dalle sezioni stradali nelle quali il limite di velocità è almeno pari a 70 km/h ( $\geq 70$  km/h);
- l'*unione ascendente*  $Cl_4^{\geq}$  è formata dalle sezioni stradali nelle quali il limite di velocità è almeno pari a 80 km/h ( $\geq 80$  km/h);
- l'*unione ascendente*  $Cl_5^{\geq}$  è formata dalle sezioni stradali nelle quali il limite di velocità è almeno pari a 90 km/h ( $\geq 90$  km/h);
- l'*unione discendente*  $Cl_1^{\leq}$  è formata dalle sezioni stradali nelle quali il limite di velocità è al massimo pari a 50 km/h ( $\leq 50$  km/h);
- l'*unione discendente*  $Cl_2^{\leq}$  è formata dalle sezioni stradali nelle quali il limite di velocità è al massimo pari a 60 km/h ( $\leq 60$  km/h);
- l'*unione discendente*  $Cl_3^{\leq}$  è formata dalle sezioni stradali nelle quali il limite di velocità è al massimo pari a 70 km/h ( $\leq 70$  km/h);
- l'*unione discendente*  $Cl_4^{\leq}$  è formata dalle sezioni stradali nelle quali il limite di velocità è al massimo pari a 80 km/h ( $\leq 80$  km/h).
- l'*unione discendente*  $Cl_5^{\leq}$  è formata dalle sezioni stradali nelle quali il limite di velocità è al massimo pari a 90 km/h ( $\leq 90$  km/h).

L'espressione  $x \in Cl_t^{\geq}$  significa che "x appartiene almeno alla classe  $Cl_t^{\geq}$ ", mentre  $x \in Cl_t^{\leq}$  significa che "x appartiene almeno alla classe  $Cl_t^{\leq}$ ",  $Cl \in Cl_t$ .

È da notare che  $Cl_1^{\geq} = Cl_n^{\leq} = U$  e che  $Cl_n^{\leq} = Cl_1$ . Nella presente applicazione l'unione ascendente  $Cl_1^{\geq}$  e l'unione discendente  $Cl_4^{\leq}$  contengono tutti i 125 tronchi stradali considerati: per tutti i tronchi stradali considerati infatti il limite di velocità sarà sempre almeno pari a 50 km/h e al massimo pari a 90 km/h.

Inoltre per  $t = 2, \dots, n$ , si ha:

$$Cl_{t-1}^{\leq} = U - Cl_t^{\geq}$$

$$Cl_t^{\geq} = U - Cl_{t-1}^{\leq}$$

Si dice che  $x$  *domina*  $y$ , cioè  $x D_P y$  rispetto a  $P \subseteq C$ , se  $x \succ_q y$  per ogni  $q \in P$ . Allora, considerato  $P \subseteq C$ , si definiscono per ogni  $x \in U$  i “granuli di conoscenza” usati per le approssimazioni nel DRSA sono:

- l’insieme degli oggetti che dominano  $x$ , chiamati *P-Dominanti* (*P-dominating set*),

$$D_P^+(x) = \{y \in U: y D_P x\}$$

- l’insieme degli oggetti dominati da  $x$ , chiamati *P-Dominati* (*P-dominated set*),

$$D_P^-(x) = \{y \in U: x D_P y\}$$

Gli insiemi dominati e gli insiemi dominanti costituiscono dei “granuli di conoscenza” nel senso che si suppone che le sezioni stradali che dominano  $x$  dovrebbero essere classificate come con limite di velocità “almeno” pari a quello di  $x$ , così come quelle dominate da  $x$  possono essere classificate come con limite di velocità “al massimo” pari a quello di  $x$ .

Per ogni  $P \subseteq C$  si dice  $x \in U$  appartiene alla classe  $Cl_t^{\geq}$  senza alcuna ambiguità se  $x \in Cl_t^{\geq}$  e, per ogni oggetto  $y \in U$  dominato da  $x$  rispetto a  $P$ , si ha  $y \in Cl_t^{\geq}$ , ossia  $D_P^+(x) \subseteq Cl_t^{\geq}$ . In altre parole, un’ambiguità relativa ad ogni oggetto  $x$  rispetto al criterio  $P$  riguarda il caso in cui ci sia almeno un altro oggetto che “non è peggiore di  $x$ ” per tutti i criteri considerati in  $P$  e tuttavia assegnati ad una classe “peggiore”.

Si dice che  $y \in U$  può appartenere alla classe  $Cl_t^{\geq}$  con eventualmente qualche ambiguità se esiste almeno un oggetto  $x \in Cl_t^{\geq}$  tale che  $y$  domini  $x$  rispetto all’insieme  $P \subseteq C$ , ovvero  $y \in D_P^+(x)$ .

Rispetto a  $P \subseteq C$ , l’insieme di tutti gli oggetti appartenenti alla classe  $Cl_t^{\geq}$  senza alcuna ambiguità costituisce l’*approssimazione inferiore* di  $P$  in  $Cl_t^{\geq}$  (*P-lower approximation of  $Cl_t^{\geq}$* ), denotata con  $\underline{P}(Cl_t^{\geq})$ , mentre l’insieme di tutti gli oggetti che potrebbero appartenere alla classe  $Cl_t^{\geq}$ , eventualmente con qualche ambiguità, costituisce l’*approssimazione superiore* di  $P$  in  $Cl_t^{\geq}$  (*P-upper approximation of  $Cl_t^{\geq}$* ), denotata con  $\overline{P}(Cl_t^{\geq})$ :

$$\underline{P}(Cl_t^{\geq}) = \{x \in U: D_P^+(x) \subseteq Cl_t^{\geq}\}$$

$$\overline{P}(Cl_t^{\geq}) = \bigcup_{x \in Cl_t^{\geq}} D_P^+(x), t = 1, 2, \dots, n$$

Si osservi che  $\underline{P}(Cl_t^{\geq}) \subseteq \overline{P}(Cl_t^{\geq})$  per ogni  $P \subseteq C$  e per ogni  $t = 1, 2, \dots, n$ .

Le frontiere rispetto a  $P$  di  $Cl_t^{\geq}$  e  $Cl_t^{\leq}$  (*P-boundaries o P-doubtful regions*) sono definite come:

$$Bn_P(Cl_t^{\geq}) = \overline{P}(Cl_t^{\geq}) - \underline{P}(Cl_t^{\geq})$$

$$Bn_P(Cl_t^{\leq}) = \overline{P}(Cl_t^{\leq}) - \underline{P}(Cl_t^{\leq})$$

per  $t = 1, 2, \dots, n$ .

Più semplicemente la frontiera  $Bn_P(Cl_t^{\geq})$  è composta da tutti gli oggetti ambigui rispetto al set di criteri  $P$  e dall’unione superiore delle classi  $Cl_t^{\geq}$ . Analogamente, la frontiera  $Bn_P(Cl_t^{\leq})$

è composta da tutti gli oggetti ambigui rispetto al set di criteri P e dall'unione inferiore delle classi  $Cl_t^{\leq}$ .

A causa della complementarità dell'approssimazione di tipo rough (126) seguono le seguenti proprietà:

$$\begin{aligned} Bn_P(Cl_t^{\geq}) &= Bn_P(Cl_{t-1}^{\leq}) \text{ per } t = 1, 2, \dots, n \text{ e} \\ Bn_P(Cl_t^{\leq}) &= Bn_P(Cl_{t+1}^{\geq}) \text{ per } t = 1, 2, \dots, n. \end{aligned}$$

### 10.3.3 QUALITÀ DELL'APPROSSIMAZIONE ED INSIEMI RIDOTTI

Come nel caso dell'approccio classico, si possono definire i parametri relativi alla qualità delle approssimazioni. E' possibile definire per ogni  $t \in T$  la *qualità dell'approssimazione* (*quality of sorting*) della classificazione  $Cl$ , in funzione del set di criteri  $P \subseteq C$  come:

$$\gamma_P(Cl) = \frac{\text{card}(U - (\cup_{t \in T} Bn_P(Cl_t^{\geq})))}{\text{card } U} = \frac{\text{card}(U - (\cup_{t \in T} Bn_P(Cl_t^{\leq})))}{\text{card } U}$$

La qualità dell'approssimazione  $\gamma_P(Cl)$  è il rapporto fra gli oggetti correttamente rappresentati tramite gli attributi di P e il numero di oggetti dell'universo, cioè la percentuale di oggetti per cui non c'è ambiguità.

Bisogna osservare che ampliando l'insieme dei criteri considerati, la qualità dell'approssimazione non può crescere ma in generale può decrescere. Infatti, prendendo in considerazione dei nuovi criteri, oggetti che erano ambigui possono diventare non ambigui.

Nel presente caso non si verificano inconsistenze.

Anche nel caso in esame, con riferimento alla tabella delle informazioni riportata in Tabella 10-III, sono stati calcolati i ridotti separatamente per ogni classe considerata: in Tabella 10-IV, Tabella 10-V, Tabella 10-VI, Tabella 10-VII, sono mostrati i criteri che costituiscono i ridotti rispettivamente per il limite di velocità 60 km/h, 70 km/h, 80 km/h e 90 km/h. I ridotti calcolati permettono di individuare quegli attributi per i quali, per ogni limite di velocità raccomandato (dunque per ogni classe Cl), è mantenuta la stessa qualità di approssimazione dell'intero set di criteri C, e più precisamente:

- la Tabella 10-IV mostra che esistono quattro ridotti che permettono di discriminare tra sezioni stradali con limite di velocità raccomandato  $\geq 60$  km/h e sezioni stradali con limite di velocità raccomandato  $< 60$  km/h;
- la Tabella 10-V mostra che esistono invece due ridotti che permettono di discriminare tra sezioni stradali con limite di velocità raccomandato  $\geq 70$  km/h e sezioni stradali con limite di velocità raccomandato  $< 70$  km/h;
- la Tabella 10-VI mostra gli undici ridotti che consentono di discriminare tra sezioni stradali con limite di velocità raccomandato  $\geq 80$  km/h e sezioni stradali con limite di velocità raccomandato  $< 80$  km/h

- la Tabella 10-VII mostra gli otto ridotti che consentono di discriminare tra sezioni stradali con limite di velocità raccomandato  $\geq 90$  km/h e sezioni stradali con limite di velocità raccomandato  $< 90$  km/h

Tutti i sottoinsiemi di criteri (ridotti) individuati sono ugualmente buoni e sufficienti a garantire una qualità di approssimazione pari a quella dell'intera tabella delle informazioni considerata (Tabella 10-III).

Ad esempio, rispetto alla velocità 60 km/h, prendendo in considerazione il sottoinsieme di attributi che costituiscono il primo ridotto, ovvero:  $A_1$  (*larghezza della corsia*),  $A_2$  (*larghezza della banchina*),  $A_6$  (*RHR*),  $A_7$  (*tasso d'incidentalità*),  $A_8$  (*adverse alignment*),  $A_9$  (*stato della pavimentazione stradale*),  $A_{10}$  (*pioggia*),  $A_{12}$  (*nebbia*), per le sezioni stradali con limite di velocità raccomandato  $\geq 60$  km/h e  $\leq 60$  km/h, si avranno le stesse inconsistenze presenti per l'intero dataset dei criteri. Ci sono cinque criteri presenti in tutti i ridotti calcolati per il limite di velocità 60 km/h (Tabella 10-IV): questi costituiscono il core, ovvero quel sottoinsieme di criteri che possono essere considerati come "i più importanti" ed indispensabili a spiegare le decisioni degli esperti per le sezioni stradali con limite di velocità raccomandato  $\geq 60$  km/h e  $\leq 60$  km/h.

**TABELLA 10-IV – RIDOTTI PER LIMITE DI VELOCITÀ CONSIGLIATO 60 KM/H**

CRITERI		RIDOTTI				CORE
		#1	#2	#3	#4	
A <sub>1</sub>	LARGHEZZA DELLA CORSIA	X				
A <sub>2</sub>	LARGHEZZA DELLA BANCHINA	X	X		X	
A <sub>3</sub>	CONDIZIONI DEI MARGINI			X		
A <sub>4</sub>	SEGNALETICA			X		
A <sub>5</sub>	CONDIZIONI DELLA PAVIMENTAZIONE		X	X		
A <sub>6</sub>	ROADSIDE HAZARD RATING	X	X	X	X	X
A <sub>7</sub>	TASSO D'INCIDENTALITÀ	X	X	X	X	X
A <sub>8</sub>	ADVERSE ALIGNMENT	X	X	X	X	X
A <sub>9</sub>	STATO DELLA SUPERFICIE STRADALE	X	X	X	X	X
A <sub>10</sub>	PIOGGIA	X	X	X	X	X
A <sub>11</sub>	VENTO					
A <sub>12</sub>	NEBBIA	X	X	X	X	
A <sub>13</sub>	VOLUME DI TRAFFICO				X	

**TABELLA 10-V – RIDOTTI PER LIMITE DI VELOCITÀ CONSIGLIATO 70 KM/H**

CRITERI		RIDOTTI		CORE
		#1	#2	
A <sub>1</sub>	LARGHEZZA DELLA CORSIA			
A <sub>2</sub>	LARGHEZZA DELLA BANCHINA	X		
A <sub>3</sub>	CONDIZIONI DEI MARGINI		X	
A <sub>4</sub>	SEGNALETICA			
A <sub>5</sub>	CONDIZIONI DELLA PAVIMENTAZIONE	X	X	X
A <sub>6</sub>	ROADSIDE HAZARD RATING	X	X	X
A <sub>7</sub>	TASSO D'INCIDENTALITÀ	X	X	X
A <sub>8</sub>	ADVERSE ALIGNMENT	X	X	X
A <sub>9</sub>	STATO DELLA SUPERFICIE STRADALE			
A <sub>10</sub>	PIOGGIA	X	X	X
A <sub>11</sub>	VENTO			
A <sub>12</sub>	NEBBIA	X	X	X
A <sub>13</sub>	VOLUME DI TRAFFICO	X	X	X

**TABELLA 10-VI – RIDOTTI PER LIMITE DI VELOCITÀ CONSIGLIATO 80 KM/H**

CRITERI		RIDOTTI											CORE #1
		#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11	
A <sub>1</sub>	LARGHEZZA DELLA CORSIA												
A <sub>2</sub>	LARGHEZZA DELLA BANCHINA	X		X			X		X			X	
A <sub>3</sub>	CONDIZIONI DEI MARGINI	X	X				X	X	X	X			
A <sub>4</sub>	SEGNALETICA		X		X	X		X		X	X		
A <sub>5</sub>	CONDIZIONI DELLA PAVIMENTAZIONE				X								
A <sub>6</sub>	ROADSIDE HAZARD RATING	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
A <sub>7</sub>	TASSO D'INCIDENTALITÀ	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
A <sub>8</sub>	ADVERSE ALIGNMENT	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
A <sub>9</sub>	STATO DELLA SUPERFICIE STRADALE	X	X	X	X	X	X				X		
A <sub>10</sub>	PIOGGIA	X	X			X			X	X		X	
A <sub>11</sub>	VENTO			X	X	X					X	X	
A <sub>12</sub>	NEBBIA	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
A <sub>13</sub>	VOLUME DI TRAFFICO						X	X	X	X	X	X	

**TABELLA 10-VII – RIDOTTI PER LIMITE DI VELOCITÀ CONSIGLIATO 90 KM/H**

CRITERI		RIDOTTI								CORE
		#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	
A <sub>1</sub>	LARGHEZZA DELLA CORSIA	X	X	X	X	X		X		
A <sub>2</sub>	LARGHEZZA DELLA BANCHINA	X	X			X	X		X	
A <sub>3</sub>	CONDIZIONI DEI MARGINI	X		X			X	X		
A <sub>4</sub>	SEGNALETICA				X		X			
A <sub>5</sub>	CONDIZIONI DELLA PAVIMENTAZIONE	X	X	X	X	X	X	X	X	X
A <sub>6</sub>	ROADSIDE HAZARD RATING	X	X	X	X	X	X	X	X	X
A <sub>7</sub>	TASSO D'INCIDENTALITÀ			X	X		X		X	
A <sub>8</sub>	ADVERSE ALIGNMENT	X	X	X	X	X	X	X	X	X
A <sub>9</sub>	STATO DELLA SUPERFICIE STRADALE	X	X	X	X	X	X	X	X	X
A <sub>10</sub>	PIOGGIA									
A <sub>11</sub>	VENTO		X	X	X			X	X	
A <sub>12</sub>	NEBBIA	X	X	X	X	X	X	X	X	X
A <sub>13</sub>	VOLUME DI TRAFFICO					X	X	X	X	

È rilevante osservare che – anche in questo caso - i criteri che costituiscono i ridotti (e il core) sono differenti per i quattro limiti di velocità considerati: per ogni limite di velocità il gruppo di esperti ha preso in considerazione differenti attributi, dando maggiore o minore importanza ad alcuni piuttosto che ad altri a seconda del limite di velocità “da consigliare”.

#### 10.3.4 REGOLE DECISIONALI E STRATEGIE DI ESTRAZIONE

Risultato finale di un’analisi effettuata con il DRSA è un insieme di regole decisionali, espresse in termini di proposizioni del tipo “se..., allora...” chiamate *regole di decisione*.

Le regole di decisione generate dall’approccio dei rough set non derivano direttamente dalla *decision table* ma dalle approssimazioni inferiore e superiore delle unioni ascendenti e discendenti delle classi decisionali.

Per una data unione ascendente  $Cl_t^{\geq}$  o discendente  $Cl_s^{\leq}$ , le regole estratte nell’ipotesi che gli oggetti appartenenti a  $\underline{P}(Cl_t^{\geq})$  o a  $\overline{P}(Cl_s^{\leq})$  siano *positivi* e tutti gli altri *negativi*, suggeriscono, rispettivamente, una formulazione delle stesse del tipo “...allora  $x$  appartiene almeno alla classe  $Cl_t^{\geq}$ ” o “...allora  $x$  appartiene al massimo alla classe  $Cl_s^{\leq}$ ”. Le regole estratte invece nell’ipotesi che gli oggetti appartenenti all’intersezione delle approssimazioni superiori dell’unione delle classi  $\underline{P}(Cl_s^{\leq}) \cap \underline{P}(Cl_t^{\geq})$  siano tutti *positivi* e i rimanenti *negativi*,

suggeriscono invece che l'oggetto potrebbe appartenere ad una delle classi comprese fra  $Cl_t$  e  $Cl_s$  con ( $s < t$ .)

Più formalmente, assumendo per ogni  $q \in C, V_q \subseteq R$  (con  $V_q$  quantitativo) e per ogni  $x, y \in U$  che  $f(x, y) \geq f(y, q)$  implica che  $x \succcurlyeq_q y$  (con  $V_q$  ordinato per preferenza), si possono considerare i seguenti tre tipi di regole decisionali:

- *Regole decisionali  $D_{\geq}$* : forniscono indicazioni relative a limiti inferiori dei criteri per oggetti che appartengono all'unione ascendente delle classi  $Cl_t^{\geq}$  e assumono la forma generale:

$$\text{se } f(x, q_1) \succcurlyeq r_{q_1} \text{ e } f(x, q_2) \succcurlyeq r_{q_2} \text{ e } \dots \text{ e } f(x, q_p) \succcurlyeq r_{q_p} \\ \text{allora } x \in Cl_t^{\geq}$$

con:

$$P = \{q_1, q_2, \dots, q_p\} \subseteq C \\ r_{q_1}, r_{q_2}, \dots, r_{q_p} \in V_{q_1} \times V_{q_2} \times \dots \times V_{q_p} \\ t \in T;$$

- *Regole decisionali  $D_{\leq}$* : forniscono indicazioni relative a limiti superiori dei criteri per oggetti che appartengono all'unione discendente delle classi  $Cl_t^{\leq}$  e assumono la forma generale:

$$\text{se } f(x, q_1) \preccurlyeq r_{q_1} \text{ e } f(x, q_2) \preccurlyeq r_{q_2} \text{ e } \dots \text{ e } f(x, q_p) \preccurlyeq r_{q_p} \\ \text{allora } x \in Cl_t^{\leq}$$

con:

$$P = \{q_1, q_2, \dots, q_p\} \subseteq C \\ r_{q_1}, r_{q_2}, \dots, r_{q_p} \in V_{q_1} \times V_{q_2} \times \dots \times V_{q_p} \\ t \in T;$$

- *Regole decisionali  $D_{\geq \leq}$* : forniscono indicazioni relative simultaneamente a limiti superiori e inferiori dei criteri per oggetti che appartengono all'unione di classi intermedie classi  $Cl_s \cup Cl_{s+1} \cup \dots \cup Cl_{t-1} \cup Cl_t$  senza possibilità di distinguere quale, e assumono la forma generale:

$$\text{se } f(x, q_1) \succcurlyeq r_{q_1} \text{ e } f(x, q_2) \succcurlyeq r_{q_2} \text{ e } \dots \text{ e } f(x, q_k) \succcurlyeq r_{q_k} \text{ e } f(x, q_{k+1}) \\ \succcurlyeq r_{q_{k+1}} \text{ e } \dots \text{ e } f(x, q_p) \succcurlyeq r_{q_p} \\ \text{allora } x \in Cl_s^{\leq} \cup Cl_{s+1}^{\leq} \cup \dots \cup Cl_{t-1}^{\leq} \cup Cl_t^{\leq}$$

con:

$$O' = \{q_1, q_2, \dots, q_k\} \subseteq C \\ O'' = \{q_{k+1}, q_{k+2}, \dots, q_p\} \subseteq C \\ P = O' \cup O'' \text{ con } O' \text{ e } O'' \text{ non necessariamente disgiunti} \\ r_{q_1}, r_{q_2}, \dots, r_{q_p} \in V_{q_1} \times V_{q_2} \times \dots \times V_{q_p} \\ s, t \in T;$$

$$s < t$$

È possibile che  $\{q_1, q_2, \dots, q_k\} \cap \{q_{k+1}, q_{k+2}, \dots, q_p\} \neq \emptyset$  nella parte condizionale di una regola decisionale  $D_{\geq s}$  e che si possa avere  $f(x, q) \geq r_q$  e  $f(x, q) \geq r'_q$  con  $r_q \leq r'_q$  per  $q \in C$ . Inoltre se  $r_q = r'_q$ , le due condizioni divengono  $f(x, q) = r_q$  e si avrebbe una situazione di indifferenza.

Si dice che un elemento  $x \in U$  supporta (*support*) la regola decisionale  $r$  se l'elemento, sia nella sua parte condizionale che nella sua parte decisionale, ha dato luogo alla generazione della regola stessa.

Se una regola è supportata da oggetti che appartengono esclusivamente all'approssimazione inferiore - *lower approximation* - della classe decisionale allora la regola è detta *certa o deterministica*, se invece è supportata da oggetti che appartengono esclusivamente all'approssimazione superiore (*upper approximation*) della classe decisionale, allora la regola è detta *possibile o probabilistica*. Le regole approssimate sono invece supportate solo da oggetti della frontiera (*boundaries*) della corrispondente classe decisionale.

Nel caso in esame, dalla Tabella 10-III sono state generate **1670 regole decisionali** nella forma "*se.....allora....*", e precisamente:

- 245 regole decisionali che suggeriscono un limite di velocità  $\geq 90$  km/h;
- 463 regole decisionali che suggeriscono un limite di velocità  $\geq 80$  km/h;
- 253 regole decisionali che suggeriscono un limite di velocità  $\geq 70$  km/h;
- 97 regole decisionali che suggeriscono un limite di velocità  $\geq 60$  km/h;
- 207 regole decisionali che suggeriscono un limite di velocità  $\leq 50$  km/h;
- 184 regole decisionali che suggeriscono un limite di velocità  $\leq 60$  km/h;
- 140 regole decisionali che suggeriscono un limite di velocità  $\leq 70$  km/h;
- 81 regole decisionali che suggeriscono un limite di velocità  $\leq 80$  km/h;

Ogni regola decisionale specifica il limite di velocità raccomandato e le ragioni per le quali questo viene raccomandato; per ogni regola decisionale è inoltre possibile sapere quali oggetti della *tabella delle decisioni* supportano la regola.

In Tabella 10-VIII sono riportati alcuni esempi di regole generate.

**TABELLA 10-VIII – ESEMPI DI REGOLE DECISIONALI GENERATE**

SE....	ALLORA....	OGGETTI CHE SUPPORTANO LA REGOLA
LARGHEZZA DELLA CORSIA $\geq$ "3.75 M" E LARGHEZZA DELLA BANCHINA $\geq$ "1.25 M" E CONDIZIONI DELLA PAVIMENTAZIONE $\leq$ "ALTA" E SUPERFICIE DELLA PAVIMENTAZIONE $\leq$ "ASCIUTTA"	<b>Limite di velocità <math>\geq</math> 90 km/h</b>	108, 121
CONDIZIONI DEI MARGINI $\geq$ "ALTE" E ROADISDE HAZARD RATING $\leq$ "3" E PIOGGIA $\leq$ "MODERATA" E VOLUME DI TRAFFICO $\leq$ "MEDIO"	<b>Limite di velocità <math>\geq</math> 80 km/h</b>	2, 6, 19, 51, 68, 80, 97, 100, 101, 104, 105, 107, 108, 109, 112, 113, 116, 120, 121, 123, 125
LARGHEZZA DELLA CORSIA $\geq$ "3.50 M" E SEGNALETICA $\leq$ "PRESENTE" E ADVERSE ALIGNMENT NON $\leq$ "PRESENTE" E SUPERFICIE DELLA PAVIMENTAZIONE $\leq$ "ASCIUTTA"	<b>Limite di velocità <math>\geq</math> 70 km/h</b>	17, 18, 25, 30, 34, 40, 52, 80, 87, 102, 105, 107, 108, 111, 112, 113, 115, 116, 117, 118, 119, 121, 123, 125
LARGHEZZA DELLA BANCHINA $\leq$ "0.50 M" E SEGNALETICA $\leq$ "PRESENTE" E PIOGGIA $\leq$ "MODERATA" E VOLUME DI TRAFFICO $\leq$ "BASSO"	<b>Limite di velocità <math>\geq</math> 60 km/h</b>	2, 3, 6, 19, 25, 32, 38, 51, 68, 72, 77, 80, 82, 93, 97, 98, 101, 104, 105, 107, 108, 109, 112, 113, 116, 120, 121, 123, 125
LARGHEZZA DELLA BANCHINA $\leq$ "0.00 M" E E ROADISDE HAZARD RATING $\geq$ "4" E TASSO D'INCIDENTALITÀ $\geq$ "ALTO"	<b>Limite di velocità <math>\leq</math> 50 km/h</b>	8, 14, 22, 24, 45, 75
LARGHEZZA DELLA CORSIA $\leq$ "3.25 M" E LARGHEZZA DELLA BANCHINA $\leq$ "0.70 M" E CONDIZIONI DEI MARGINI $\leq$ "BASSE" E CONDIZIONI DELLA PAVIMENTAZIONE $\leq$ "BASSE"	<b>Limite di velocità <math>\leq</math> 60 km/h</b>	15, 22, 37, 38, 57, 88
LARGHEZZA DELLA CORSIA $\leq$ "3.50 M" E LARGHEZZA DELLA BANCHINA $\leq$ "1.00 M" E CONDIZIONI DEI MARGINI $\leq$ "MEDIE" E ADVERSE ALIGNMENT $\leq$ "PRESENTE" E VENTO $\leq$ "PRESENTE"	<b>Limite di velocità <math>\leq</math> 70 km/h</b>	4, 15, 42, 61, 62, 73, 89, 98
LARGHEZZA DELLA CORSIA $\leq$ "3.70 M" E LARGHEZZA DELLA BANCHINA $\leq$ "1.20 M" E ADVERSE ALIGNMENT $\leq$ "PRESENTE" E VOLUME DI TRAFFICO $\geq$ "MEDIO"	<b>Limite di velocità <math>\leq</math> 80 km/h</b>	4, 8, 16, 28, 33, 35, 39, 45, 55, 59, 62, 64, 70, 73, 74

## 10.4 DETERMINAZIONE DEL LIMITE DI VELOCITÀ

Una volta definite le *speed-zone*, per determinare il limite di velocità da assegnare ad ognuno dei tronchi stradali omogenei individuati, si utilizza il metodo di analisi multicriteriale presentato nel precedente paragrafo. Il modello di analisi, sulla base delle decisioni degli esperti in merito agli "esempi" della tabella decisionale, ha dato luogo ad una serie di regole in grado fornire al decisore delle indicazioni sulle modalità di scelta dei limiti di velocità.

Il numero di regole generato però è altissimo e non di immediata applicazione e per tale ragione, anche in questo caso, si è sviluppato un programma di calcolo in grado di interfacciarsi in maniera rapida con l'output del DRSA (ossia le regole decisionali) e di consentire la determinazione sulla base delle caratteristiche della *speed zone* considerata, quale sia il limite consigliato e quali sono le regole che hanno dato luogo a tale "consiglio". Inserendo come input i dati caratteristici delle *speed zones* individuate, il programma è in grado di restituire un limite di velocità raccomandato e delle regole decisionali che possono aiutare il decisore a comprendere meglio le ragioni di tale suggerimento.

I dati di input del programma naturalmente ricalcano quelli utilizzati per la determinazione delle regole decisionali e sono quelli riportati in Figura 10-1.

Ad eccezione dei valori "di tipo continuo" consentiti esclusivamente per la larghezza delle corsie e delle banchine, gli altri attributi sono classificati come esposto al paragrafo 10.2.2, e sono dotati di menù a tendina.

Sulla base dei valori inseriti come input – corrispondenti alle caratteristiche della *speed zone* esaminata - il programma legge tutte le regole fornite dal modello di analisi DRSA e "seleziona" quelle che concordano nella parte condizionale con gli attributi della *speed zone* in esame e possono pertanto essere utilizzate nella determinazione del limite di velocità.

**Il programma determina il limite di velocità come quel valore in grado di soddisfare contemporaneamente tutte le regole decisionali selezionate.** Qualora non fosse possibile soddisfare tutte le regole decisionali restituite dal DRSA, si considereranno le regole supportate da un numero sempre maggiore di "oggetti" della *decision table*, fino a quando il set delle regole consentirà la convergenza verso un unico limite di velocità in grado di soddisfare tutte le regole decisionali.

larghezza delle corsie (m)	3,50	adverse alignment	assente
larghezza delle banchine (m)	0,50	superficie della pavimentazione	bagnata
stato dei margini	pessimo	precipitazioni	moderate
segnaletica orizzontale	presente	vento	assente
condizioni della pavimentazione	ottime	nebbia	assente
roadside hazard rating (RHR)	2	volume di traffico	basso
accident rate	alto		

vedi risultati    calcola

FIGURA 10-1 – SCHERMATA DEL PROGRAMMA DI CALCOLO PER L'INSERIMENTO DEI DATI DI INPUT

Ad esempio, considerando una *speed zone* con le seguenti caratteristiche:

- $A_1$  (Larghezza della corsia) = 3,50 m
- $A_2$  (Larghezza della banchina) = 0,50 m
- $A_3$  (Condizioni dei margini) = Pessime
- $A_4$  (Segnaletica) = Presente
- $A_5$  (Condizioni della pavimentazione) = Ottime
- $A_6$  (Roadside Hazard Rating) = 2
- $A_7$  (Tasso d'incidentalità) = Alto
- $A_8$  (Adverse Alignment) = Assente
- $A_9$  (Superficie della pavimentazione) = Bagnata
- $A_{10}$  (Precipitazioni) = Moderate
- $A_{11}$  (Vento) = Assente
- $A_{12}$  (Nebbia) = Assente
- $A_{13}$  (Volumi di traffico) = Basso

Le regole decisionali generate dal modello di analisi DRSA che possono essere utilizzate con tali dati di input - selezionate dal programma - sono 91, di cui:

- ✓ 23 regole decisionali raccomandano un limite di velocità  $\geq 60$  km/h;
- ✓ 28 regole decisionali raccomandano un limite di velocità  $\geq 70$  km/h;
- ✓ 7 regole decisionali raccomandano un limite di velocità  $\geq 80$  km/h;
- ✓ 5 regole decisionali raccomandano un limite di velocità  $\leq 80$  km/h.

Il programma pertanto suggerisce un limite di velocità di 80 km/h, poiché questo è il valore in grado di soddisfare al contempo tutte le regole decisionali. Per la determinazione di tale limite sono state selezionate regole con un supporto superiore a 20.

Naturalmente tale procedura è assolutamente automatizzata. L'output fornito dal software è un unico limite di velocità. Il software fornisce altresì la possibilità di visualizzare le regole che hanno indotto alla generazione del limite e di sapere per ogni regola quali sono gli oggetti che la supportano.

La possibilità, sia per l'esperto sia per il decisore finale, di conoscere "l'origine" di ogni regola - dovuta alla massima trasparenza del metodo di analisi utilizzato - consente di avere un controllo ulteriore sulle scelte effettuate, sia in fase di costruzione della tabella decisionale, che in fase di scelta finale da parte del *decision maker* (DM). Qualora, infatti, vi sia qualche risultato poco convincente l'esperto può controllare la tabella di decisione e decidere di "rivederla" o modificarla, mentre il DM, potendo conoscere i casi esemplari che hanno indotto una determinata regola, può effettuare delle scelte in maniera "critica", decidendo di ignorare o di dare maggior peso ad alcune regole o attributi.

## 10.5 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La metodologia messa a punto nel presente paragrafo potrebbe essere **utilizzata come modello decisionale da utilizzare per il funzionamento di pannelli a messaggio variabile**, che generalmente forniscono dei limiti di velocità dinamici. Tali limiti, variabili in funzione delle condizioni istantanee presenti sul tronco analizzato (trasmesse al sistema da appositi sensori posti sulla strada), tramite il modello decisionale messo a punto, potrebbero essere in grado di calcolare e visualizzare il limite di velocità adeguato alle condizioni della strada stessa.

Tale modello decisionale, rispetto ai modelli attualmente utilizzati – che si limitano a ridurre la velocità di 10 o 20 km/h a seconda delle condizioni della strada – sarebbe in grado di fornire dei limiti ad hoc per il tronco stradale su cui sono posti, considerando un insieme di variabili piuttosto che una variabile alla volta.

Si ribadisce, ancora una volta, che l'applicazione presentata in questa sede è assolutamente esemplificativa e che è possibile utilizzare un numero maggiore di attributi per la descrizione delle *speed zone* e dunque per la determinazione del limite di velocità variabile.



# 11. DEFINIZIONE DEI LIMITI DI VELOCITÀ MEDIANTE DRSA CON DECISORI MULTIPLI

## 11.1 PREMESSA

Grazie alla sua grande flessibilità, il modello di analisi di tipo multi-criteriale con il Dominance-based Rough Set Approach (DRSA), può essere adattato al meglio alle situazioni più diverse, come ad esempio nei casi in cui **chi si deve esprimere nella determinazione delle decisioni esemplari alla base del modello non sia un unico soggetto, ma soggetti differenti con diversi obiettivi.**

In questo capitolo si mostrerà un'applicazione del modello decisionale basato sul DRSA già utilizzato in cui, rispetto al modello presentato nel capitolo 9, si terrà conto delle scelte di tre diverse tipologie di decisori. Pertanto, ferma restando la prima fase d'individuazione dei tronchi omogenei (*speed zone*), l'applicazione mostrata nel presente capitolo è finalizzata alla strutturazione di un modello decisionale in grado di consigliare un limite di velocità per ciascun tronco individuato, che consenta di considerare contemporaneamente nella scelta del limite, le "esigenze" di molteplici decisori, ognuno con obiettivi ben precisi.

## 11.2 METODOLOGIA E DATI DI BASE

In moltissimi problemi reali, gli effetti determinati da un insieme di criteri, non vengono determinati da un unico decisore o da un'unica tipologia di decisori, ma piuttosto da varie tipologie di decisori, con obiettivi differenti da perseguire.

È il problema che si potrebbe presentare nella determinazione dei limiti di velocità in quanto, oltre a quanto consigliato da esperti del settore (che posseggono un punto di vista strettamente “scientifico” sull’argomento), potrebbero altresì essere considerate le esigenze del gestore della strada – che in qualche modo è “responsabile” di quanto avviene sulle strade di sua competenza – o quelle dell’utente finale. Ognuna di queste figure infatti potrebbe essere “interpellata” nella scelta del limite di velocità – come d’altronde avviene in altri paesi (vedasi il paragrafo 6.2.3) – ed esprimere una propria valutazione (sulla base delle proprie “priorità”) che deve poter essere tenuta in conto.

Il DRSA si adatta perfettamente a tale tipo di esigenza: come già anticipato nel paragrafo 7.4, tale metodologia è stata anche proposta come strumento per definire le condizioni in cui si verifica un consenso tra vari decisori, tramite delle regole decisionali generate dalle valutazioni di vari decisori (153).

L’applicazione presentata in questa sede si propone pertanto di mostrare l’applicazione della metodologia già descritta nel capitolo 9, nel caso della presenza di tre differenti tipologie di decisori. Anche in questo caso, sarà necessario strutturare una tabella di casi esemplari da sottoporre ai “decisori”, i quali dovranno effettuare delle “scelte esemplari” che verranno analizzate con il DRSA e andranno a determinare un **insieme di regole decisionali**, sulla base delle quali ci si baserà per la determinazione dei limiti sulle *speed zone* individuate

Gli attributi condizionali, atti a descrivere le caratteristiche delle *speed zone*, sono i medesimi considerati nel caso della determinazione dei limiti di tipo statico, ovvero quelli riportati in Tabella 9-I, classificati come riportato in Tabella 9-II.

Anche in questo caso per la strutturazione della tabella d’informazione (tabella dei casi esemplari) sono stati presi in considerazione **100 tronchi stradali tipo**, con attributi variabili, prendendo come modello le strade extraurbane secondarie italiane, con limite legale di 90 km/h. Questa tabella è poi stata sottoposta, oltre che ad un team di esperti (come fatto nel caso riportato nel capitolo 9), anche ad alcuni gestori e ad alcuni utenti. Ognuna di queste “categorie”, dopo opportune consultazioni, ha assegnato un limite di velocità a ciascun caso esemplare: **in questo caso dunque gli attributi decisionali sono tre, ovvero i tre limiti di velocità consigliati dalle tre differenti categorie di decisori.**

Si illustra dettagliatamente nel paragrafo successivo l’applicazione del DRSA al caso in esame.

### 11.3 APPLICAZIONE DEL DRSA PER LA DETERMINAZIONE DELLE REGOLE DI DECISIONE

Anche in questo caso va considerata una tabella d’informazione (*information table*), formata da righe riportanti gli “oggetti” descritti dagli “attributi” disposti lungo le colonne. Nel caso

in esame nella tabella d'informazione ad ogni riga corrisponde un tronco stradale (definiti "objects") mentre le colonne della tabella contengono le caratteristiche tecniche e funzionali (definiti "attributes"), opportunamente scelti, che descrivono ogni tronco stradale individuato.

Alcuni attributi sono chiamati criteri perché le informazioni che forniscono si basano su una relazione di preferenza intrinseca, nel senso che l'insieme dei valori che essi possono assumere è ordinato secondo una preferenza che deriva dalle caratteristiche del problema.

La *tabella d'informazione* dal punto di vista formale è rappresentata dalla quadrupla  $S = (U, Q, V, f)$ , dove a ogni oggetto dell'universo  $U$  considerato, è associato un certa quantità di informazioni relative a una serie di attributi  $Q = (q_1, q_2, q_3, \dots, q_m)$  tramite la funzione  $f: U \times Q \rightarrow V$  con  $V$  insieme dei valori con i quali viene espressa l'informazione.

La *tabella d'informazione* contiene pertanto l'universo  $U$  degli oggetti considerati e l'insieme finito  $Q$  degli attributi. Si indica con  $V_q$  l'insieme dei valori assunti da un attributo  $q \in Q$  e pertanto  $V = \bigcup_{q \in Q} V_q$ . La *funzione di informazione*  $f$  è una funzione definita in  $U \times Q$  che ha valori in  $V$ , tale che per ogni  $q \in Q$  e  $x \in U$   $f(x, q) \in V_q$ . In parole semplici  $f(x, q)$  restituisce il valore dell'attributo  $q \in Q$  relativo all'oggetto  $x \in U$ .

Gli attributi utilizzati per descrivere gli elementi distintivi di ogni tronco stradale omogeneo sono quelli utilizzati nell'applicazione presentata al capitolo per la determinazione di limiti di velocità di tipo statico, ovvero:

- $A_1$ = Volume di Traffico (alto, medio e basso);
- $A_2$ = Percentuale di veicoli pesanti (alto, medio e basso);
- $A_3$ = Larghezza della corsia (in metri);
- $A_4$ = Larghezza della banchina (in metri);
- $A_5$ = Segnaletica (si o no);
- $A_6$ = Condizioni della pavimentazione (alto, medio e basso);
- $A_7$ = Roadside Hazard Rating (1,2,3 o 4);
- $A_8$ = Tasso d'incidentalità (alto o basso);
- $A_9$ = Adverse Alignment (si o no).

Anche in questo caso, per la costruzione della tabella d'informazione sono stati presi in considerazione 100 tronchi stradali tipo, con attributi variabili, prendendo come modello le strade extraurbane secondarie italiane, con limite legale di 90 km/h.

Per la teoria dei Rough Set si possono distinguere due tipologie di attributi, gli attributi condizionali  $C$  e gli attributi decisionali  $D$ ; allora la tabella d'informazione  $S$  diventa una tabella di decisione (*decision table*) definita come  $S = (U, C, D, V, f)$  con  $C \cap D = \emptyset$  e  $C \cup D = Q$ .

Nella presente applicazione quelli precedentemente elencati sono gli attributi condizionali; gli attributi decisionali, per ogni tronco stradale individuato, sono i limiti di velocità

raccomandati dalle tre categorie di decisori quali limiti di velocità più appropriati tra i valori di 60, 70, 80 e 90 km/h (limite legale imposto in Italia per la tipologia di strade in esame). La tabella d'informazione utilizzata nella presente applicazione è riportata parzialmente in Tabella 11-I e per intero in allegato (Tabella 14-III).

**TABELLA 11-I - TABELLA DI DECISIONE (DECISION TABLE) UTILIZZATA PER LA DETERMINAZIONE DEI LIMITI STATICI CON DECISORI MULTIPLI (STRALCIO)**

TRONCO STRADALE	ATTRIBUTI CONDIZIONALI									ATTRIBUTO DECISIONALE		
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	A <sub>7</sub>	A <sub>8</sub>	A <sub>9</sub>	LIMITE DI VELOCITÀ		
	VOLUME DI TRAFFICO	PERCENTUALE DI VEICOLI PESANTI	LARGHEZZA DELLA CORSIA	LARGHEZZA DELLA BANCHINA	SEGNALETICA	CONDIZIONI DELLA PAVIMENTAZIONE	ROADSIDE HAZARD RATING	TASSO D'INCIDENTALITÀ	ADVERSE ALIGNMENT	UTENTE	ESPERTO	GESTORE
1	ALTO	ALTO	3,25	0,00	SI	MEDIO	1	BASSO	NO	80	80	90
2	ALTO	MEDIO	3,25	1,00	SI	ALTO	1	ALTO	NO	70	90	70
3	MEDIO	MEDIO	3,50	1,00	SI	BASSO	2	BASSO	NO	70	90	80
4	BASSO	BASSO	3,50	1,00	SI	MEDIO	4	ALTO	SI	80	70	60
5	BASSO	MEDIO	3,50	0,00	NO	ALTO	2	BASSO	NO	70	90	90
6	MEDIO	MEDIO	3,50	1,00	SI	ALTO	1	BASSO	SI	80	90	80
7	BASSO	ALTO	3,50	1,25	SI	ALTO	2	BASSO	NO	80	90	90
8	ALTO	ALTO	3,50	0,00	NO	BASSO	4	ALTO	SI	60	60	60
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
92	BASSO	MEDIO	3,75	0,00	NO	MEDIO	1	ALTO	NO	70	90	80
93	MEDIO	ALTO	3,75	0,50	SI	MEDIO	4	ALTO	NO	80	70	70
94	ALTO	BASSO	3,75	1,00	SI	BASSO	3	BASSO	NO	80	80	80
95	BASSO	MEDIO	3,50	0,00	NO	MEDIO	2	ALTO	NO	70	80	80
96	BASSO	BASSO	3,75	1,00	SI	ALTO	4	ALTO	SI	80	70	70
97	MEDIO	MEDIO	3,50	1,25	SI	ALTO	2	ALTO	NO	80	90	80
98	BASSO	MEDIO	3,00	1,00	SI	BASSO	1	BASSO	SI	70	80	80
99	ALTO	BASSO	3,00	0,70	SI	MEDIO	2	ALTO	SI	70	80	80
100	ALTO	ALTO	3,00	0,00	NO	ALTO	3	ALTO	SI	60	70	70

Considerando un decisore alla volta, per ognuno dei tre decisori – o, per l'esattezza, delle tre categorie di decisori – è possibile operare come fatto nei precedenti capitoli, ovvero:

- generare una partizione dell'universo  $U$  in un numero finito di classi
- stabilire delle relazioni di preferenza tra le classi
- definire delle unioni di classi, chiamate *unioni ascendenti* e *unioni discendenti*
- definire degli insiemi di oggetti "dominati" e "dominanti" e definire le approssimazioni inferiori e superiori delle unioni ascendenti e discendenti delle classi decisionali
- generare delle regole di decisione derivanti dalle approssimazioni inferiore e superiore delle unioni ascendenti e discendenti delle classi decisionali.

Considerando invece molteplici decisori, piuttosto che un solo set di classi ordinate in maniera preferenziale, si ha un set multiplo di classi ordinate preferenzialmente (un set per ogni decisore).

Volendo considerare l'insieme dei decisori  $H$  nella sua totalità, si sono introdotti i concetti di:

- *multi-unione ascendente* rispetto ad una configurazione (*upward multi-union with respect to one configuration*)  $[t(1), \dots, t(h)], (t(i) \in T_i, \text{ per ogni } i \in H)$ :

$$CI_{[t(1), \dots, t(h)]}^{\geq} = \bigcap_{i \in H} CI_{t(i), i}^{\geq}$$

- *multi-unione discendente* rispetto ad una configurazione (*downward multi-union with respect to one configuration*)  $[t(1), \dots, t(h)], (t(i) \in T_i, \text{ per ogni } i \in H)$ :

$$CI_{[t(1), \dots, t(h)]}^{\leq} = \bigcap_{i \in H} CI_{t(i), i}^{\leq}$$

- *mega-unione ascendente* rispetto ad un set  $k$  di configurazioni (*upward mega-union with respect to a set of  $k$  configuration*)  $[t_1(1), \dots, t_1(h)], \dots, [t_k(1), \dots, t_k(h)], k = 1, \dots, \prod_{i=1}^h n_i$

$$CI_{\{[t_1(1), \dots, t_1(h)], \dots, [t_k(1), \dots, t_k(h)]\}}^{\geq} = \bigcup_{r=1}^k CI_{[t_r(1), \dots, t_r(h)]}^{\geq}$$

- *mega-unione discendente* rispetto ad un set  $k$  di configurazioni (*downward mega-union with respect to a set of  $k$  configuration*)  $[t_1(1), \dots, t_1(h)], \dots, [t_k(1), \dots, t_k(h)], k = 1, \dots, \prod_{i=1}^h n_i$

$$CI_{\{[t_1(1), \dots, t_1(h)], \dots, [t_k(1), \dots, t_k(h)]\}}^{\leq} = \bigcup_{r=1}^k CI_{[t_r(1), \dots, t_r(h)]}^{\leq}$$

Per configurazione (*configuration*) si intende un profilo di valutazioni, ossia un vettore di nomi di classi decisionali usate dai decisori (ad esempio una configurazione [60, 60, 70] è una configurazione di nomi di classi dei tre decisori).

Per *multi-unione ascendente* si intende un unione di oggetti che vengono assegnati da un particolare decisore *almeno* alla classe decisionale superiore indicata nella corrispondente configurazione: ad esempio per la configurazione [60, 60, 70] la multi unione ascendente include tutti quegli oggetti che sono qualificati (rispetto a tutti gli attributi, o ad una parte di

essi) come “almeno 60” per il primo decisore, “almeno 60” per il secondo decisore e “almeno 70” per il terzo decisore. Analogamente per *multi-unione discendente* si intende un'unione di oggetti che saranno assegnati da un particolare decisore come *al massimo* alla classe decisionale superiore indicata nella corrispondente configurazione.

Mentre il massimo numero di tutte le possibili configurazioni è uguale al numero di tutte le possibili combinazioni di classi di nomi di un particolare decisore, ovvero  $\prod_{i=1}^h n_i$ , il numero  $k$  di configurazioni considerate in una mega-unione di classi può essere ovviamente più piccolo. Date  $k$  configurazioni, una *mega-unione ascendente* è data dalla somma della multi-unione ascendente corrispondente alle  $k$  configurazioni: ad esempio per due configurazioni [60, 60, 70] e [80, 90, 80], la mega-unione ascendente include tutti gli oggetti che sono qualificati come “almeno 60” per il primo decisore, “almeno 60” per il secondo decisore e “almeno 70” per il terzo decisore, e tutti gli oggetti che sono classificati come “almeno 80” per il primo decisore, “almeno 90” per il secondo decisore e almeno 80” per il terzo decisore. Analogamente una *mega-unione discendente* è data dalla somma della multi-unione discendente corrispondente alle  $k$  configurazioni.

Utilizzando il concetto di mega-unione, è possibile definire una decisione collettiva di tipo maggioritario; ad esempio, nel caso semplice di tre decisori e SI/NO come possibili decisioni per gli oggetti, una mega-unione maggioritaria è data dal set di oggetti per cui almeno due dei decisori hanno votato SI.

In analogia a quanto fatto per le unioni ascendenti e discendenti, possono essere stabiliti dei principi di coerenza e delle approssimazioni inferiori e superiori, e delle frontiere, per le multi-unioni e per le mega-unioni superiori ed inferiori.

Nel caso del DRSA con multipli decisori, la sintassi delle regole decisionali rispetto a quella già presentata nel caso del DRSA classico, si mantiene identica nella parte condizione, mentre nella parte decisionale sono invece presenti le mega-unioni ascendenti e discendenti:

1. se  $x_{q_1} \geq_{q_1} r_{q_1}$  e  $x_{q_2} \geq_{q_2} r_{q_2}$  e ...  $x_{q_p} \geq_{q_p} r_{q_p}$ ,  
allora  $x \in Cl_{[t_1(1), \dots, t_1(h)], \dots, [t_k(1), \dots, t_k(h)]}^{\geq}$
2. se  $x_{q_1} \geq_{q_1} r_{q_1}$  e  $x_{q_2} \geq_{q_2} r_{q_2}$  e ...  $x_{q_p} \geq_{q_p} r_{q_p}$ ,  
allora  $x$  può appartenere a  $Cl_{[t_1(1), \dots, t_1(h)], \dots, [t_k(1), \dots, t_k(h)]}^{\geq}$
3. se  $x_{q_1} \leq_{q_1} r_{q_1}$  e  $x_{q_2} \leq_{q_2} r_{q_2}$  e ...  $x_{q_p} \leq_{q_p} r_{q_p}$ , allora  $x \in Cl_{[t_1(1), \dots, t_1(h)], \dots, [t_k(1), \dots, t_k(h)]}^{\leq}$
4. se  $x_{q_1} \leq_{q_1} r_{q_1}$  e  $x_{q_2} \leq_{q_2} r_{q_2}$  e ...  $x_{q_p} \leq_{q_p} r_{q_p}$ ,  
allora  $x$  può appartenere a  $Cl_{[t_1(1), \dots, t_1(h)], \dots, [t_k(1), \dots, t_k(h)]}^{\leq}$
5. se  $x_{q_1} \geq_{q_1} r_{q_1}$  e  $x_{q_2} \geq_{q_2} r_{q_2}$  e ...  $x_{q_k} \geq_{q_k} r_{q_k}$  e  $x_{q_{k+1}} \leq_{q_{k+1}} r_{q_{k+1}}$  e ... e  $x_{q_p} \leq_{q_p} r_{q_p}$ ,

allora  $x \in Cl_s^{\geq} \cap Cl_t^{\leq}$ ,  $s \leq t$  o  $t \geq s$ .

Nel caso in esame, dalla

Tabella 11-I sono state estratte varie tipologie di regole:

- Regole del decisore 1 (D1) – categoria utenti
- Regole del decisore 2 (D2) – categoria esperti
- Regole del decisore 3 (D3) – categoria gestori
- Regole in cui il decisore 1 ed il decisore 2 concordano (D1-D2)
- Regole in cui il decisore 2 ed il decisore 3 concordano (D2-D3)
- Regole in cui il decisore 1 ed il decisore 3 concordano (D1-D3)
- Regole in cui il decisore 1, il decisore 2 ed il decisore 3 concordano (D1-D2-D3)

e per ognuna di queste tipologie, varie regole distinte per classi ( $\geq 90$  km/h,  $\geq 80$  km/h,  $\geq 70$  km/h e  $\leq 60$  km/h,  $\leq 70$  km/h,  $\leq 80$  km/h). Si indicheranno nel seguito con D1 D2 e D3 rispettivamente la categoria di decisori 1 (utenti), la categoria di decisori 2 (esperti) e la categoria di decisori 3 (gestori).

Ogni regola decisionale specifica il limite di velocità raccomandato e le ragioni per le quali questo viene raccomandato; per ogni regola decisionale è inoltre possibile sapere quali oggetti della *tavola delle decisioni* supportano la regola.

In Tabella 11-II, Tabella 11-III e Tabella 11-IV sono riportati alcuni esempi di regole generate nei vari casi sopra esposti.

**TABELLA 11-II – ESEMPI DI REGOLE DECISIONALI GENERATE PER UN UNICO DECISORE (D1, D2 o D3)**

SE....	ALLORA....	OGGETTI CHE SUPPORTANO LA REGOLA
PERCENTUALE DI VEICOLI PESANTI $\leq$ "MEDIO" E LARGHEZZA DELLA CORSIA $\geq$ "3.50 M" E LARGHEZZA DELLA BANCHINA $\geq$ "1.00 M" E ROADISDE HAZARD RATING $\leq$ "1" E TASSO D'INCIDENTALITÀ $\leq$ "BASSO"	IL DECISORE 1 RACCOMANDA UN <b>Limite di velocità <math>\geq 90</math> km/h</b>	31, 44
LARGHEZZA DELLA CORSIA $\geq$ "3.75 M" E LARGHEZZA DELLA BANCHINA $\geq$ "1.00 M" E ROADISDE HAZARD RATING $\leq$ "3"	IL DECISORE 2 RACCOMANDA UN <b>Limite di velocità <math>\geq 70</math> km/h</b>	18, 19, 20, 31, 43, 46, 51, 63, 67, 80, 85, 94
PERCENTUALE DI VEICOLI PESANTI $\geq$ "MEDIO" E CONDIZIONI DELLA PAVIMENTAZIONE $\geq$ "MEDIE" E ROADISDE HAZARD RATING $\geq$ "2"	IL DECISORE 3 RACCOMANDA UN <b>Limite di velocità <math>\leq 80</math> km/h</b>	8, 9, 14, 20, 22, 25, 27, 28, 33, 37, 40, 41, 42, 62, 66, 75, 76, 82, 88, 93

**TABELLA 11-III – ESEMPI DI REGOLE DECISIONALI GENERATE NEL CASO IN CUI DUE DECISORI  
CONCORDANO SULLA DECISIONE FINALE**

SE....	ALLORA....	OGGETTI CHE SUPPORTANO LA REGOLA
PERCENTUALE DI VEICOLI PESANTI ≤ "BASSO" E LARGHEZZA DELLA CORSIA ≥ "3.75 M" E ROADISDE HAZARD RATING ≤ "2"	IL DECISORE 1 E IL DECISORE 3 RACCOMANDANO UN <b>Limite di velocità ≥ 90 km/h</b>	31, 46
CONDIZIONI DELLA PAVIMENTAZIONE ≤ "MEDIE" E ROADISDE HAZARD RATING ≤ "2" E TASSO DINCIDENTALITÀ ≤ "BASSO"	IL DECISORE 2 E IL DECISORE 3 RACCOMANDANO UN <b>Limite di velocità ≥ 80 km/h</b>	1, 5, 6, 7, 9, 12, 18, 19, 31, 36, 44, 46, 47, 51, 53, 54, 55, 56, 70, 72, 81
VOLUME DI TRAFFICO ≤ "BASSO" E CONDIZIONI DELLA PAVIMENTAZIONE ≤ "MEDIE" E ROADISDE HAZARD RATING ≤ "3"	IL DECISORE 1 E IL DECISORE 2 RACCOMANDANO UN <b>Limite di velocità ≥ 70 km/h</b>	5, 7, 16, 26, 31, 36, 44, 46, 47, 51, 56, 66, 70, 83, 92, 95
PERCENTUALE DI VEICOLI PESANTI ≥ "ALTO" E LARGHEZZA DELLA CORSIA ≤ "3.25 M" E LARGHEZZA DELLA BANCHINA ≤ "0.00 M" E CONDIZIONI DELLA PAVIMENTAZIONE ≥ "PESSIME"	IL DECISORE 1 E IL DECISORE 2 RACCOMANDANO UN <b>Limite di velocità ≤ 60 km/h</b>	22, 37
VOLUME DI TRAFFICO ≥ "MEDIO" E ROADISDE HAZARD RATING ≥ "3" E TASSO DINCIDENTALITÀ ≥ "ALTO" E ADVERSE ALIGNMENT ≥ "PRESENTE"	IL DECISORE 1 E IL DECISORE 3 RACCOMANDANO UN <b>Limite di velocità ≤ 70 km/h</b>	8, 10, 13, 21, 24, 25, 28, 35, 41, 45, 64, 74, 91, 100
LARGHEZZA DELLA CORSIA ≤ "3.00 M" E TASSO DINCIDENTALITÀ ≥ "ALTO"	IL DECISORE 2 E IL DECISORE 3 RACCOMANDANO UN <b>Limite di velocità ≤ 80 km/h</b>	71, 73, 83, 90, 91, 99, 100

**TABELLA 11-IV – ESEMPI DI REGOLE DECISIONALI GENERATE NEL CASO IN CUI TUTTI E TRE I DECISORI  
CONCORDANO SULLA DECISIONE FINALE**

SE....	ALLORA....	OGGETTI CHE SUPPORTANO LA REGOLA
VOLUME DI TRAFFICO ≤ "BASSO" E LARGHEZZA DELLA CORSIA ≥ "3.75 M" E LARGHEZZA DELLA BANCHINA ≥ "1.00 M" E ROADISDE HAZARD RATING ≤ "2"	TUTTI E TRE I DECISORI RACCOMANDANO UN <b>Limite di velocità ≥ 90 km/h</b>	31, 46, 51
PERCENTUALE DI VEICOLI PESANTI ≥ "ALTO" E LARGHEZZA DELLA CORSIA ≤ "3.25 M" E SEGNALETICA ≤ "ASSENTE"	TUTTI E TRE I DECISORI RACCOMANDANO UN <b>Limite di velocità ≤ 70 km/h</b>	14, 37, 100

VOLUME DI TRAFFICO ≤ "MEDIO" E LARGHEZZA DELLA CORSIA ≥ "3.75 M" E LARGHEZZA DELLA BANCHINA ≥ "0.75 M" E ROADISDE HAZARD RATING ≤ "2"	TUTTI E TRE I DECISORI RACCOMANDANO UN <b>Limite di velocità ≥ 80 km/h</b>	12,18, 31, 46, 51
---	--	-------------------

## 11.4 DETERMINAZIONE DEL LIMITE DI VELOCITÀ

Anche in questo caso, per determinare il limite di velocità da assegnare ad ognuno dei tronchi stradali omogenei individuati nella fase di suddivisione in *speed zone*, si utilizza il metodo di analisi multi-criteriale presentato nel precedente paragrafo che, sulla base delle decisioni degli esperti in merito agli "esempi" della tabella decisionale, ha dato luogo ad una serie di regole in grado fornire all'utente finale delle indicazioni sulle modalità di scelta dei limiti di velocità.

In questo caso le regole generate sono di vario tipo, ovvero possono essere relative:

- alla **scelta di un'unica categoria di decisori** (solo D1, solo D2 o solo D3) – ma si ricade nel medesimo tipo di analisi effettuata al capitolo 9;
- alla **scelta "comune" di due categorie di decisori** (D1 e D2 che concordano, D2 e D3 che concordano, D1 e D3 che concordano);
- alla **scelta "comune" di tutte le categorie di decisori** (D1, D2 e D3 che concordano).

In tutti i casi il numero di regole generato però è alto e non di immediata applicazione. Per tale ragione, anche in questo caso, si è sviluppato un programma di calcolo in grado di interfacciarsi in maniera rapida con l'output del DRSA (ossia le regole decisionali) e di consentire la determinazione sulla base delle caratteristiche della *speed zone* considerata, quale sia il limite consigliato e quali sono le regole che hanno dato luogo a tale "consiglio". Inserendo come input i dati caratteristici delle *speed zones* individuate, il programma è in grado di restituire un limite di velocità raccomandato e delle regole decisionali che possono aiutare il decisore a comprendere meglio le ragioni di tale suggerimento.

I dati di input del programma naturalmente ricalcano quelli utilizzati per la determinazione delle regole decisionali e sono quelli riportati in Figura 11-1. Ad eccezione dei valori "di tipo continuo" consentiti esclusivamente per la larghezza delle corsie e delle banchine, gli altri attributi sono classificati come esposto al paragrafo 11.2, e sono dotati di menù a tendina. Sulla base dei valori inseriti come input – corrispondenti alle caratteristiche della *speed zone* esaminata - il programma legge tutte le regole fornite dal modello di analisi DRSA e "seleziona" quelle che concordano nella parte condizionale con gli attributi della *speed zone* in esame e possono pertanto essere utilizzate nella determinazione del limite di velocità.

traffico giornaliero medio (TGM)	alto
percentuale di veicoli pesanti	bassa
larghezza delle corsie (m)	3,50
larghezza delle banchine (m)	1,00
segnaletica orizzontale	presente
condizioni della pavimentazione	buone
roadside hazard rating (RHR)	3
accident rate	basso
adverse alignment	presente

FIGURA 11-1 – SCHERMATA DEL PROGRAMMA DI CALCOLO PER L'INSERIMENTO DEI DATI DI INPUT

Il programma determina il limite di velocità come quel valore in grado di soddisfare contemporaneamente tutte le regole decisionali selezionate. Qualora non fosse possibile soddisfare tutte le regole decisionali restituite dal DRSA, si considereranno le regole supportate da un numero sempre maggiore di "oggetti" della *decision table*, fino a quando il set delle regole consentirà la convergenza verso un unico limite di velocità in grado di soddisfare tutte le regole decisionali.

In questo caso però il **programma di calcolo è stato modificato in maniera tale che l'utente possa decidere se visualizzare le regole di un unico decisore, o piuttosto quelle in cui almeno due decisori concordano o addirittura tutti e tre concordano su uno stesso valore.**

Ad esempio, considerando una *speed zone* con le seguenti caratteristiche:

- $A_1$  (*Volume di Traffico*)= Alto
- $A_2$  (*Percentuale di veicoli pesanti*)= Basso
- $A_3$  (*Larghezza della corsia*) = 3,50 m
- $A_4$  (*Larghezza della banchina*)= 1,00 m
- $A_5$  (*Segnaletica*)= Presente
- $A_6$  (*Condizioni della pavimentazione*)= Medie/Buone
- $A_7$  (*Roadside Hazard Rating*)= 3
- $A_8$  (*Tasso d'incidentalità*)= Basso
- $A_9$  (*Adverse Alignment*)= Assente

le regole decisionali generate dal modello di analisi DRSA forniscono, in tutti i casi, un limite di velocità di 80 km/h, in quanto:

- nel caso di un unico decisore (D2 – esperto), sono presenti:
  - ✓ 7 regole decisionali che raccomandano un limite di velocità  $\geq 70$  km/h;
  - ✓ 1 regole decisionali che raccomandano un limite di velocità  $\geq 80$  km/h;
  - ✓ 4 regole decisionali che raccomandano un limite di velocità  $\leq 80$  km/h
- nel caso di almeno due decisori che concordano su uno stesso valore, sono presenti:
  - ✓ 36 regole decisionali che raccomandano un limite di velocità  $\geq 70$  km/h;
  - ✓ 15 regole decisionali che raccomandano un limite di velocità  $\geq 80$  km/h;
  - ✓ 11 regole decisionali che raccomandano un limite di velocità  $\leq 80$  km/h
- nel caso di tutti e tre i decisori che concordano su uno stesso valore, sono presenti:
  - ✓ 12 regole decisionali che raccomandano un limite di velocità  $\geq 70$  km/h;
  - ✓ 3 regole decisionali che raccomandano un limite di velocità  $\geq 80$  km/h;
  - ✓ 4 regole decisionali che raccomandano un limite di velocità  $\leq 80$  km/h.

Mentre invece, considerando una *speed zone* con le seguenti caratteristiche:

- $A_1$  (*Volume di Traffico*)= Alto
- $A_2$  (*Percentuale di veicoli pesanti*)= Basso
- $A_3$  (*Larghezza della corsia*) = 3,50 m
- $A_4$  (*Larghezza della banchina*)= 1,00 m
- $A_5$  (*Segnaletica*)= Presente
- $A_6$  (*Condizioni della pavimentazione*)= Medie/Buone
- $A_7$  (*Roadside Hazard Rating*)= 3
- $A_8$  (*Tasso d'incidentalità*)= Basso
- $A_9$  (*Adverse Alignment*)= Presente

Le regole decisionali generate dal modello di analisi DRSA forniscono:

- un limite di velocità di 70 km/h nel caso di un unico decisore (D2 – esperto)
- un limite di velocità di 80 km/h nel caso di almeno due decisori che concordano su uno stesso valore
- un limite di velocità non determinabile nel caso in cui si voglia che tutti e tre i decisori concordino su uno stesso valore.

Naturalmente, anche in questo caso il programma di calcolo fornisce la possibilità di visualizzare le regole che hanno indotto alla generazione del limite e di sapere per ogni regola quali sono i casi esemplari della tabella di decisione che la supportano, nonché conoscere le scelte dei vari decisori.

## 11.5 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

In questo capitolo è stato presentato il caso della definizione di limiti di velocità mediante una metodologia in grado di considerare “contemporaneamente” le scelte esemplari effettuate di diversi decisori.

Si tratta di un caso estremamente “realistico”, in quanto difficilmente - in problemi reali - gli effetti determinati da un insieme di criteri vengono determinati da un unico decisore o da un'unica tipologia di decisori, ma piuttosto da varie tipologie di decisori, con obiettivi differenti da perseguire.

Anche nel caso della definizione dei limiti di velocità sulle strade – così come in moltissimi altri problemi reali – potrebbero essere considerati i punti di vista e le “esigenze” di diverse figure coinvolte in diverso modo su tale problematica, come d'altronde avviene già in altri paesi.

Da quanto esposto nel presente capitolo emerge l'importanza di poter considerare diversi decisori nella determinazione dei limiti di velocità, e di come questo possa anche dar luogo a risultati (e conseguentemente a scelte) differenti nel caso in cui si considerino solo alcune tipologie di decisori, o in alternativa si voglia individuare una soluzione che possa essere “accettabile” per tutte le figure coinvolte.

# 12. APPLICAZIONE DEL SSD PROPOSTO AD UNA STRADA EXTRAURBANA SICILIANA

## 12.1 PREMESSA

Al fine di testare il Sistema di Supporto alle Decisioni messo a punto, è stata effettuata un'applicazione ad una strada extraurbana principale siciliana. Lo studio è stato eseguito sulla S.S. n. 385 dal km 25+000 al km 55+150, tratto ricadente all'interno della Provincia di Catania.

Tale tratto di strada, per le sue caratteristiche infrastrutturali e di traffico, rappresenta al meglio una strada extraurbana secondaria in cui è stato imposto, da parte dell'Ente gestore, un limite poco credibile di velocità - in questo momento infatti, il limite di velocità imposto su tutta la tratta è di 50 km/h - e pertanto quasi mai rispettato dagli utenti della strada, come emerso dai rilievi di velocità effettuati.

## 12.2 ACQUISIZIONE DEI DATI

Oggetto di questa prima fase è quello di raccogliere i dati e le informazioni che costituiscono il riferimento su cui basare l'analisi della situazione attuale, sia nei suoi aspetti *statici* (infrastrutturali ed ambientali), che in quelli *dinamici* (traffico ed incidenti) (167) - Figura 12-1. Ciò è stato possibile grazie ad appositi rilievi e sopralluoghi in situ.

In particolare i rilievi effettuati sono stati di tre tipi:

- Rilievo delle caratteristiche ambientali e infrastrutturali
- Rilievi di velocità
- Rilievi dell'incidentalità



FIGURA 12-1 – TIPOLOGIE DI RILIEVI EFFETTUATI

### 12.2.1 RILIEVO DELLE CARATTERISTICHE AMBIENTALI ED INFRASTRUTTURALI

La S.S. n. 385 si dirama dalla S.S. 194 fino a raggiungere la S.S. 124 nel territorio di Caltagirone.

La strada costituiva la via di collegamento principale tra Catania e Caltagirone prima della realizzazione della strada statale 417 di Caltagirone. Attualmente non interessata dal traffico regionale, la strada collega al capoluogo provinciale e a Caltagirone, alcuni dei principali centri del calatino quali Scordia, Militello in val di Catania, Palagonia, Mineo e Grammichele. Il percorso dell'attuale strada è identico al tracciato originario, fatta eccezione per il tratto realizzato in corrispondenza dell'abitato di Palagonia (Figura 12-2).

Il tratto oggetto di analisi è quello compreso tra il km 25+000 al km 55+150, che attraversa i comuni di Palagonia, Mineo, Grammichele e Caltagirone, appartenenti alla provincia di Catania (Figura 12-3).

Dai dati forniti dall'A.N.A.S. – Ente gestore della strada - questa risulta avere uno sviluppo di 55+150 km. Da rilievi effettuati mediante l'utilizzo di G.P.S. si è rilevata una lunghezza pari a 54+500 km. L'errore rilevato è di 650 metri pari a circa l'1% dello sviluppo complessivo della strada.

Il territorio attraversato dalla strada mostra caratteristiche socio-economiche molto omogenee. La strada attraversa zone prevalentemente agricole, caratterizzata da numerosi accessi privati diretti che creano pericoli elevati alla circolazione. La parte finale si trova nei

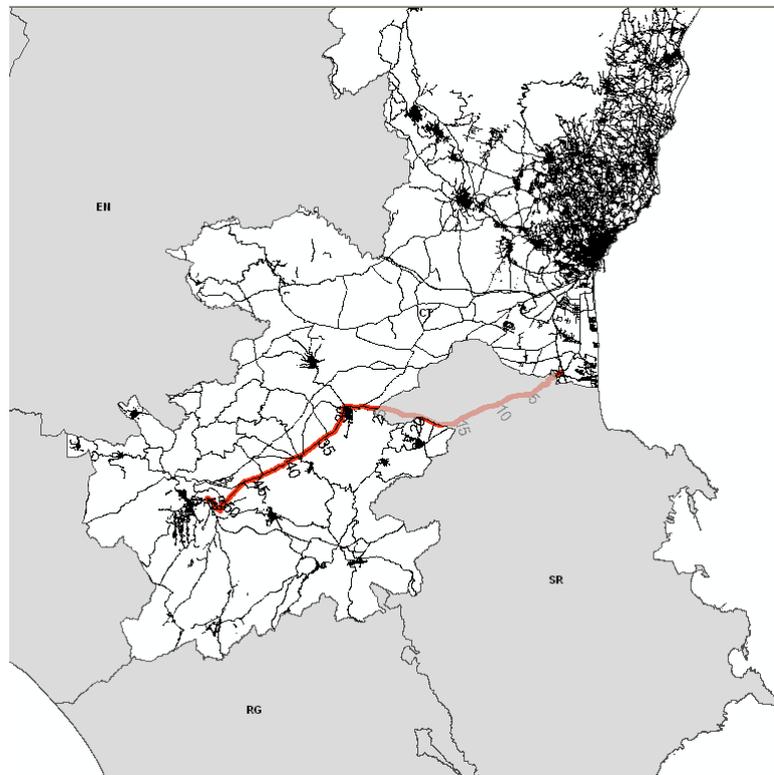
pressi della zona artigianale di Caltagirone con conseguente transito di mezzi pesanti. Solo il tratto nei pressi del comune di Palagonia funge da circonvallazione.

La strada, nel tratto in esame, è a carreggiata unica con una corsia per senso di marcia ed è riconducibile al tipo "C", ossia a strada extraurbana secondaria, così come classificate dalle "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" – D.M. 05.11.2011 (166).

Per tale categoria di strade è prevista una piattaforma con le seguenti caratteristiche:

- Larghezza corsia: 3.50 m. (C1) o 3.75 m. (C2)
- Larghezza banchina: 1.25 m. (C1) o 1.50 m. (C2)

e la massima velocità consentita è di 90 km/h (Figura 12-4).



**FIGURA 12-2 - INQUADRAMENTO TERRITORIALE DELLA SS 385**

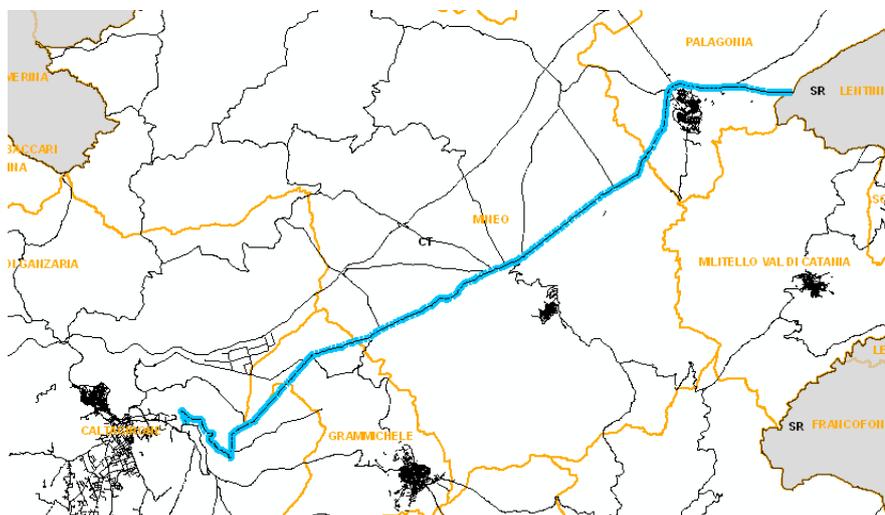


FIGURA 12-3 - INQUADRAMENTO TERRITORIALE DELLA SS 385 DAL KM 25+000 AL KM 55+150

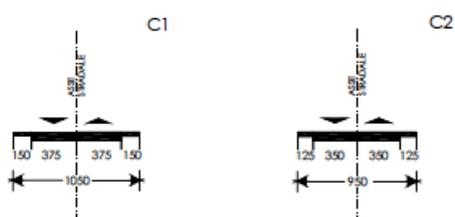


FIGURA 12-4 – SEZIONE STRADALE CATEGORIA “C” - (166)

Dai rilievi effettuati in situ la larghezza effettiva della corsia - nel tratto in esame - ha le seguenti caratteristiche:

- Larghezza corsia: 3.00 m.
- Larghezza banchina: 0.75 m. / 0.50 m. / 0.00 m.

La sezione è dunque di dimensioni più ridotte rispetto a quanto previsto dalle norme vigenti. L'andamento planimetrico è prevalentemente rettilineo ad eccezione del tratto terminale, in prossimità del comune di Caltagirone, che è piuttosto tortuoso, così come accade per l'andamento altimetrico, anch'esso piuttosto omogeneo per gran parte del tracciato – con andamento pressoché pianeggiante – ma con pendenze consistenti nel tratto terminale, per raggiungere il promontorio sul quale sorge la Città di Caltagirone.

Le intersezioni sono tutte a raso e non sono presenti impianti semaforizzati.



**FIGURA 12-5 – SEZIONE TIPO DELLA SS385**



**FIGURA 12-6 – LUNGI RETTILINEI (IN GRAN PARTE DEL TRACCIATO)**



**FIGURA 12-7 – ANDAMENTO TORTUOSO NELLA PARTE TERMINALE, IN PROSSIMITÀ DI CALTAGIRONE**



**FIGURA 12-8 – BIVIO DI PALAGONIA**

L'illuminazione è presente solo alle intersezioni per Mineo al Km 38+662 e nella diramazione per Palagonia al Km 28+600.

La pavimentazione è in discreto stato sull'intero tratto, a parte qualche piccola eccezione localizzata. Presente la segnaletica verticale, ma di vecchia concezione e non sempre in regola con gli standard normativi vigenti.

Per quanto riguarda i limiti di velocità, essi sono presenti sull'intero tratto in maniera omogenea indicando un limite massimo di 50 Km/h.

La segnaletica orizzontale presenta alcune disomogeneità e, in qualche tratto, il cattivo stato di manutenzione la rende difficilmente percepibile soprattutto in condizioni di scarsa luminosità.

### 12.2.2 RILIEVI DI VELOCITÀ

I rilievi di velocità sono stati condotti - previa autorizzazione dell'Ente gestore (l'ANAS) - lungo tutto il tratto in esame.

I rilievi sono stati eseguiti mediante l'utilizzo di autovelox, messo a disposizione dal Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale dell'Università di Catania, in 10 differenti sezioni rappresentative del tratto di strada, tra le ore 8:00 e le ore 13:30 di giorni feriali, in condizioni di flusso libero<sup>27</sup> e rilevando un minimo di 100 veicoli al fine di ottenere dei dati significativi.

I rilievi sono stati effettuati alle chilometriche localizzate in Figura 12-9.

In Tabella 12-I si riportano i dati relativi ai rilievi effettuati e il valore della velocità dell'85esimo percentile (V85) calcolato.

**TABELLA 12-I - RILIEVI DI VELOCITÀ E CALCOLO DELLA V85**

LOCALIZZAZIONE	N. VEICOLI LEGGERI	VEICOLI PESANTI [%]	VELOCITÀ MEDIA [KM/H]	DEVIAZIONE STANDARD	V85 [KM/H]
26+150	88	16,2	69,7	12,9	82,4
28+250	100	4,7	73,0	15,6	90,4
31+100	101	12,2	95,2	14,9	107,0
33+550	101	6,5	83,3	15,7	95,0
36+320	100	4,7	75,0	17,1	94,4
40+850	94	12,1	76,0	16,6	92,2
43+950	93	7,0	86,3	17,6	102,8
47+950	86	14,0	89,5	21,2	113,2
51+300	92	10,1	75,0	15,2	91,4
52+260	101	4,7	44,4	7,3	51,3

<sup>27</sup> Con il termine "flusso libero" si intende la condizione per la quale i guidatori non sono soggetti a rallentamenti da parte di altri utenti della strada, ovvero conducono il proprio veicolo alla velocità desiderata lungo la sezione di interesse in cui vengono effettuate le misure

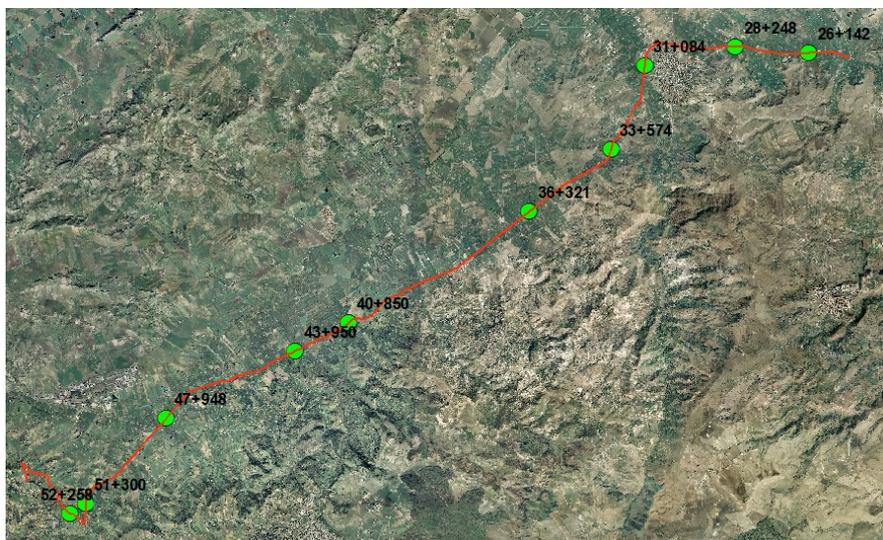


FIGURA 12-9 – RILIEVI DI VELOCITÀ EFFETTUATI

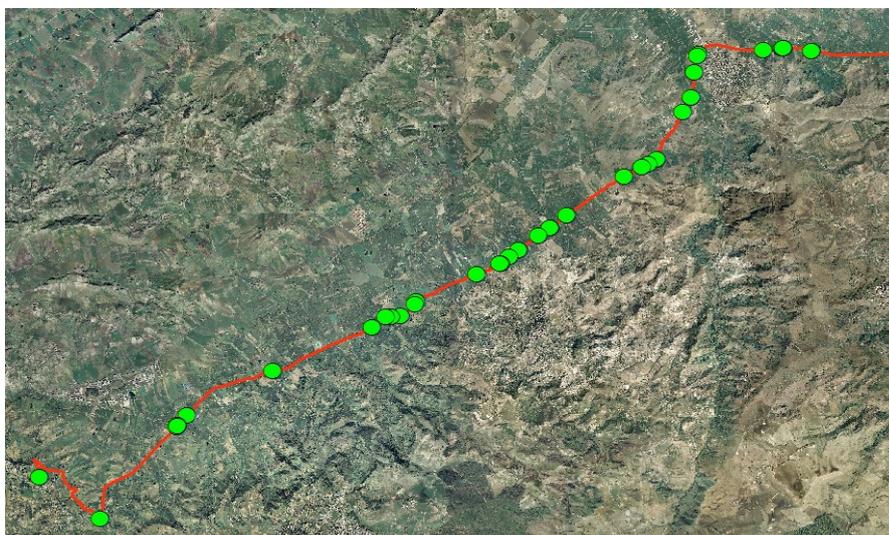
Sul tratto di strada in esame vige un limite di velocità pari a 50 km/h. Dall'analisi dei dati rilevati si evince che la velocità media è ben al di sopra di tale limite. Addirittura la V85, che rappresenta la velocità alla quale o al di sotto della quale l'85% degli automobilisti guida il proprio veicolo, è quasi il doppio del limite imposto. Tale velocità risulta essere, in alcuni tratti, anche superiore al limite vigente per le strade di tipo "C" che risulta essere pari a 90 km/h.

### 12.2.3 RILIEVO DATI D'INCIDENTALITÀ

Sebbene l'ISTAT codifichi ed archivi i dati raccolti e trasmessi dagli organi competenti - Polizia Stradale, Carabinieri, Vigili Urbani - spesso i dati diffusi risultano imprecisi o incompleti, sia per le circostanze in cui vengono compilati sul luogo dell'incidente, ma soprattutto per la mancanza di una standardizzazione del sistema di raccolta e di uno specifico addestramento del personale addetto alla compilazione e alla registrazione. Inoltre un grave difetto di tale database è dato dalla questione del *chilometro di accadimento*: allo stato attuale la progressiva chilometrica di accadimento dell'incidente è indicata nel modello ISTAT come un intero e non sono date istruzioni sulle modalità di troncamento o arrotondamento. A causa di tali inesattezze è opportuno, soprattutto nei casi in cui la lunghezza della strada da sottoporre ad indagine non è elevata, individuare le sezioni di Polizia e le stazioni dei Carabinieri aventi competenza territoriale sulle strade di interesse, ed

effettuare una campagna di raccolta dei dati con riferimento ad un arco temporale comprendente i 5 anni precedenti al momento dell'indagine<sup>28</sup>.

Anche per la SS 385, nonostante si avessero a disposizione i dati d'incidentalità forniti dall'ISTAT si è preferito non utilizzarli: si sono dunque individuate le sezioni di Polizia e le stazioni dei Carabinieri aventi competenza territoriale sulle strade di interesse, sono state acquisite le necessarie autorizzazioni ed è stata effettuata, direttamente presso i loro uffici, una campagna di raccolta dei dati riferiti ad un arco temporale compreso tra il 2005 e il 2010<sup>29</sup>. I dati raccolti sono stati inseriti in una tabella e poi localizzati mediante geocodifica sul software G.I.S.



**FIGURA 12-10- LOCALIZZAZIONE DEGLI INCIDENTI STRADALI VERIFICATISI LUNGO LA SS385 (PARTE IN ESAME) TRA IL 2005 E IL 2010.**

Nella tabella in allegato (Tabella 14-IV) sono stati riportati, per ciascun incidente, la data, l'ora, la chilometrica alla quale è avvenuto il sinistro, la conformazione della strada, lo stato d'usura della stessa, lo stato della pavimentazione, le condizioni meteorologiche, la tipologia

<sup>28</sup> Confrontando i dati d'incidentalità con i dati ISTAT relativi allo stesso intervallo chilometrico dal 2005 al 2008 si rileva uno scarto notevole: gli incidenti rilevati sono 34 mentre i dati riportati dall'ISTAT sono solo 15. Questo palesa una sottovalutazione del problema relativo all'incidentalità sulle strade italiane.

<sup>29</sup> Tali dati sono stati raccolti presso: le stazioni dei Carabinieri di Caltagirone, Palagonia, Grammichele e Mineo; presso i comandi dei Vigili Urbani di Caltagirone, Palagonia, Grammichele e Mineo; presso la Polizia Stradale di Caltagirone.

dell'incidente, le classi di veicoli coinvolti, il numero di feriti, il numero di morti e la presenza o meno di segnaletica verticale e/o orizzontale.

I dati sono stati poi analizzati mediante procedura di controllo statistico di qualità, che ha permesso di valutare il livello di sicurezza, e di distinguere le sezioni in tronchi a bassa incidentalità e ad alta incidentalità (162)(163).

Tutti i dati rilevati, dalle caratteristiche geometriche della strada ai dati d'incidente, sono stati importati su software GIS mediante geocodifica, e opportunamente visualizzati.

### 12.3 SUDDIVISIONE DELLA STRADA IN TRONCHI OMOGENEI

Per la fase di suddivisione in *speed zone* del tratto di strada in esame, si è fatto uso di un software GIS che, consentendo una rappresentazione simultanea di più tematismi (uno per ogni caratteristica rilevata) associati ad un determinato tratto stradale e sfruttando la procedura di Segmentazione Dinamica (*Dynamic Segmentation*) illustrata nel paragrafo 8.2.2, ha consentito un'agevole suddivisione in tronchi omogenei della strada in esame.

Le caratteristiche prese in considerazione nella segmentazione dinamica della strada in esame sono state le seguenti:

- V85
- Dimensioni della corsia e della banchina;
- Condizioni della pavimentazione;
- Condizioni della segnaletica orizzontale;
- *Roadside Hazard Rating*;
- *Adverse Alignment*;
- Tasso d'incidentalità.

Per il tratto di strada in esame, ovvero la SS385 di Palagonia dal km 25+000 al km 55+150, rappresentato in Figura 12-11 (nel senso di marcia Catania-Caltagirone) sono state individuate 11 *speed-zone*, la cui estensione è riportata in Tabella 12-II e le cui caratteristiche sono riportate in Tabella 12-III.

In Figura 12-11 si riporta una rappresentazione delle *speed-zone* individuate.

Si fa presente che tale suddivisione, che ha dato luogo a *speed zone* caratterizzate da una certa estensione, è dovuta agli attributi scelti per la suddivisione, ed alla carenza di dati relativi alla V85: la scelta di differenti attributi o dei rilievi maggiormente "fitti" avrebbe certamente dato luogo ad una suddivisione maggiormente "dettagliata".

**TABELLA 12-II – SPEED ZONES INDIVIDUATE LUNGO LA SS385, DAL KM 25+000 AL KM 55+150**

N	KM INIZIO	KM FINE	LUNGHEZZA [KM]
1	25+000	27+600	1,60
2	27+600	29+100	1,50
3	29+100	35+200	6,10
4	35+200	38+050	2,85
5	38+050	40+000	1,95
6	40+000	41+350	2,85
7	41+350	43+050	1,70
8	43+050	46+900	3,85
9	46+900	49+600	2,70
10	49+600	51+800	2,20
11	51+800	55+150	3,35

**TABELLA 12-III – CARATTERISTICHE DELLE SPEED-ZONE INDIVIDUATE**

SPEED ZONE	CORSIA [M]	BANCHINA [M]	STATO PAVIM.	SEGNAL.	RHR	A.A.	TASSO D'INCID.	V85
1	3,75	0,00	MEDIO	ASSENTE	2	ASSENTE	BASSO	82,4
2	3,75	0,00	MEDIO	ASSENTE	3	ASSENTE	ALTO	90,4
3	3,75	0,00	MEDIO	ASSENTE	3	ASSENTE	BASSO	107,0
4	3,00	0,50	ALTO	ASSENTE	2	PRESENTE	BASSO	94,4
5	3,00	0,75	ALTO	ASSENTE	2	ASSENTE	ALTO	94,4
6	3,50	0,75	ALTO	ASSENTE	2	PRESENTE	BASSO	92,2
7	3,50	0,75	BASSO	ASSENTE	2	ASSENTE	BASSO	92,2
8	3,50	0,00	MEDIO	PRESENTE	2	ASSENTE	BASSO	102,7
9	3,75	0,00	MEDIO	ASSENTE	3	ASSENTE	BASSO	113,1
10	3,75	0,00	MEDIO	ASSENTE	3	ASSENTE	BASSO	91,4
11	3,75	0,00	MEDIO	ASSENTE	3	PRESENTE	BASSO	51,2



FIGURA 12-11- INDIVIDUAZIONE SU GIS DELLE SPEED ZONE IN CUI È STATA DIVISA LA STRADA OGGETTO DI STUDIO

## 12.4 DETERMINAZIONE DEI LIMITI DI VELOCITÀ NELLE SPEED-ZONE

Una volta definite le *speed-zone*, per determinare il limite di velocità da assegnare ad ognuno dei tronchi stradali omogenei individuati, si è utilizzato il Sistema di Supporto alle Decisioni sviluppato al capitolo 9, nel caso di caso di attributi di tipo statico. Facendo pertanto uso delle regole decisionali generate nel caso di questo tipo di attributi e del programma di calcolo, in grado di interfacciarsi con l'output del DRSA (ossia le regole decisionali), sono stati determinati i limiti di velocità consigliati per le *speed zone* individuate. Volendo, ad esempio, determinare il limite di velocità per la *speed-zone 1*, dal km 25+000 al km 27+600, è sufficiente inserire le caratteristiche del tronco stradale all'interno del programma di calcolo. Queste sono:

- $A_1$  (Volume di Traffico)= Basso
- $A_2$  (Percentuale di veicoli pesanti)= Basso
- $A_3$  (Larghezza della corsia) = 3,75 m
- $A_4$  (Larghezza della banchina)= 0,00 m
- $A_5$  (Segnaletica)= Assente
- $A_6$  (Condizioni della pavimentazione)= Medio
- $A_7$  (Roadside Hazard Rating)= 2

$A_8$  (Tasso d'incidentalità)= Basso

$A_9$  (Adverse Alignment )= Assente

Con tali dati di input il DRSA suggerisce un limite di velocità di 90 km/h, pari al limite legale imposto sulla strada, e restituisce 61 regole decisionali:

- 23 regole decisionali che raccomandano un limite di velocità  $\geq 70$  km/h;
- 20 regole decisionali che raccomandano un limite di velocità  $\geq 80$  km/h;
- 18 regole decisionali che raccomandano un limite di velocità  $\geq 90$  km/h.

Il limite di velocità è calcolato come il valore che è in grado di soddisfare tutte le regole decisionali restituite dal DRSA: nel caso della *speed-zone 1* è evidente che il limite di velocità che soddisfa tutte le 61 regole decisionali fornite è il valore di 90 km/h.

Qualora non fosse possibile soddisfare tutte le regole decisionali restituite dal DRSA, si considereranno le regole supportate da un numero sempre maggiore di "oggetti" della *decision table*, fino a quando il set delle regole consentirà la convergenza verso un unico limite di velocità in grado di soddisfare tutte le regole decisionali.

Ad esempio, considerando la *speed-zone 2* con le seguenti caratteristiche:

$A_1$  (Volume di Traffico)= Basso

$A_2$  (Percentuale di veicoli pesanti)= Basso

$A_3$  (Larghezza della corsia) = 3,75 m

$A_4$  (Larghezza della banchina)= 0,00 m

$A_5$  (Segnaletica)= Assente

$A_6$  (Condizioni della pavimentazione)= Medio

$A_7$  (Roadside Hazard Rating)= 3

$A_8$  (Tasso d'incidentalità)= Alto

$A_9$  (Adverse Alignment )= Assente

Il DRSA restituisce 22 regole decisionali:

- 9 regole decisionali che raccomandano un limite di velocità  $\geq 70$  km/h;
- 4 regole decisionali che raccomandano un limite di velocità  $\geq 80$  km/h;
- 2 regole decisionali che raccomandano un limite di velocità  $\geq 90$  km/h;
- 2 regole decisionali che raccomandano un limite di velocità  $\leq 70$  km/h;
- 5 regole decisionali che raccomandano un limite di velocità  $\leq 80$  km/h.

In questo caso nessun limite di velocità è in grado di soddisfare tutte le regole decisionali generate.

Il set di regole va pertanto ridotto, in accordo con il loro supporto, prendendo man mano in considerazione regole decisionali con un supporto più ampio.

Considerando ad esempio le regole decisionali dotate di un supporto di almeno 20 oggetti (tronchi stradali della *decision table*), le regole decisionali si riducono a:

- 4 regole decisionali che raccomandano un limite di velocità  $\geq 70$  km/h;
- 1 regola decisionale che raccomanda un limite di velocità  $\geq 80$  km/h;
- 1 regola decisionale che raccomanda un limite di velocità  $\leq 70$  km/h;
- 2 regole decisionali che raccomandano un limite di velocità  $\leq 80$  km/h.

Essendoci ancora una regola decisionale che raccomanda un limite di velocità  $\geq 80$  km/h e un'altra regola decisionale che raccomanda un limite di velocità  $\leq 70$  km/h, non è possibile individuare un limite di velocità che possa soddisfare tutte le regole: è necessario considerare un supporto ancora più ampio. Ampliando dunque ulteriormente il supporto ad un numero di 30 oggetti, le regole decisionali saranno:

- 1 regola decisionale che raccomanda un limite di velocità  $\geq 70$  km/h;
- 1 regola decisionale che raccomanda un limite di velocità  $\leq 70$  km/h;
- 1 regola decisionale che raccomanda un limite di velocità  $\leq 80$  km/h.

In questo caso esiste un limite di velocità che è in grado di soddisfare tutte le regole, che è 70 km/h: 70 km/h infatti è  $\leq 80$  km/h, ma allo stesso tempo  $\geq 70$  km/h e  $\leq 70$  km/h.

Naturalmente **tale procedura è assolutamente automatizzata**: all'utente finale del SSD ciò che risulta visibile è esclusivamente il limite di velocità "consigliato" e, qualora richiesto, le regole decisionali maggiormente supportate che possono aiutarlo a comprendere il "consiglio" fornito dal sistema. Le regole decisionali hanno infatti lo scopo di spiegare al decisore le ragioni per le quali gli esperti raccomandano (tramite il DRSA) un limite di velocità piuttosto che un altro per il tronco stradale in esame. Ovviamente non è ragionevole sottoporre al decisore un numero troppo ampio di regole (61 nel caso della *speed-zone 1*: per tale ragione verrà mostrata, per ogni classe, la regola maggiormente supportata. Nel caso della *speed-zone 1* le regole mostrate saranno le seguenti, e l'output finale sarà del tipo mostrato in Tabella 12-IV.

- *"se la percentuale di veicoli pesanti è  $\leq$  medio, e  $RHR \leq 2$ , allora il limite di velocità raccomandato può essere  $\geq 70$  km/h" (supporto 40).*
- *"se la corsia è  $\geq 3,50$  m, lo stato della pavimentazione è  $\geq$  medio,  $RHR \leq 2$ , allora il limite di velocità raccomandato può essere  $\geq 80$  km/h" (supporto 30).*
- *"se la corsia è  $\geq 3,50$  m, lo stato della pavimentazione è  $\geq$  medio,  $RHR \leq 3$ , il tasso d'incidentalità è basso e non vi è presenza di adverse alignment, allora il limite di velocità raccomandato può essere  $\geq 90$  km/h" (supporto 14).*

In Tabella 12-V si riportano i limiti di velocità calcolati con il DRSA per le *speed-zone* individuate, e le  $V_{85}$  rilevate su sezioni rappresentative delle stesse.

**TABELLA 12-IV - OUTPUT DEL SSD PER LA SPEED-ZONE 1**

LIMITE DI VELOCITÀ RACCOMANDATO	90 KM/H
REGOLE DECISIONALI	“SE LA PERCENTUALE DI VEICOLI PESANTI È ≤ MEDIO, E RHR ≤ 2, ALLORA IL LIMITE DI VELOCITÀ RACCOMANDATO PUÒ ESSERE ≥70 KM/H”
	“SE LA CORSIA È ≥ 3,50 M, LO STATO DELLA PAVIMENTAZIONE È ≥ MEDIO, RHR ≤ 2, ALLORA IL LIMITE DI VELOCITÀ RACCOMANDATO PUÒ ESSERE ≥80 KM/H”
	“SE LA CORSIA È ≥ 3,50 M, LO STATO DELLA PAVIMENTAZIONE È ≥ MEDIO, RHR ≤ 3, IL TASSO D’INCIDENTALITÀ È BASSO E NON VI È PRESENZA DI ADVERSE ALIGNEMENT, ALLORA IL LIMITE DI VELOCITÀ RACCOMANDATO PUÒ ESSERE ≥90 KM/H”

**TABELLA 12-V – LIMITI DI VELOCITÀ CALCOLATI CON IL DRSA PER LE SPEED ZONE INDIVIDUATE LUNGO LA SS385**

N	SPEED-ZONE			V85	LIMITE DI VELOCITÀ DRSA
	KM INIZIO	KM FINE	LUNG. [KM]		
1	25+000	27+600	1,60	82,4	90
2	27+600	29+100	1,50	90,4	70
3	29+100	35+200	6,10	107,0	70
4	35+200	38+050	2,85	94,4	80
5	38+050	40+000	1,95	94,4	80
6	40+000	41+350	2,85	92,2	80
7	41+350	43+050	1,70	92,2	80
8	43+050	46+900	3,85	102,7	80
9	46+900	49+600	2,70	113,1	70
10	49+600	51+800	2,20	91,4	70
11	51+800	55+150	3,35	51,2	70

Come si vede dalla precedente tabella, accade spesso che il limite di velocità raccomandato si discosti (e non di poco) dal limite raccomandato dal Sistema di Supporto alle Decisioni (SSD) sviluppato nell’ambito del presente lavoro. Si rende necessario pertanto effettuare delle **verifiche di applicabilità di tali limiti**.

Le verifiche effettuate sono quelle esposte al paragrafo 9.5 e consistono in:

- Verifica di credibilità del limite di velocità

- Verifica di omogeneità tra *speed zone* adiacenti.

Per quanto riguarda la **verifica di credibilità**, si effettua un confronto tra la velocità consigliata dal SSD e le “problematiche” che emergono dall’analisi delle regole decisionali, con la velocità tenuta dagli utenti e le problematiche della strada emerse dalle ispezioni sui luoghi.

Ad esempio, nel caso della *speed-zone 2* si ha un limite di velocità raccomandato dal DRSA pari a 70 km/h e le seguenti regole decisionali:

- “se lo stato della pavimentazione è  $\geq$  medio, e non vi è presenza di *adverse alignment*, allora il limite di velocità raccomandato può essere  $\geq 70$  km/h” (supporto 31).
- “se la banchina è  $\leq 0,75$  m e  $RHR \geq 3$ , allora il limite di velocità raccomandato deve essere  $\leq 70$  km/h” (supporto31).
- “se la banchina è  $\leq 1,20$  m e  $RHR \geq 3$ , allora il limite di velocità raccomandato deve essere  $\leq 80$  km/h” (supporto 45).

e allo stesso tempo una velocità dell’85esimo percentile pari a 90,4 km/h (leggermente superiore al limite di velocità legale per la tipologia di strada esaminata), e una sezione stradale caratterizzata da assenza di banchine e segnaletica orizzontale, dei margini caratterizzati da barriere di ritenute non a norma e possibilità molto ridotta di ricovero in caso di fuoriuscita di strada ed un alto tasso d’incidentalità.

In questo caso il gestore della strada (ovvero l’utente finale del SSD sviluppato), può fissare il limite di velocità raccomandato dal DRSA (70 km/h) ma tale valore, con buona probabilità, non sarà ben percepito dagli utenti che, sulla base delle caratteristiche della strada tengono una velocità superiore. In questo caso il decisore potrebbe:

- fissare il limite raccomandato dal SSD e al contempo, al fine di rendere maggiormente credibile il limite imposto (e dunque far in modo che la velocità tenuta dagli utenti sia quanto più possibile vicina a quella raccomandata), introdurre degli interventi di *traffic-calming*
- o in alternativa individuare delle misure tali da migliorare le caratteristiche del tronco stradale (sulla base di quanto emerge dalle regole decisionali) e consentire un incremento del limite di velocità fino ad un valore credibile per gli utenti.

Il Sistema di Supporto alle Decisioni infatti, fornendo alcune delle regole decisionali maggiormente supportate, “suggerisce” anche le motivazioni per le quali è opportuno adottare il limite raccomandato: la pavimentazione è buona e non ci sono *adverse alignment*, però la banchina ha dimensioni ridotte e il RHR ha un valore pari a 3. Il decisore pertanto potrà adottare il limite suggerito o, nel caso in cui lo ritenesse troppo basso, decidere di incrementarlo migliorando le condizioni dei margini e/o ampliando le banchine.

Nel caso della *speed-zone 3* si ha un limite di velocità raccomandato dal DRSA pari a 70 km/h e le seguenti regole decisionali:

- “se lo stato della pavimentazione è  $\geq$  medio, e non vi è presenza di *adverse alignment*, allora il limite di velocità raccomandato può essere  $\geq 70$  km/h” (supporto 31).
- “se la banchina è  $\leq 0,75$  m e  $RHR \geq 3$ , allora il limite di velocità raccomandato deve essere  $\leq 70$  km/h” (supporto 31).
- “se la banchina è  $\leq 1,20$  m e  $RHR \geq 3$ , allora il limite di velocità raccomandato deve essere  $\leq 80$  km/h” (supporto 45).

e allo stesso tempo una velocità dell’85esimo percentile pari a 107 km/h (di gran lunga superiore al limite di velocità legale per la tipologia di strada esaminata), e una sezione stradale caratterizzata da assenza di banchine e segnaletica orizzontale e dei margini caratterizzati da barriere di ritenute non a norma e possibilità molto ridotta di ricovero in caso di fuoriuscita di strada.

Il limite raccomandato è pertanto inferiore alla velocità dell’85esimo percentile, che è a sua volta superiore al limite consentito per legge per tale tipologia di strada: il decisore può adottare il limite di velocità raccomandato ma, essendo la velocità tenuta dagli utenti superiore al limite legale, sarà necessario introdurre degli interventi di *traffic-calming* che costringano gli utenti a moderare la velocità fino al limite fissato.

Solo nel caso della *speed zone 1* e della *speed zone 11* si è registrata una velocità dell’85esimo percentile inferiore al limite di velocità suggerito dal SSD, segnale che il guidatore interpreta in maniera corretta tutte quelle caratteristiche della strada che lo inducono a tenere una determinata velocità, mentre in tutte le altre sezioni si nota una notevole differenza tra questi due valori, per cui andranno previsti degli interventi di *traffic-calming* al fine di rendere maggiormente credibile il limite imposto, o andranno previsti dei “miglioramenti” della sezione stradale per incrementare il limite di velocità ad un valore maggiormente credibile per gli utenti.

Per quanto riguarda la **verifica di omogeneità** tra limiti adiacenti, nel caso in esame non sono mai previste differenze di velocità tra le *speed zone* superiori ai 20 km/h per cui non si ritiene necessario revisionare i limiti in tal senso.

## 12.5 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

In questo capitolo è stata presentata un’applicazione del Sistema di Supporto alle Decisioni messo a punto nel presente lavoro di tesi per la determinazione dei limiti di velocità di tipo statico sulle strade extraurbane principali italiane.

In particolare il SSD proposto è stato testato su un tratto di una strada statale siciliana, la SS385.

Dall'applicazione presentata emerge come:

- la fase di suddivisione della strada in tronchi omogenei possa essere “influenzata” dalla tipologia e dalla quantità di informazioni a disposizione
- nella fase di determinazione dei limiti di velocità l'SSD proposto fornisca dei valori e delle informazioni in termini di regole decisionali in grado di supportare il gestore nella scelta del limite
- la fase di verifica di applicabilità dei limiti sia di fondamentale importanza per fare in modo che i limiti di velocità possano risultare credibili per gli utenti della strada, che tendono ad ignorare i limiti imposti in quanto ritenuti non adeguati alle caratteristiche della strada stessa.

# 13. CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

L'imposizione di limiti di velocità sulle strade, ad oggi, costituisce lo strumento principale per il controllo della velocità sulle strade e il conseguente miglioramento delle condizioni di sicurezza sulle stesse.

Ogni paese fissa dei limiti di velocità generali, mentre è delegata all'Ente Gestore la determinazione dei limiti di velocità localizzati, da imporre qualora per un determinato tronco stradale il limite generale non venga ritenuto appropriato. La determinazione di tali limiti però - data la grande quantità di fattori da tenere in considerazione nella determinazione degli stessi - non costituisce una problematica di facile risoluzione: non esiste ad oggi una metodologia universalmente accettata per la determinazione di limiti di velocità che possano essere allo stesso tempo sicuri e credibili per gli utenti della strada. Per quanto concerne la determinazione dei limiti localizzati l'Italia prevede la possibilità di istituzione degli stessi (art. 142 comma 2 del Nuovo Codice della Strada) e deve a tutt'oggi ancora provvedere ad impartire delle Direttive relativamente alla metodologia da seguire in tal senso; ad oggi è presente solo una bozza della *"Il direttiva sulla corretta ed uniforme applicazione delle norme del codice della strada in materia di segnaletica e criteri per l'installazione e la manutenzione"* - mai però divenuta cogente - che, per quanto non sia strumento ufficiale, può fornire importanti indicazioni del futuro aggiornamento del Codice della Strada. La metodologia indicata da tale Direttiva è una tecnica accettata in campo internazionale, che consiglia di adottare come limite massimo di velocità localizzato il valore corrispondente al cosiddetto "85esimo percentile", ossia quel valore ricavato a seguito di elaborazioni statistiche effettuate su misure di velocità operate sulla strada oggetto di esame. Si fa presente però che un limite siffatto è giustificato esclusivamente da basi empiriche e può spesso risultare inappropriato. Esso inoltre è spesso non "applicabile"

poiché la velocità dell'85esimo percentile è in molti casi superiore al limite legale imposto per quella particolare tipologia di strada. Per tali ragioni, spesso, i limiti vengono imposti dai gestori in maniera del tutto arbitraria, dando luogo a situazioni – purtroppo molto frequenti sulle strade italiane – in cui i limiti di velocità sono del tutto “slegati” dalle condizioni della strada e pertanto vengono ritenuti poco credibili dagli utenti e spesso del tutto ignorati, arrecando pregiudizio alla sicurezza della circolazione.

Emerge dunque la necessità di disporre di uno strumento che sia in grado di supportare il gestore della strada nella complessa procedura di individuazione dei tronchi stradali, in cui è opportuno istituire dei limiti di velocità localizzati, e nella determinazione del limite di velocità appropriato.

Attualmente le metodologie più utilizzate sono i cosiddetti “sistemi esperti” ovvero dei sistemi che, simulando il processo decisionale di persone competenti del settore (ossia “esperti”), sono in grado di fornire la soluzione di un problema decisionale complesso, tenendo conto di svariati fattori.

Obiettivo della ricerca è stato dunque quello di sviluppare un Sistema di Supporto alle Decisioni (SSD) che fosse in grado di assistere gli Enti Gestori nella scelta dei limiti di velocità sicuri e credibili per gli utenti, facendo uso dei fattori caratterizzanti i tronchi stradali oggetto di indagine, quali la geometria, le condizioni operative e le loro condizioni di manutenzione.

Il Sistema di Supporto alle Decisioni messo a punto si basa su un metodo un'analisi di tipo multi-criteriale noto come Dominance-based Rough Set Approach (DRSA), sviluppato da Greco, Matarazzo e Slowinski. Tale tipo di approccio, basato su approssimazioni legate a considerazioni di “preferenza”, consente di desumere, a partire da una tabella di decisioni esemplari, delle considerazioni più generali in termini di regole decisionali di semplice lettura, nella forma “se... allora...”. Facendo uso di tale metodologia, nata nell'ambito economico ma applicata nei più svariati campi, è stato messo a punto un Sistema di Supporto alle Decisioni (SSD) per la definizione dei limiti di velocità localizzati sulle strade secondarie italiane, in grado di assistere il gestore in tutte le fasi del processo decisionale, ossia dalla fase di individuazione di tronchi stradali omogenei (*speed zone*) alla fase di individuazione del limite di velocità maggiormente adeguato, alla fase di verifica di applicabilità dei limiti stessi.

Per quanto riguarda la fase di individuazione delle *speed zone* - ossia tronchi stradali contraddistinti da caratteristiche geometriche, condizioni di manutenzione o operative omogenee per cui è possibile applicare un limite di velocità uniforme lungo gli stessi - nel presente lavoro viene proposto l'utilizzo del GIS e della segmentazione dinamica quale strumento in grado di consentire una suddivisione in *speed zone* attraverso una procedura di facile implementazione ed aggiornamento.

Per la determinazione dei limiti di velocità, in alternativa a sistemi come le reti neurali o metodi di regressione lineare utilizzati in altri casi, si propone l'utilizzo del metodo di analisi

multi-criteriale noto come Dominance-based Rough Set Approach (DRSA). Tale metodologia consente di conoscere il limite di velocità che, a giudizio di un gruppo di esperti, è ritenuto maggiormente sicuro e credibile per il tronco stradale in esame, sulla base di alcune caratteristiche geometriche, operative e di manutenzione dello stesso. In particolare, fornendo come input le caratteristiche della *speed zone* individuata, facendo uso delle regole decisionali generate con il DRSA, è possibile determinare il limite di velocità consigliato e le ragioni per le quali il sistema (e dunque gli esperti che hanno effettuato le “scelte esemplari” su cui esso si basa) suggerisce tale limite.

Il DRSA presenta grandi vantaggi rispetto ad altre metodologie alternative di supporto alle decisioni, in quanto consente un pieno controllo sul processo decisionale (evitando l’effetto *black box*) e un’agevole revisione ed aggiornamento del modello decisionale, ed è inoltre caratterizzato da una grande flessibilità, che consente l’adattamento del modello decisionale a qualunque tipo di esigenza.

Nel caso dei limiti di velocità il modello può pertanto essere “corretto” o periodicamente aggiornato e revisionato, sulla base degli “orientamenti” dell’ente gestore (che possono cambiare nel tempo), sulla base dell’esperienza e della pratica del gestore, etc... oltre che “modificato” intervenendo sulle caratteristiche del tronco stradale utilizzate per la determinazione del limite di velocità, o sul numero e/o tipologia dei “decisori” chiamati ad effettuare le scelte esemplari alla base della determinazione delle regole.

Sfruttando l’enorme flessibilità del DRSA nel presente lavoro viene presentata una prima applicazione, in cui per la determinazione dei limiti di velocità vengono utilizzati esclusivamente attributi descrittivi non variabili nel tempo, che consentono di determinare dei limiti di velocità di tipo statico; viene poi presentata un’analoga applicazione per la determinazione di limiti di velocità di tipo dinamico, sfruttando attributi di tipo variabile nel tempo – come le condizioni meteorologiche, del traffico etc..., normalmente rilevate tramite sensori posti sulla strada in grado di effettuare rilievi istante per istante - pensata per il funzionamento di pannelli a messaggio variabile o per generare le informazioni necessarie al funzionamento dei sistemi di comunicazione tra veicolo e strada (Intelligent Speed Adaptation – ISA). Viene infine presentata un’applicazione del modello messo a punto per i limiti statici nel caso in cui i decisori siano soggetti differenti, con esigenze ed obiettivi diversi.

Per quanto riguarda le verifiche di applicabilità dei limiti, vengono proposte delle verifiche di credibilità ed omogeneità che consentono di fissare limiti che gli utenti possano percepire come “adeguati” alle caratteristiche della strada e in grado di garantire degli accettabili standard di sicurezza.

Viene infine presentata un’applicazione del Sistema di Supporto alle Decisioni proposto ad una strada extraurbana siciliana.

Il Sistema di Supporto alle Decisioni sviluppato nell'ambito del lavoro di tesi è stato messo a punto utilizzando degli attributi per la descrizione delle *speed zone*, dettati sia dalla tipologia di strada utilizzata per cui è stato sviluppato il modello (strade extraurbane italiane) sia dai dati a disposizione. Si fa presente però che, grazie alle caratteristiche di flessibilità del DRSA, il SSD proposto può essere facilmente modificato ed adattato alle esigenze del gestore o ai dati disponibili, sia in termini di attributi descrittivi che concorrono alla determinazione del limite di velocità, che in termini di obiettivi da perseguire e dunque in termini di decisioni prese da differenti tipologie di "esperti".

Gli elementi di originalità presenti nella tesi possono così riassumersi:

- Utilizzo di una metodologia di analisi multi-criteriale innovativa per la determinazione dei limiti di velocità sulla base di regole decisionali del tipo "se... allora...", estratte da una tabella di decisioni esemplari fornite da un team di esperti. Tale metodologia consente di individuare le regole che supportano ogni decisione, così da rendere chiare le motivazioni delle decisioni, evitando l'effetto "black box" di alcune metodologie alternative presenti in letteratura.
- Sviluppo di un sistema flessibile e aggiornabile, che può essere modificato a seconda delle esigenze del gestore, sia in termini di attributi descrittivi che concorrono alla determinazione del limite di velocità, che in termini di obiettivi da perseguire e dunque in termini di decisioni prese da differenti categorie di "decisori".
- Definizione di un SSD in grado di supportare il gestore in tutte le fasi del processo, ovvero nella individuazione delle *speed zone*, nella definizione dei limiti e, infine, nelle verifiche di applicabilità degli stessi.

Il Sistema di Supporto alle Decisioni sviluppato nell'ambito del presente lavoro presenta inoltre grandissime potenzialità in termini di sviluppi futuri. Tale tipo di sistema, infatti, può essere utilizzato nell'ambito degli ITS e funzionare in maniera automatica, modificando il limite di velocità sulla base dei dati rilevati dai sensori posti sulla strada, ma anche nell'ambito (ancora sperimentale) dei sistemi di supporto a bordo (ISA).

# 14. ALLEGATI

## 14.1 ALLEGATO 1 – *DECISION TABLE 1*

**TABELLA 14-1 - TABELLA DI DECISIONE (DECISION TABLE) UTILIZZATA PER LA DETERMINAZIONE DEI LIMITI STATICI**

TRONCO STRADALE	ATTRIBUTI CONDIZIONALI									ATTRIBUTO DECISIONALE
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	A <sub>7</sub>	A <sub>8</sub>	A <sub>9</sub>	
	VOLUME DI TRAFFICO	PERCENTUALE DI VEICOLI PESANTI	LARGHEZZA DELLA CORSIA	LARGHEZZA DELLA BANCHINA	SEGNALETICA	CONDIZIONI DELLA PAVIMENTAZIONE	ROADSIDE HAZARD RATING	TASSO D'INCIDENTALITÀ	ADVERSE ALIGNMENT	
1	ALTO	ALTO	3,25	0,00	SI	MEDIO	1	BASSO	NO	80
2	ALTO	MEDIO	3,25	1,00	SI	ALTO	1	ALTO	NO	90
3	MEDIO	MEDIO	3,50	1,00	SI	BASSO	2	BASSO	NO	90
4	BASSO	BASSO	3,50	1,00	SI	MEDIO	4	ALTO	SI	70
5	BASSO	MEDIO	3,50	0,00	NO	ALTO	2	BASSO	NO	90
6	MEDIO	MEDIO	3,50	1,00	SI	ALTO	1	BASSO	SI	90
7	BASSO	ALTO	3,50	1,25	SI	ALTO	2	BASSO	NO	90
8	ALTO	ALTO	3,50	0,00	NO	BASSO	4	ALTO	SI	60
9	MEDIO	ALTO	3,75	0,00	NO	MEDIO	2	BASSO	SI	80
10	ALTO	MEDIO	3,75	0,75	SI	BASSO	3	ALTO	SI	60
11	BASSO	MEDIO	3,50	0,00	SI	MEDIO	4	BASSO	SI	70
12	MEDIO	MEDIO	3,75	0,75	NO	ALTO	2	BASSO	NO	90
13	ALTO	BASSO	3,50	1,25	SI	ALTO	3	ALTO	SI	70
14	BASSO	ALTO	3,25	0,00	NO	MEDIO	4	ALTO	SI	60
15	ALTO	BASSO	3,25	0,00	SI	BASSO	4	BASSO	SI	60
16	BASSO	BASSO	3,50	0,00	SI	MEDIO	3	BASSO	SI	70
17	BASSO	MEDIO	3,50	0,00	SI	BASSO	3	BASSO	NO	70

18	MEDIO	BASSO	3,75	1,00	SI	ALTO	2	BASSO	NO	90
19	ALTO	ALTO	3,75	1,25	SI	ALTO	1	BASSO	NO	90
20	ALTO	ALTO	3,75	1,00	SI	MEDIO	2	ALTO	NO	80
21	ALTO	MEDIO	3,75	1,25	SI	MEDIO	4	ALTO	SI	70
22	BASSO	ALTO	3,25	0,00	SI	BASSO	4	ALTO	NO	60
23	BASSO	MEDIO	3,75	0,00	SI	BASSO	4	BASSO	NO	70
24	ALTO	MEDIO	3,75	0,00	NO	BASSO	4	ALTO	SI	60
25	ALTO	ALTO	3,50	1,00	SI	BASSO	4	ALTO	SI	60
26	BASSO	BASSO	3,50	1,25	SI	MEDIO	1	ALTO	SI	90
27	ALTO	ALTO	3,75	0,75	SI	MEDIO	3	BASSO	SI	70
28	MEDIO	ALTO	3,50	0,75	SI	MEDIO	4	ALTO	SI	60
29	MEDIO	BASSO	3,50	1,00	SI	MEDIO	3	BASSO	SI	70
30	MEDIO	MEDIO	3,50	0,75	SI	ALTO	4	BASSO	NO	70
31	BASSO	BASSO	3,75	1,00	SI	MEDIO	1	BASSO	SI	90
32	MEDIO	MEDIO	3,50	1,00	SI	MEDIO	2	ALTO	SI	80
33	ALTO	ALTO	3,50	0,00	NO	MEDIO	3	BASSO	SI	70
34	MEDIO	MEDIO	3,50	0,75	SI	BASSO	4	BASSO	NO	70
35	ALTO	BASSO	3,50	0,70	SI	MEDIO	3	ALTO	SI	60
36	BASSO	MEDIO	3,75	0,00	SI	ALTO	1	BASSO	NO	90
37	ALTO	ALTO	3,25	0,00	NO	BASSO	4	BASSO	SI	60
38	ALTO	BASSO	3,25	0,70	SI	BASSO	3	BASSO	NO	60
39	MEDIO	MEDIO	3,50	0,00	NO	MEDIO	3	BASSO	SI	60
40	BASSO	ALTO	3,50	0,00	SI	BASSO	2	ALTO	NO	60
41	ALTO	ALTO	3,75	0,00	NO	BASSO	3	ALTO	SI	60
42	ALTO	ALTO	3,25	1,00	SI	MEDIO	4	BASSO	SI	60
43	BASSO	BASSO	3,75	1,20	SI	BASSO	3	ALTO	SI	60
44	BASSO	BASSO	3,50	1,00	SI	ALTO	1	BASSO	NO	90
45	MEDIO	MEDIO	3,25	0,00	SI	MEDIO	4	ALTO	SI	60
46	BASSO	BASSO	3,75	1,00	SI	ALTO	2	BASSO	NO	90
47	BASSO	BASSO	3,50	1,25	SI	ALTO	2	BASSO	SI	90
48	ALTO	MEDIO	3,00	1,25	SI	MEDIO	3	BASSO	NO	80
49	MEDIO	BASSO	3,75	1,00	SI	MEDIO	4	ALTO	NO	70
50	ALTO	BASSO	3,75	0,00	NO	ALTO	3	BASSO	SI	70
51	BASSO	MEDIO	3,75	1,00	SI	MEDIO	2	BASSO	NO	90
52	MEDIO	ALTO	3,50	0,70	SI	BASSO	1	ALTO	NO	80
53	ALTO	MEDIO	3,50	0,50	SI	ALTO	1	BASSO	NO	90
54	MEDIO	BASSO	3,75	0,00	NO	ALTO	1	BASSO	SI	80
55	MEDIO	BASSO	3,00	1,00	SI	ALTO	1	BASSO	SI	80
56	BASSO	BASSO	3,50	0,00	SI	ALTO	1	BASSO	NO	90
57	MEDIO	MEDIO	3,00	0,00	NO	BASSO	3	BASSO	NO	70
58	BASSO	MEDIO	3,75	0,70	SI	BASSO	1	BASSO	NO	90
59	MEDIO	BASSO	3,50	1,00	SI	MEDIO	2	ALTO	NO	90
60	ALTO	BASSO	3,25	0,70	SI	BASSO	2	BASSO	NO	80
61	ALTO	BASSO	3,25	0,70	SI	BASSO	2	BASSO	SI	70
62	BASSO	ALTO	3,50	1,00	SI	MEDIO	4	ALTO	SI	60
63	MEDIO	MEDIO	3,75	1,50	SI	BASSO	3	ALTO	NO	80
64	ALTO	MEDIO	3,50	1,00	SI	BASSO	4	ALTO	SI	60
65	MEDIO	MEDIO	3,50	0,00	NO	MEDIO	2	ALTO	NO	80

66	BASSO	ALTO	3,50	1,00	SI	MEDIO	3	ALTO	NO	80
67	ALTO	MEDIO	3,75	1,00	SI	BASSO	2	ALTO	SI	70
68	MEDIO	BASSO	3,25	0,70	SI	ALTO	1	ALTO	SI	80
69	BASSO	MEDIO	3,25	0,50	SI	MEDIO	4	ALTO	SI	60
70	BASSO	MEDIO	3,50	1,00	SI	ALTO	2	BASSO	SI	90
71	BASSO	BASSO	3,00	1,25	SI	BASSO	3	ALTO	NO	70
72	MEDIO	BASSO	3,00	1,00	SI	MEDIO	2	BASSO	NO	80
73	ALTO	BASSO	3,00	0,50	SI	MEDIO	2	ALTO	SI	70
74	ALTO	BASSO	3,50	1,00	SI	MEDIO	3	ALTO	SI	60
75	BASSO	ALTO	3,75	0,00	NO	BASSO	4	ALTO	SI	60
76	BASSO	ALTO	3,50	0,00	NO	BASSO	4	BASSO	NO	70
77	BASSO	ALTO	3,25	0,70	SI	ALTO	4	ALTO	SI	60
78	MEDIO	ALTO	3,25	0,70	SI	ALTO	1	ALTO	NO	80
79	ALTO	BASSO	3,50	1,00	SI	MEDIO	2	ALTO	SI	80
80	ALTO	BASSO	3,75	1,25	SI	ALTO	3	BASSO	NO	90
81	ALTO	MEDIO	3,75	0,00	NO	MEDIO	2	BASSO	NO	90
82	MEDIO	ALTO	3,00	1,00	SI	BASSO	4	BASSO	SI	70
83	BASSO	MEDIO	3,00	0,70	SI	MEDIO	1	ALTO	NO	80
84	MEDIO	BASSO	3,50	1,25	SI	ALTO	2	ALTO	SI	80
85	ALTO	MEDIO	3,75	1,00	SI	ALTO	1	ALTO	SI	80
86	MEDIO	BASSO	3,75	0,00	NO	ALTO	1	ALTO	SI	80
87	MEDIO	MEDIO	3,50	1,25	SI	MEDIO	3	BASSO	NO	90
88	BASSO	ALTO	3,25	0,70	SI	BASSO	4	BASSO	SI	60
89	ALTO	MEDIO	3,25	1,00	SI	MEDIO	4	BASSO	SI	70
90	ALTO	MEDIO	3,00	0,70	SI	ALTO	2	ALTO	NO	80
91	MEDIO	BASSO	3,00	0,00	NO	ALTO	3	ALTO	SI	60
92	BASSO	MEDIO	3,75	0,00	NO	MEDIO	1	ALTO	NO	90
93	MEDIO	ALTO	3,75	0,50	SI	MEDIO	4	ALTO	NO	70
94	ALTO	BASSO	3,75	1,00	SI	BASSO	3	BASSO	NO	80
95	BASSO	MEDIO	3,50	0,00	NO	MEDIO	2	ALTO	NO	80
96	BASSO	BASSO	3,75	1,00	SI	ALTO	4	ALTO	SI	70
97	MEDIO	MEDIO	3,50	1,25	SI	ALTO	2	ALTO	NO	90
98	BASSO	MEDIO	3,00	1,00	SI	BASSO	1	BASSO	SI	80
99	ALTO	BASSO	3,00	0,70	SI	MEDIO	2	ALTO	SI	80
100	ALTO	ALTO	3,00	0,00	NO	ALTO	3	ALTO	SI	70

## 14.2 ALLEGATO 2 – DECISION TABLE 2

**TABELLA 14-II - TABELLA DI DECISIONE (DECISION TABLE) UTILIZZATA PER LA DETERMINAZIONE DEI LIMITI DINAMICI**

TRONCO STRADALE	ATTRIBUTI CONDIZIONALI													ATTRIBUTO DECISIONALE
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	A <sub>7</sub>	A <sub>8</sub>	A <sub>9</sub>	A <sub>10</sub>	A <sub>11</sub>	A <sub>12</sub>	A <sub>13</sub>	
	LARGHEZZA DELLA CORSIA	LARGHEZZA DELLA BANCHINA	CONDIZIONI DEI MARGINI	SEGNALETICA	CONDIZIONI DELLA PAVIMENTAZIONE	ROADSIDE HAZARD RATING	TASSO D'INCIDENTALITÀ	ADVERSE ALIGNMENT	CONDIZIONI SUP. STRADALE	PIOGGIA	VENTO	NEBBIA	VOLUME DI TRAFFICO	
1	3,25	0,00	B	SI	M	1	B	NO	A	NO	NO	SI	B	80
2	3,25	1,00	C	SI	A	1	A	NO	B	M	NO	NO	B	80
3	3,50	1,00	B	SI	M	2	B	SI	A	NO	NO	SI	B	70
4	3,50	1,00	C	SI	M	4	A	SI	B	M	SI	NO	A	60
5	3,50	0,00	B	NO	A	2	B	NO	B	M	NO	NO	B	80
6	3,50	1,00	C	SI	B	1	B	SI	A	NO	NO	NO	B	80
7	3,50	1,25	C	SI	A	2	A	SI	B	I	NO	SI	A	60
8	3,50	0,00	B	NO	B	4	A	SI	A	NO	NO	SI	A	50
9	3,75	0,00	B	NO	M	2	B	SI	A	NO	NO	SI	A	70
10	3,75	0,75	B	SI	B	3	A	SI	A	NO	NO	SI	A	50
11	3,50	0,00	B	SI	M	4	B	SI	B	I	NO	SI	B	50
12	3,75	0,75	C	NO	M	3	A	NO	A	NO	NO	SI	A	60
13	3,50	1,25	C	SI	A	2	A	SI	A	NO	NO	SI	A	60
14	3,25	0,00	B	NO	M	4	A	SI	B	I	NO	NO	B	50
15	3,25	0,00	B	SI	B	4	B	SI	A	NO	SI	NO	B	60
16	3,50	0,00	B	SI	M	3	B	SI	B	I	NO	SI	A	50
17	3,50	0,00	C	SI	B	3	B	NO	A	NO	NO	NO	A	80
18	3,75	1,00	B	SI	A	2	A	NO	A	NO	NO	SI	A	70
19	3,75	1,25	C	SI	A	1	B	NO	B	M	NO	NO	B	80
20	3,75	1,00	C	SI	M	2	A	NO	B	I	NO	NO	A	70
21	3,75	1,25	B	SI	M	4	A	NO	B	I	NO	NO	A	60
22	3,25	0,00	B	SI	B	4	A	NO	A	NO	SI	NO	A	50
23	3,75	0,00	B	SI	B	4	B	SI	B	NO	NO	NO	B	50
24	3,75	0,00	B	NO	B	4	A	SI	B	M	NO	SI	B	50
25	3,50	1,00	C	SI	B	4	A	NO	A	NO	NO	NO	B	70
26	3,50	1,25	C	SI	B	3	A	SI	B	I	NO	NO	A	50
27	3,75	0,75	B	SI	M	3	A	SI	A	NO	SI	NO	A	60
28	3,50	0,75	B	SI	M	4	A	SI	A	NO	NO	SI	A	50
29	3,50	1,00	C	SI	M	3	B	SI	B	I	NO	SI	B	50
30	3,50	0,75	C	SI	A	4	B	NO	A	NO	NO	NO	A	80
31	3,75	1,00	C	SI	M	1	B	SI	B	M	SI	NO	A	80
32	3,50	1,00	B	SI	M	2	A	SI	A	NO	NO	SI	B	70
33	3,70	1,20	C	NO	B	2	B	SI	A	NO	NO	SI	A	70

34	3,50	0,75	C	SI	B	4	B	NO	A	NO	NO	NO	A	80
35	3,50	0,70	B	SI	M	3	A	SI	B	M	NO	NO	A	60
36	3,75	0,00	B	SI	M	1	A	SI	A	NO	SI	NO	A	70
37	3,25	0,00	B	NO	B	4	B	SI	B	M	NO	NO	B	50
38	3,25	0,70	B	SI	B	3	B	NO	A	NO	NO	SI	B	60
39	3,50	0,00	B	NO	M	3	B	SI	B	M	NO	NO	A	50
40	3,50	0,00	B	SI	B	2	A	NO	A	NO	NO	NO	A	80
41	3,75	0,00	B	NO	B	3	A	SI	A	NO	NO	NO	A	60
42	3,25	1,00	C	SI	M	4	B	SI	B	I	SI	NO	B	60
43	3,75	1,20	B	SI	B	3	A	SI	B	M	NO	SI	A	50
44	3,50	1,00	B	NO	B	3	A	NO	B	I	NO	NO	A	60
45	3,25	0,00	B	SI	M	4	A	SI	B	I	NO	NO	A	50
46	3,75	1,00	B	SI	A	2	B	NO	B	I	SI	NO	A	70
47	3,50	1,25	B	NO	A	3	B	SI	A	NO	NO	SI	A	60
48	3,00	0,75	C	SI	M	3	B	NO	B	M	NO	SI	A	70
49	3,75	1,00	C	SI	M	4	A	NO	B	I	NO	NO	B	70
50	3,75	0,00	B	NO	A	3	B	SI	B	M	NO	NO	B	70
51	3,75	1,00	C	SI	M	2	B	NO	B	M	NO	NO	B	80
52	3,50	0,70	C	SI	M	1	A	NO	A	NO	SI	NO	A	80
53	3,50	0,50	C	SI	A	1	A	NO	B	NO	NO	NO	A	80
54	3,75	0,00	B	NO	A	1	B	SI	A	NO	NO	SI	A	70
55	3,00	1,00	B	SI	A	1	B	SI	A	NO	SI	NO	A	80
56	3,50	0,00	B	SI	A	1	B	NO	B	NO	NO	SI	A	70
57	3,00	0,00	B	NO	B	4	B	NO	B	I	NO	SI	A	50
58	3,75	0,70	C	SI	M	1	B	NO	B	I	SI	NO	A	80
59	3,50	1,00	B	NO	M	2	B	SI	A	NO	NO	SI	A	70
60	3,25	0,70	C	SI	B	2	B	NO	A	NO	NO	SI	A	80
61	3,25	0,70	C	SI	B	2	B	SI	B	I	SI	NO	B	60
62	3,50	1,00	C	SI	M	4	A	SI	B	NO	SI	NO	A	60
63	3,75	1,50	C	SI	B	3	A	NO	B	I	NO	NO	B	60
64	3,50	1,00	C	SI	B	4	A	SI	B	NO	NO	SI	A	50
65	3,50	0,00	B	NO	M	3	A	SI	A	NO	NO	SI	B	50
66	3,50	1,00	C	SI	M	3	A	SI	B	I	NO	NO	B	50
67	3,75	1,00	C	SI	B	2	A	SI	B	M	NO	NO	A	60
68	3,25	0,70	C	SI	A	1	A	SI	A	NO	NO	NO	B	80
69	3,25	0,50	B	SI	M	4	A	NO	A	NO	SI	NO	A	70
70	3,50	1,00	B	SI	A	2	B	SI	A	NO	SI	NO	A	80
71	3,00	1,25	B	SI	B	3	A	NO	A	NO	NO	NO	A	70
72	3,00	1,00	B	SI	M	2	B	NO	A	NO	NO	SI	B	80
73	3,00	0,50	C	SI	M	2	A	SI	B	M	SI	NO	A	70
74	3,50	1,00	B	NO	B	3	A	SI	B	NO	NO	SI	A	50
75	3,75	0,00	B	NO	B	4	A	SI	A	NO	NO	SI	A	50
76	3,50	0,00	B	NO	B	4	B	NO	A	NO	NO	NO	B	70
77	3,25	0,70	C	SI	A	4	A	SI	A	NO	NO	NO	B	70
78	3,75	0,70	C	SI	B	1	A	SI	B	NO	SI	NO	A	60
79	3,50	1,00	B	NO	B	2	A	SI	B	M	NO	SI	B	50
80	3,75	1,25	C	SI	B	3	B	NO	A	NO	NO	NO	B	80
81	3,75	0,00	B	NO	M	2	B	NO	A	NO	NO	SI	B	70

82	3,00	1,00	C	SI	B	4	B	SI	B	NO	NO	SI	B	60
83	3,00	0,70	C	SI	M	1	A	NO	A	NO	NO	NO	A	80
84	3,50	1,25	C	SI	A	2	A	SI	B	M	SI	NO	A	70
85	3,75	0,00	B	SI	B	3	A	SI	B	M	NO	SI	A	50
86	3,75	0,00	B	NO	A	1	A	SI	A	NO	SI	NO	A	70
87	3,50	1,25	C	SI	M	3	B	NO	A	NO	NO	SI	A	70
88	3,25	0,70	B	SI	B	4	B	SI	B	I	NO	NO	B	50
89	3,25	1,00	C	SI	M	4	B	SI	B	I	SI	NO	B	60
90	3,00	0,70	C	SI	A	2	B	NO	B	I	NO	NO	A	80
91	3,00	0,00	B	NO	A	3	A	SI	A	NO	SI	NO	B	60
92	3,75	0,00	B	NO	B	1	B	SI	A	NO	NO	SI	B	60
93	3,75	0,50	C	SI	M	4	B	NO	B	M	NO	SI	B	70
94	3,75	1,00	B	SI	B	3	B	NO	B	I	SI	NO	A	60
95	3,50	0,00	B	NO	M	2	A	NO	A	NO	NO	NO	A	80
96	3,75	1,00	C	NO	B	4	A	SI	B	I	NO	NO	A	50
97	3,50	1,25	C	SI	A	2	A	NO	B	M	NO	NO	B	80
98	3,00	1,00	B	SI	M	3	A	SI	B	M	SI	NO	B	60
99	3,00	0,70	C	SI	M	2	A	SI	B	I	NO	NO	B	60
100	3,45	1,10	C	NO	A	2	A	NO	A	NO	SI	NO	B	80
101	3,25	1,00	C	SI	A	1	A	NO	A	NO	NO	NO	B	90
102	3,50	1,00	C	SI	B	2	B	NO	A	NO	NO	NO	A	90
103	3,50	0,00	B	NO	A	2	B	NO	A	NO	NO	NO	B	90
104	3,50	1,00	C	SI	A	1	B	SI	A	NO	NO	NO	B	90
105	3,50	1,25	C	SI	A	2	B	NO	A	NO	NO	NO	B	90
106	3,75	0,75	C	NO	A	2	B	NO	A	NO	NO	NO	A	90
107	3,75	1,00	C	SI	A	2	B	NO	A	M	NO	NO	B	90
108	3,75	1,25	C	SI	A	1	B	NO	A	NO	NO	NO	B	90
109	3,50	1,25	C	SI	M	1	B	SI	A	NO	SI	NO	B	90
110	3,75	1,00	C	SI	M	1	B	SI	A	NO	NO	NO	A	90
111	3,75	0,00	B	SI	A	1	B	NO	A	NO	NO	NO	A	90
112	3,50	1,00	C	SI	A	1	B	NO	A	NO	SI	NO	B	90
113	3,75	1,00	C	SI	A	2	B	NO	A	NO	NO	NO	B	90
114	3,50	1,25	C	SI	A	2	B	SI	A	M	NO	NO	A	90
115	3,75	1,00	C	SI	M	2	B	NO	A	NO	SI	NO	A	90
116	3,50	0,50	C	SI	A	1	B	NO	A	NO	NO	NO	B	90
117	3,50	0,00	B	SI	A	1	B	NO	A	NO	NO	NO	B	90
118	3,75	0,70	C	SI	B	1	B	NO	A	NO	NO	NO	A	90
119	3,50	1,00	C	SI	M	2	A	NO	A	NO	NO	NO	A	90
120	3,50	1,00	C	SI	A	2	B	SI	A	NO	NO	NO	B	90
121	3,75	1,25	C	SI	A	3	B	NO	A	M	NO	NO	B	90
122	3,75	0,00	B	NO	M	2	B	NO	A	NO	NO	NO	B	90
123	3,50	1,25	C	SI	M	3	B	NO	A	NO	NO	NO	B	90
124	3,75	0,00	B	NO	M	1	A	NO	A	NO	NO	NO	B	90
125	3,50	1,25	C	SI	A	2	A	NO	A	M	NO	NO	B	90

## 14.3 ALLEGATO 3 – DECISION TABLE 3

TABELLA 14-III - TABELLA DI DECISIONE (DECISION TABLE) UTILIZZATA PER LA DETERMINAZIONE DEI LIMITI STATICI CON DECISORI MULTIPLI

TRONCO STRADALE	ATTRIBUTI CONDIZIONALI									ATTRIBUTO DECISIONALE		
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	A <sub>7</sub>	A <sub>8</sub>	A <sub>9</sub>	LIMITE DI VELOCITÀ		
	PERCENTUALE DI TRAFFICO	PERCENTUALE DI VEICOLI	LARGHEZZA DELLA CORSAIA	LARGHEZZA DELLA BANCHINA	SEGNALETICA	CONDIZIONE DEL PAVIMENTO	ESPOSIZIONE A HAZARD	TASSO D'INCIDENTALITÀ	ALINEAMENTO	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>
1	ALTO	ALTO	3,25	0,00	SI	MEDIO	1	BASSO	NO	80	80	90
2	ALTO	MEDIO	3,25	1,00	SI	ALTO	1	ALTO	NO	70	90	70
3	MEDIO	MEDIO	3,50	1,00	SI	BASSO	2	BASSO	NO	70	90	80
4	BASSO	BASSO	3,50	1,00	SI	MEDIO	4	ALTO	SI	80	70	60
5	BASSO	MEDIO	3,50	0,00	NO	ALTO	2	BASSO	NO	70	90	90
6	MEDIO	MEDIO	3,50	1,00	SI	ALTO	1	BASSO	SI	80	90	80
7	BASSO	ALTO	3,50	1,25	SI	ALTO	2	BASSO	NO	80	90	90
8	ALTO	ALTO	3,50	0,00	NO	BASSO	4	ALTO	SI	60	60	60
9	MEDIO	ALTO	3,75	0,00	NO	MEDIO	2	BASSO	SI	70	80	80
10	ALTO	MEDIO	3,75	0,75	SI	BASSO	3	ALTO	SI	60	60	60
11	BASSO	MEDIO	3,50	0,00	SI	MEDIO	4	BASSO	SI	80	70	60
12	MEDIO	MEDIO	3,75	0,75	NO	ALTO	2	BASSO	NO	80	90	80
13	ALTO	BASSO	3,50	1,25	SI	ALTO	3	ALTO	SI	70	70	70
14	BASSO	ALTO	3,25	0,00	NO	MEDIO	4	ALTO	SI	70	60	60
15	ALTO	BASSO	3,25	0,00	SI	BASSO	4	BASSO	SI	70	60	60
16	BASSO	BASSO	3,50	0,00	SI	MEDIO	3	BASSO	SI	80	70	70
17	BASSO	MEDIO	3,50	0,00	SI	BASSO	3	BASSO	NO	80	70	80
18	MEDIO	BASSO	3,75	1,00	SI	ALTO	2	BASSO	NO	90	90	80
19	ALTO	ALTO	3,75	1,25	SI	ALTO	1	BASSO	NO	80	90	90
20	ALTO	ALTO	3,75	1,00	SI	MEDIO	2	ALTO	NO	70	80	80
21	ALTO	MEDIO	3,75	1,25	SI	MEDIO	4	ALTO	SI	60	70	60
22	BASSO	ALTO	3,25	0,00	SI	BASSO	4	ALTO	NO	60	60	60
23	BASSO	MEDIO	3,75	0,00	SI	BASSO	4	BASSO	NO	70	70	70
24	ALTO	MEDIO	3,75	0,00	NO	BASSO	4	ALTO	SI	60	60	60
25	ALTO	ALTO	3,50	1,00	SI	BASSO	4	ALTO	SI	60	60	60
26	BASSO	BASSO	3,50	1,25	SI	MEDIO	1	ALTO	SI	70	90	80
27	ALTO	ALTO	3,75	0,75	SI	MEDIO	3	BASSO	SI	80	70	80
28	MEDIO	ALTO	3,50	0,75	SI	MEDIO	4	ALTO	SI	70	60	70
29	MEDIO	BASSO	3,50	1,00	SI	MEDIO	3	BASSO	SI	80	70	80
30	MEDIO	MEDIO	3,50	0,75	SI	ALTO	4	BASSO	NO	90	70	80
31	BASSO	BASSO	3,75	1,00	SI	MEDIO	1	BASSO	SI	90	90	90
32	MEDIO	MEDIO	3,50	1,00	SI	MEDIO	2	ALTO	SI	70	80	80
33	ALTO	ALTO	3,50	0,00	NO	MEDIO	3	BASSO	SI	70	70	80
34	MEDIO	MEDIO	3,50	0,75	SI	BASSO	4	BASSO	NO	70	70	70
35	ALTO	BASSO	3,50	0,70	SI	MEDIO	3	ALTO	SI	70	60	60
36	BASSO	MEDIO	3,75	0,00	SI	ALTO	1	BASSO	NO	90	90	90

37	ALTO	ALTO	3,25	0,00	NO	BASSO	4	BASSO	SI	60	60	60
38	ALTO	BASSO	3,25	0,70	SI	BASSO	3	BASSO	NO	80	60	70
39	MEDIO	MEDIO	3,50	0,00	NO	MEDIO	3	BASSO	SI	70	60	70
40	BASSO	ALTO	3,50	0,00	SI	BASSO	2	ALTO	NO	70	60	80
41	ALTO	ALTO	3,75	0,00	NO	BASSO	3	ALTO	SI	60	60	70
42	ALTO	ALTO	3,25	1,00	SI	MEDIO	4	BASSO	SI	60	60	80
43	BASSO	BASSO	3,75	1,20	SI	BASSO	3	ALTO	SI	70	60	60
44	BASSO	BASSO	3,50	1,00	SI	ALTO	1	BASSO	NO	90	90	90
45	MEDIO	MEDIO	3,25	0,00	SI	MEDIO	4	ALTO	SI	70	60	60
46	BASSO	BASSO	3,75	1,00	SI	ALTO	2	BASSO	NO	90	90	90
47	BASSO	BASSO	3,50	1,25	SI	ALTO	2	BASSO	SI	90	90	80
48	ALTO	MEDIO	3,00	1,25	SI	MEDIO	3	BASSO	NO	80	80	80
49	MEDIO	BASSO	3,75	1,00	SI	MEDIO	4	ALTO	NO	80	70	70
50	ALTO	BASSO	3,75	0,00	NO	ALTO	3	BASSO	SI	70	70	80
51	BASSO	MEDIO	3,75	1,00	SI	MEDIO	2	BASSO	NO	90	90	90
52	MEDIO	ALTO	3,50	0,70	SI	BASSO	1	ALTO	NO	80	80	80
53	ALTO	MEDIO	3,50	0,50	SI	ALTO	1	BASSO	NO	90	90	90
54	MEDIO	BASSO	3,75	0,00	NO	ALTO	1	BASSO	SI	80	80	80
55	MEDIO	BASSO	3,00	1,00	SI	ALTO	1	BASSO	SI	80	80	90
56	BASSO	BASSO	3,50	0,00	SI	ALTO	1	BASSO	NO	90	90	90
57	MEDIO	MEDIO	3,00	0,00	NO	BASSO	3	BASSO	NO	70	70	80
58	BASSO	MEDIO	3,75	0,70	SI	BASSO	1	BASSO	NO	70	90	90
59	MEDIO	BASSO	3,50	1,00	SI	MEDIO	2	ALTO	NO	80	90	80
60	ALTO	BASSO	3,25	0,70	SI	BASSO	2	BASSO	NO	70	80	80
61	ALTO	BASSO	3,25	0,70	SI	BASSO	2	BASSO	SI	70	70	70
62	BASSO	ALTO	3,50	1,00	SI	MEDIO	4	ALTO	SI	70	60	70
63	MEDIO	MEDIO	3,75	1,50	SI	BASSO	3	ALTO	NO	70	80	80
64	ALTO	MEDIO	3,50	1,00	SI	BASSO	4	ALTO	SI	60	60	60
65	MEDIO	MEDIO	3,50	0,00	NO	MEDIO	2	ALTO	NO	70	80	70
66	BASSO	ALTO	3,50	1,00	SI	MEDIO	3	ALTO	NO	80	80	80
67	ALTO	MEDIO	3,75	1,00	SI	BASSO	2	ALTO	SI	70	70	70
68	MEDIO	BASSO	3,25	0,70	SI	ALTO	1	ALTO	SI	80	80	70
69	BASSO	MEDIO	3,25	0,50	SI	MEDIO	4	ALTO	SI	70	60	60
70	BASSO	MEDIO	3,50	1,00	SI	ALTO	2	BASSO	SI	90	90	80
71	BASSO	BASSO	3,00	1,25	SI	BASSO	3	ALTO	NO	70	70	70
72	MEDIO	BASSO	3,00	1,00	SI	MEDIO	2	BASSO	NO	70	80	90
73	ALTO	BASSO	3,00	0,50	SI	MEDIO	2	ALTO	SI	60	70	80
74	ALTO	BASSO	3,50	1,00	SI	MEDIO	3	ALTO	SI	60	60	70
75	BASSO	ALTO	3,75	0,00	NO	BASSO	4	ALTO	SI	60	60	60
76	BASSO	ALTO	3,50	0,00	NO	BASSO	4	BASSO	NO	70	70	70
77	BASSO	ALTO	3,25	0,70	SI	ALTO	4	ALTO	SI	70	60	60
78	MEDIO	ALTO	3,25	0,70	SI	ALTO	1	ALTO	NO	80	80	80
79	ALTO	BASSO	3,50	1,00	SI	MEDIO	2	ALTO	SI	80	80	80
80	ALTO	BASSO	3,75	1,25	SI	ALTO	3	BASSO	NO	80	90	80
81	ALTO	MEDIO	3,75	0,00	NO	MEDIO	2	BASSO	NO	70	90	90
82	MEDIO	ALTO	3,00	1,00	SI	BASSO	4	BASSO	SI	70	70	80
83	BASSO	MEDIO	3,00	0,70	SI	MEDIO	1	ALTO	NO	70	80	80
84	MEDIO	BASSO	3,50	1,25	SI	ALTO	2	ALTO	SI	70	80	70

85	ALTO	MEDIO	3,75	1,00	SI	ALTO	1	ALTO	SI	70	80	80
86	MEDIO	BASSO	3,75	0,00	NO	ALTO	1	ALTO	SI	70	80	70
87	MEDIO	MEDIO	3,50	1,25	SI	MEDIO	3	BASSO	NO	80	90	80
88	BASSO	ALTO	3,25	0,70	SI	BASSO	4	BASSO	SI	80	60	70
89	ALTO	MEDIO	3,25	1,00	SI	MEDIO	4	BASSO	SI	80	70	80
90	ALTO	MEDIO	3,00	0,70	SI	ALTO	2	ALTO	NO	70	80	80
91	MEDIO	BASSO	3,00	0,00	NO	ALTO	3	ALTO	SI	70	60	70
92	BASSO	MEDIO	3,75	0,00	NO	MEDIO	1	ALTO	NO	70	90	80
93	MEDIO	ALTO	3,75	0,50	SI	MEDIO	4	ALTO	NO	80	70	70
94	ALTO	BASSO	3,75	1,00	SI	BASSO	3	BASSO	NO	80	80	80
95	BASSO	MEDIO	3,50	0,00	NO	MEDIO	2	ALTO	NO	70	80	80
96	BASSO	BASSO	3,75	1,00	SI	ALTO	4	ALTO	SI	80	70	70
97	MEDIO	MEDIO	3,50	1,25	SI	ALTO	2	ALTO	NO	80	90	80
98	BASSO	MEDIO	3,00	1,00	SI	BASSO	1	BASSO	SI	70	80	80
99	ALTO	BASSO	3,00	0,70	SI	MEDIO	2	ALTO	SI	70	80	80
100	ALTO	ALTO	3,00	0,00	NO	ALTO	3	ALTO	SI	60	70	70

## 14.4 ALLEGATO 4 – INCIDENTI VERIFICATISI LUNGO LA SS385 (TRA IL KM 25+000 E IL KM 55+150) TRA IL 2005 E IL 2010

**TABELLA 14-IV – INCIDENTI VERIFICATISI LUNGO LA SS385 (TRA IL KM 25+000 E IL KM 55+150) TRA IL  
2005 E IL 2010**

PROGR.	DATA	ORA	SEZIONE STRADALE	TIPOLOGIA D'INCIDENTE	N. VEIC.	N. MOR.	N. FER.	FONTI
27+800	10.07.2006	11:50	RETTIFILO	SBANDAMENTO + COLLISIONE	2	0	1	CARABINIERI PALAGONIA
28+500	02.04.2008	8:20	INTERSEZION E	OMESSA PRECEDENZA	2	0	2	VV.UU. PALAGONIA
28+500	06.08.2009	9:00	INTERSEZION E	TAMPONAMENTO	2	0	1	VV.UU. PALAGONIA
28+500	06.10.2005	8:40	INTERSEZION E	OMESSA PRECEDENZA	2	0	2	CARABINIERI PALAGONIA
28+500	11.08.2005	11:20	INTERSEZION E	OMESSA PRECEDENZA	2	0	2	CARABINIERI PALAGONIA
28+500	03.09.2008	13:00	INTERSEZION E	OMESSA PRECEDENZA	2	0	2	CARABINIERI PALAGONIA
28+500	01.03.2008	13:10	INTERSEZION E	OMESSA PRECEDENZA	2	0	1	CARABINIERI PALAGONIA
28+500	25.01.2008	6:20	INTERSEZION E	OMESSA PRECEDENZA	2	0	1	CARABINIERI PALAGONIA
28+500	10.03.2008	8:00	INTERSEZION E	OMESSA PRECEDENZA	2	0	2	CARABINIERI PALAGONIA
28+500	19.01.2005	7:10	INTERSEZION E	OMESSA PRECEDENZA	2	0	1	CARABINIERI PALAGONIA
28+500	26.05.2009	21:00	INTERSEZION E	OMESSA PRECEDENZA	2	0	1	CARABINIERI PALAGONIA
29+050	21.02.2005	10:40	RETTILINEO	SBANDAMENTO	1	0	1	POLIZIA STRADALE CALTAGIRONE
30+850	14.02.2005	14:50	RETTILINEO	SBANDAMENTO	1	0	1	CARABINIERI PALAGONIA
31+350	28.03.2008	18:00	RETTILINEO	TAMPONAMENTO	2	3	0	VV.UU. PALAGONIA
32+000	23.05.2005	17:10	RETTILINEO	SBANDAMENTO	1	1	0	CARABINIERI PALAGONIA
32+500	22.01.2008	18:00	CURVA	URTO FRONTALE CAUSA SBANDAMENTO	2	0	3	VV.UU. PALAGONIA
33+785	15.03.2007	9:35	CURVA	SBANDAMENTO	1	0	1	CARABINIERI MINEO
34+000	27.11.2009	7:40	RETTILINEO	SBANDAMENTO + TAMPONAMENTO	2	0	2	CARABINIERI PALAGONIA
34+200	06.04.2006	5:30	RETTIFILO	FRONTALE	2	0	1	CARABINIERI PALAGONIA
34+700	18.11.2006	23:15	RETTIFILO	SBANDAMENTO	1	0	1	CARABINIERI PALAGONIA
36+500	25.04.2006	19:30	RETTIFILO	VELOCITÀ	3	4	2	CARABINIERI

								PALAGONIA
37+000	04.09.2005	9:30	RETTIFILO	SBANDAMENTO	1	1	0	POLIZIA STRADALE CALTAGIRONE
37+000	06.03.2006	18:30	RETTIFILO	FRONTALE	2	0	3	CARABINIERI PALAGONIA
37+000	12.04.2006	12:00	RETTIFILO	SBANDAMENTO + TAMPONAMENTO	3	0	4	CARABINIERI PALAGONIA
37+400	10.05.2009	6:30	RETTIFILO	SBANDAMENTO	1	0	2	POLIZIA STRADALE CALTAGIRONE
38+100	04.06.2005	16:35	RETTIFILO	SBANDAMENTO	1	0	1	CARABINIERI PALAGONIA
38+400	01.07.2005	9:05	RETTIFILO	SBANDAMENTO	1	0	1	CARABINIERI PALAGONIA
38+600	25.12.2005	15:40	INTERSEZION E	MANCATA PRECEDENZA	2	0	2	CARABINIERI PALAGONIA
38+600	06.11.2008	21:15	INTERSEZION E	SBANDAMENTO	1	0	1	CARABINIERI PALAGONIA
38+600	12.07.2006	16:30	INTERSEZION E	MANCATA PRECEDENZA	2	0	1	CARABINIERI PALAGONIA
38+600	22.07.2005	10:30	INTERSEZION E	MANCATA PRECEDENZA	2	0	5	CARABINIERI MINEO
39+300	26.02.2008	06:40	INTERSEZION E	FRONTO-LATERALE	2	0	1	POLIZIA STRADALE CALTAGIRONE
41+425	07.04.2008	17:45	RETTIFILO	LATERALE	2	0	3	POLIZIA STRADALE CALTAGIRONE
41+300	05.09.2006	18:00	RETTILINEO	SBANDAMENTO	1	0	1	POLIZIA STRADALE CALTAGIRONE
41+800	15.11.2006	17:10	RETTILINEO	SBANDAMENTO	1	0	14	CARABINIERI PALAGONIA
42+000	27.04.2006	10:00	CURVA	SBANDAMENTO	1	0	3	CARABINIERI PALAGONIA
42+000	08.03.2010	10:10	CURVA	SBANDAMENTO + TAMPONAMENTO	2	0	1	CARABINIERI PALAGONIA
42+100	29.10.2006	06:10	CURVA	SBANDAMENTO + FRONTALE	2	0	2	POLIZIA STRADALE CALTAGIRONE
42+600	17.06.2009	06:50	RETTILINEO	FRONTO-LATERALE	2	1	0	CARABINIERI MINEO
45+500	17.12.2009	12:00	RETTILINEO	SBANDAMENTO	1	0	1	POLIZIA STRADALE CALTAGIRONE
48+400	10.12.2009	13:30	RETTILINEO	FRONTALE	2	0	2	POLIZIA STRADALE CALTAGIRONE
48+600	15.11.2009	13:30	INTERSEZION E	MANCATA PRECEDENZA	2	0	2	CARABINIERI CALTAGIRONE
51+800	29.11.2008	15:15	CURVA	FRONTALE	2	0	1	VV.UU. CALTAGIRONE
55+150	22.10.2008	8:00	INTERSEZION E	TAMPONAMENTO	2	0	4	CARABINIERI CALTAGIRONE



# BIBLIOGRAFIA

1. **OECD/ECMT.** *Speed Management*. Paris : Organisation for Economic Co-operation and Development OECD/European Conference of Ministers of Transport ECMT, 2006.
2. **ISTAT.** *Statistica degli incidenti stradali, anno 2008*. 2008.
3. **TRB.** *Managing Speed: Review of current practice for setting and enforcing speed limits. TRB Special Report 254*. Washington D.C.: Transportation Research Board (TRB), 1998.
4. **Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.** *Piano Nazionale della Sicurezza Stradale – Azioni Prioritarie*. s.l. : Ispettorato generale per la circolazione e la sicurezza stradale, 2002.
5. **SWOV.** *SWOV Fact sheet - The relation between speed and crashes*. Leidschendam : SWOV - Institute for road safety research, 2007.
6. *Driving speed and the risk of road crashes: A review*. **Aarts, L. and van Schagen, I.** s.l. : Accident Analysis and Prevention, 2006, Accident Analysis and Prevention, Vol. 38, pp. 215–224.
7. **Elvik, R., Christensen, P. and Amundsen, A.** *Speed and road accidents: an evaluation of the Power Model*. Oslo : TOI, 2004.
8. **ETSC.** *Managing Speed - Towards Safe and Sustainable Road Transport*. s.l. : ETSC - European Transport Safety Council, 2008.
9. **SafetyNet.** *Speeding. European Commission - Road Safety*. [Online] 2009 йил. [http://ec.europa.eu/transport/road\\_safety/specialist/knowledge/pdf/speeding.pdf](http://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/knowledge/pdf/speeding.pdf).
10. **Finch, D.J., et al.** *Speed, speed limit and crashes*. Berkshire : Transport Research Laboratory TRL, Crowthorne, 1994. Project Record S211G/RB/Project Report PR 58.
11. *The effects of speed limits on traffic crashes in Sweden*. **Nilsson, G.** Paris : Organisation for Economy, Co-operation, and Development (OECD), 1982. Proceedings of the

international symposium on the effects of speed limits on traffic crashes and fuel consumption, Dublin.

12. **Nilsson, G.** *Traffic Safety Dimension and the Power Model to describe the Effect of Speed on Safety*. s.l. : Lund Institute of Technology, Sweden, 2004.
13. **Kloeden, C.N., et al.** *Travelling speed and the rate of crash involvement. Volume 1: findings. Report No. CR 172*. Canberra : Federal Office of Road Safety FORS, 1997.
14. **Kloeden, C.N., Ponte, G. and McLean, A.J.** *Travelling speed and the rate of crash involvement on rural roads. Report No. CR 204*. s.l. : Australian Transport Safety Bureau ATSB, Civic Square, ACT, 2001.
15. **Kloeden, C. N., McLean, A.J. and Glonek, G.** *Reanalysis of travelling speed and the rate of crash involvement in Adelaide South Australia. Report No. CR 207*. s.l. : Australian Transport Safety Bureau ATSB, Civic Square, ACT, 2002.
16. **Solomon, D.** *Accidents on Main Rural Highways Related to Speed, Driver, and Vehicle*. Washington, DC : Federal Highway Administration, 1964. (Reprinted 1974).
17. *Interstate System Accident Research Study II, Interim Report II*. **Cirillo, J.A.** 1968 йил, Public Roads, pp. Vol. 35, No. 3.
18. **Taylor, M., Lynam, D.A. and Baruya, A.** *The effect of drivers' speed on the frequency of accidents. TRL Report TRL421*. Crowthorne : Transport Research Laboratory, 2000.
19. **Taylor, M., Baruya, A. and Kennedy, J.V.** *The relationship between speed and accidents on rural single carriageway roads. TRL Report TRL511*. Crowthorne : Transport Research Laboratory, 2002.
20. **Turner-Fairbank Highway Research Center.** Synthesis of safety research related to speed and speed limits. *FHWA - Turner-Fairbank Highway Research Center*. [Online] 1998 йил. <http://www.tfsrc.gov/safety/speed/speed.htm>.
21. *Velocity Change and Fatality Risk in a Crash-A Rule of Thumb*. **Joksch, H.C.** 1, 1993 йил, Accident Analysis and Prevention, Vol. 25.
22. **IIHS.** 55 speed limit. *IIHS Facts*. 1987.
23. **Andersson, G. and Nilsson, G.** *Speed management in Sweden*. s.l. : VTI, Sweden, 1997.
24. **SARTRE 3.** *European drivers and road risk; Part 1: report on principal results*. Paris : INRETS, 2004.
25. **Fildes, B. N., Rumbold, G. and Leening, A.** *Speed Behavior and Drivers' Attitude to Speeding*. Victoria, Australia : Monash University Accident Research Centre, 1991.
26. **Mustyn, B. J. and Sheppard, D.** *A National Survey of Driver' Attitudes and Knowledge About Speed Limits*. Crowthorne, England : Transport and Road Research Laboratory, 1980.
27. **Heino, A.** *Risk taking in car driving; perceptions, individual differences and effects of safety incentives*. . s.l. : PhD Thesis; University of Groningen, NL, 1996.

28. **SWOV.** *SWOV Fact Sheet - Speed choice: the influence of man, vehicle, and road.* Leidschendam : SWOV - Institute for Road Safety Research, 2008.
29. **Goldenbeld, C., van Schagen, I. and Drupsteen, L.** *The influence of road and personal characteristics on the credibility of 80 km/hour speed limits; An explorative study.* Leidschendam (NL) : SWOV - Institute for Road Safety Research, 2005.
30. **Webster, D.C. and Wells, P.A.** *The characteristics of speeders.* Crowthorne UK : TransportResearch Laboratory, 2000. TRL440 .
31. **ETSC.** *Reducing Traffic Injuries resulting from excess and inappropriate speed.* Brussels : European Transport Safety Council, 1995.
32. **Martens, M., Comte, S. and Kaptein, N.** *The effects of road design on speed behaviour; A literature review. Deliverable 1 of the MASTER project.* Soesterberg : TNO, 1997.
33. **Elliot, M.A., McColl, V.A. & Kennedy, J.V.** *Road design measures to reduce drivers' speed via 'psychological' processes: a literature review. .* Crowthorne, UK : Transport Research Laboratory, 2003.
34. **Warren, D.L.** *Speed Zoning and Control.* [book auth.] FHWA. *Synthesis of Safety Research Related to Traffic Control and Roadway Elements Vol. 2, Report No. FHWA-TS-82-233.* Washington, DC : Federal Highway Administration, 1982, p. Chapter 17.
35. **Tignor, S.C. and Warren, D.** *Driver Speed Behavior on U.S. Streets and Highways - Compendium of Technical Papers.* Washington, DC : Institute of Transportation Engineers, 1990.
36. **Fildes, B. N.** *The Perception of Geometric Road Curves.* Australia : Monash University, 1986.
37. **Aarts, L. T., et al.** *Predictable road user behaviour by a recognizable road design; a theoretical and practical exploration.* Leidschendam (NL) : SWOV - Institute for Road Safety Research, 2006.
38. **SWOV.** *SWOV Fact Sheet - Towards credible speed limits.* Leidschendam : SWOV Institute for Road Safety Research, 2007.
39. *The Effect of Environmental Factors on Driver Speed: A Case Study.* **Liang, W. L., et al.** Washington, DC : TRB, 1998. 78th Annual Meeting of the Transportation Research Board. p. Paper No. 981397.
40. **Olson, P. L., et al.** *Parameters Affecting Stopping Sight Distance.* s.l. : Transportation Research Board, 1984.
41. **TRB.** *Highway Capacity Manual.* Washington, D.C., USA. : TRB - National research council, 2000.
42. **TRB.** *Design Speed, Operating Speed, and Posted Speed Limit Practices - NCHRP Report 504.* National Cooperative Highway Research Program. Washington, D.C., USA : Transportation Research Board (TRB), 2003.

43. **ETSC.** Speed Fact Sheet 7: Setting appropriate, safe, and credible speed limits. *European Transport Safety Council.* [Online] 2010. <http://www.etsc.eu/documents/Speed%20Fact%20Sheet%207.pdf>.
44. *Vision Zero: An ethical approach to safety and mobility.* **Tingvall, C. and Haworth, N.** 1999. Proceedings of the 6th ITE International Conference - Road Safety and Traffic Enforcement.
45. **WHO/FIA/GRSP/World Bank.** *Speed management: a road safety manual for decision-makers and practitioners.* Geneva : GRSP (Global Road Safety Partnership), 2008.
46. **Ministero delle infrastrutture e dei Trasporti.** Nuovo codice della strada. [Decreto legislativo 30 aprile 1992, n. 285]. 1992. Pubblicazione della norma sulla G.U. n. 114 del 18/05/1992.
47. **Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.** Regolamento di esecuzione e di attuazione del nuovo codice della strada. 1992. D.P.R. 495/1992.
48. **Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.** II° Direttiva sulla corretta ed uniforme applicazione delle norme del Codice della strada in materia di segnaletica e criteri per l'installazione e la manutenzione. 2004.
49. **Koornstra, M.J., et al.** *Towards a Sustainable Safe Road Traffic System [Naar een duurzaam veilig wegverkeer].* Leidschendam, The Netherlands : SWOV - Institute for Road Safety Research, 1992. [in Dutch].
50. **Transport Research Centre of the Ministry of Transport, Public Works and Water Management.** *Towards Safer Roads: Opportunities for a Policy to Bring About a Sustainable Safe Traffic System.* Rotterdam : Dutch Ministry of Transport, Public Works and Water Management, 1996.
51. **SWOV.** *Advancing Sustainable Safety - National Road Safety Outlook for 2005-2020.* Leidschendam : SWOV - Institute for Road Safety Research, 2006.
52. **SWOV.** *SWOV Fact sheet - Sustainable Safety: principles, misconceptions, and relations with other visions.* Leidschendam : SWOV - Institute for Road Safety Research, 2007.
53. *Safe speeds and credible speed limits (sacredspped): a new vision for decision making on speed management.* **Aarts, L., et al.** Washington : TRB, 2009. Proceeding of 88th Annual Meeting of the Transportation Research Board.
54. **Swedish Road Administration.** *Safe Traffic, Vision Zero on the Move.* Borlänge : Swedish Road Administration, 2002.
55. **SWOV.** *SWOV Fact sheet - Speed Management.* Leidschendam : SWOV - Institute for Road Safety Research, 2008.
56. **Corben, B., et al.** *Development of a New Road Safety Strategy for Western Australia 2008-2020.* s.l. : Monash University and Accident Research Centre (MUARC), 2005.
57. **Road Safety Council.** *Road Safety Council's Recommendation to Government to Reduce Road Trauma in Western Australia 2008 - 2020.* . s.l. : Road Safety Council, 2008.

58. **EC.** *European transport policy for 2010: time to decide. The commission White Paper on European Transport Policy. European transport policy.* Luxembourg, Office for Official Publications of the European. Luxembourg : Office for Official Publication of the European Communities, 2001.
59. **EC.** *Halving the number of road accident victims in the European Union by 2010: a shared responsibility; the European Road Safety Action Programme.* Luxembourg : Office for Official Publication of the European Communities, 2003.
60. **Unione Europea.** European Commission - Enterprise and Industry. *Directive and regulations.* [Online]  
[http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/automotive/documents/directives/directive-92-24-eeec\\_en.htm](http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/automotive/documents/directives/directive-92-24-eeec_en.htm).
61. **Elvik, R. and Vaa, T.** *The handbook of road safety measures.* Amsterdam : Pergamon Press, 2004.
62. **Fildes, B., et al.** *Balance between harm reduction and mobility in setting speed limits: a feasibility study.* Sidney : s.n., 2005. AP-R272/05.
63. **Department of Civil and Environmental Engineering University of South Florida.** *Criteria for Setting Speed Limits in Urban and Suburban Areas in Florida.* Tampa, Florida : s.n., 2003.
64. *Towards safe and credible speed limits.* **Aarts, L., et al.** Valencia : s.n., 2010. Proceedings of 4th International Symposium on Highway Geometric Design.
65. **van Nes, C. N., et al.** *Towards a checklist for credible speed limits; Development of an assessment method based on road and road environment characteristics.* Leidschendam : SWOV - Institute for Road Safety Research, 2007. in dutch. R-2006-12.
66. **Jarvis, J. and Hoban, C.** *VLIMITS: an expert system for speed zone determination in Victoria.* s.l. : ARRB, 1988. ARRB Report No. 155.
67. **Srinivasan, R., et al.** *Expert System for Recommending Speed Limits in Speed Zones. Final Report Submitted to NCHRP.* 2006.
68. **Lemer, A.** An expert system for recommending speed limits in speed zone. *Research Results Digest.* 2007, 318.
69. *Development of a Web-Based Expert System for Setting Speed Limits in Speed Zones.* **Srinivasan, R., et al.** Washington : s.n., 2008. Proceedings of 87th Annual Meeting of the Transportation Research Board.
70. **NCRHP.** USLIMIT2 Official Web Site. [Online] <http://www2.uslimits.org>.
71. **Zegeer, C. V., et al.** Safety Effects of Cross-Section Design for Two-Lane Roads. *Transportation Research Record.* 1988 йил, Vol. 1195.
72. *Identification of Hazardous Locations on City Streets.* **Zegeer, C.V. and Deen, R.C.,.** 4, 1977 йил, Traffic Quarterly, Vol. 31, pp. pp. 549-570.

73. *Examples of Variable Speed Limit Applications. Speed Management Workshop Notes.* **Robinson, M.** 2000. Proceedings of 79th Annual Meeting of Transportation Research Board.
74. *Variable Speed Control: Technologies and Practice.* **Sisiopiku, V. P.** 2001. Proceedings of the 11th Annual Meeting of ITS America.
75. **Wegman, F. and Goldenbeld, C.** *Speed management: enforcement and new technologies.* Leidschendam : SWOV - Institute for Road Safety Research, 2006. Publication R-2006-5.
76. *The potencial for variable speed control to improve safety on urban freeways.* **Hellinga, B. and Allaby, P.** Saskatoon, Saskatchewan : s.n., 2007. Proceedings of Transportation Association of Canada annual conference.
77. *Control by variable speed signs: Results of the Dutch experiment.* **Van de Hoogen, E. and Smulders, S.** s.l. : IEE Conf. Pub. 391, 1994. Proceedings of Road Traffic Monit. Control. pp. 145–149.
78. **UK Highway Agency.** *M25 controlled Motorways: Summary Report. Issue 1. 2004.* . s.l. : Highways Agency - Department of Transportation. , 2004. [http://www.standardsforhighways.co.uk/pilots\\_trials/files/ha2004.pdf](http://www.standardsforhighways.co.uk/pilots_trials/files/ha2004.pdf).
79. **ASF .** *Our sustainable development commitments.* s.l. : ASF - Autoroutes du Sud de la France, 2008. [http://www.asf.fr/Rubriques/rapports\\_annuels\\_2008/asf\\_dd\\_uk\\_as2/asf\\_dd\\_uk\\_as2/docs/all.pdf](http://www.asf.fr/Rubriques/rapports_annuels_2008/asf_dd_uk_as2/asf_dd_uk_as2/docs/all.pdf).
80. *Dynamic traffic management: ASF experience.* **Vitet, A.** Lisbon : s.n., 2010. Proceedings of EasyWay Annual Forum 2010.
81. **Vägverket.** *Variable speed limits field trial.* s.l.: Vägverket - Swedish Road Administration, 2007. [http://publikationswebbutik.vv.se/upload/2684/88521E\\_Variable\\_speed\\_limit\\_field\\_trials\\_utg\\_5\\_.pdf](http://publikationswebbutik.vv.se/upload/2684/88521E_Variable_speed_limit_field_trials_utg_5_.pdf).
82. *Dynamic speed control in the metropolitan area of Barcelona: evaluation and next steps.* **Serrano Sadurní, L. and Sanchez Reig, I.** Lisbon : s.n., 2010. Proceedings of EasyWay Annual Forum 2010.
83. **Servei Català de Trànsit.** *Nous escenaris de velocitat als accessos a Barcelona.* s.l. : Servei Català de Trànsit, 2011. <http://www20.gencat.cat/portal/site/transit>.
84. *Dynamic speed limits - Dynamax.* **Stoelhorst, H. and Remeijn, H.** Lisbon : s.n., 2010. Proceedings of EasyWay Annual Forum 2010.
85. **NCHRP.** *Judicial Enforcement of Variable Speed Limits.* s.l. : NCHRP, 2002. Legal Research Digest N.47, 2002..
86. **TRB.** NCHRP Project 03-59 - Assessment of Variable Speed Limit Implementation Issues. TRB Reseach in Progress. [Online] <http://144.171.11.40/cmsfeed/TRBNetProjectDisplay.asp?ProjectID=812>..

87. *Variable Speed Limits*. **Warren, D.** Orlando : s.n., 2003. Proceedings of Making Work Zones Work Better Workshop.
88. *A Field Test and Evaluation of Variable Speed Limits in Work Zones*. **Lyles, R.W., et al.** 2004. Proceedings of 83th Annual Meeting of the Transportation Research Board.
89. *Rural Variable Speed Limit System for Southeast Wyoming*. **Buddemeyer, J., Young, R. and Dorsey-Spitz, B.** 2010. Proceedings of 89th Annual Meeting of the Transportation Research Board.
90. ETSI - Word Class Standard. [Online] <http://www.etsi.com/WebSite/homepage.aspx>.
91. **SWOV**. *SWOV Fact Sheet - Intelligent Transport Systems (ITS) and road safety*. Leidschendam, the Netherlands : SWOV - Institute for Road Safety Research, 2009.
92. **Wegman, F. and Goldenbeld, C.** *Speed management: enforcement and new technologies*. Leidschendam : SWOV - Institute for Road Safety Research, 2006. R-2006-5.
93. **Morsink, P, et al.** *Speed support through the intelligent vehicle - Perspective, estimated effects and implementation aspects*. Leidschendam : SWOV - Institute for Road Safety Research, 2007. R-2006-25.
94. **Carsten, O. and Tate, F.** *Intelligent speed adaptation: the best collision avoidance system?* Institute for Transport Studies. s.l. : University of Leeds, 2003.
95. **Carsten, O. and Tate, F.** *Intelligent Speed Adaptation: Accident Savings and Cost-Benefit Analysis. Accident analysis and Prevention*. 2005, 37.
96. **Liu, R., Tate, J. and Boddy, R.** *Simulation modelling on the network effects of EVSC*. Institute for Transport Studies. s.l. : University of Leeds, 1999.
97. *Towards ISA deployment in Europe: State of the Art, main obstacles and initiatives to go forward*. **Ehrlich, J.** Sydney, New South Wales : s.n., 2009. 2009 Intelligent Speed Adaptation Conference.
98. *ISAWEB*. [Online] <http://www.isaweb.be/>.
99. **Malaterre, G. and Saad, F.** *Contribution à l'analyse du contrôle de la vitesse par le conducteur: Evaluation de deux limiteurs*. s.l. : ONSER, 1984. Cahier d'Etude n° 62.
100. **Carsten, O. and Tate, F.** *External Vehicle Speed Control Deliverable D17. Final Report: integration*. 2000. Final Report.
101. **Biding, T. and Lind, G.** *Intelligent Speed Adaptation (ISA), Results of large-scale trials in Borlänge, Lidköping.* s.l. : Vägverket - Swedish National Road Administration, 2002. 2002:89 E.
102. **Besseling, H. and van Bortel, A.** *Intelligent adaptation system, Results of Dutch ISA Tilburg Trial*. s.l. : Ministry of Transport, Public Works and Watermanagement., 2001.

103. **Ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement.** LAVIA - Limiteur s'Adaptant à la Vitesse Autorisée. *LAVIA Project*. [Online] <http://www.lavia.fr/>.
104. **UE, Ministries of Transport and the European Industry.** ERTICO - Intelligent Transport System and Services for Europe. *ERTICO - ITS Europe*. [Online] <http://www.ertico.com/>.
105. **UE.** SpeedAlert project website. *SpeedAlert*. [Online] <http://www.speedalert.org/>.
106. **PREVENT IP - MAPS&ADAS.** [Online] [http://www.prevent-ip.org/en/prevent\\_subprojects/horizontal\\_activities/maps\\_adas/](http://www.prevent-ip.org/en/prevent_subprojects/horizontal_activities/maps_adas/).
107. *Electronic Horizon – supporting ADAS applications with predictive map data.* **Ress, C., et al.** Hannover : s.n., 2005. ITS European Congress - TS 18 "Dynamic Navigation".
108. **UE.** EuroRoadS - a pan-European Road Data Solution. *EuroRoadS*. [Online] <http://www.euroroads.org>.
109. ROSATTE website. [Online] <http://www.ertico.com/rosatte/>.
110. **Golias, J., Yannis, G. and Antoniou, C.** Classification of driver-assistance systems according to their impact on road safety and traffic efficiency. *Transport reviews*. 2002, Vol. 22, 2, pp. 179-196.
111. **Rothengatter, J.** Automatic policing and information systems for increasing traffic law compliance. *Journal of Applied Behavior Analysis*. 1991, Vol. 24, pp. 85-87.
112. **EVI project consortium**. *Conclusions of feasibility assessment EVI and recommendations for taking the topic forward, Workpackage 5, Version 3.0.* . s.l. : EVI project consortium, 2004.
113. **Wouters, P.I.J. and Bos, J.M.J.** Traffic accident reduction by monitoring driver behaviour with in-car data recorders. *Accident Analysis and Prevention*. 2000, Vol. 32, 5, pp. 643-650.
114. **SARTRE consortium.** *European drivers and road risk. Part 1. report on principal results*. France. : INRETS, 2004.
115. **Institute of Transportation Engineers.** *Speed Zoning Guidelines. A proposed recommended practice*. s.l. : Institute of Transportation Engineers, 1993.
116. **Texas Department of Transportation.** *Procedures for Establishing Speed Zones*. s.l. : Texas Department of Transportation, 2006.
117. **New South Wales Government.** *NSW speed zoning guidelines*. s.l. : Roads and Traffic Authority NSW, 2009.
118. **INFORMS - Institute for Operations Research and the Management Science.** [Online] <http://www.informs.org/>.
119. **Roy, B.** Decision-aid and decision-making. *European Journal of Operational Research*. 1990 йил, Vol. 45, pp. 324-331.

120. **Roy, B.** *Méthodologie Multicritère d'aide à la Décision*. Paris : Economica, 1985.
121. **Greco, S., Matarazzo, B. and Słowiński, R.** Chapter 14: The use of rough sets and fuzzy sets in MCDM. [book auth.] T.Stewart, T.Hanne T.Gal. *Advances in Multiple Criteria Decision Making*. Boston : Kluwer Academic Publishers, 1999, pp. 14.1-14.59.
122. **Greco, S., Matarazzo, B. and Słowiński, R.** Rough sets methodology for multi-criteria decision analysis. *European Journal of Operational Research*. 2001, Vol. 129, pp. 1-47.
123. **Greco, S., Matarazzo, B. and Słowiński, R..** Rough sets methodology for sorting problems in presence of multiple attributes and criteria. *European Journal of Operational Research*. 2002a, Vol. 138, pp. 247–259.
124. **Greco, S., Matarazzo, B. and Słowiński, R..** Rough approximation by dominance relations. *International Journal of Intelligent Systems*. 2002b, Vol. 17, 2, pp. 153-171.
125. **Greco, S., Matarazzo, B. and Słowiński, R.** Chapter 13: Decision rule approach. [book auth.] S.Greco and M.Ehrgott J.Figueira. *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. New York : Springer-Verlag, 2005, pp. 507-562.
126. **Slowinski, R., Greco, S. and Matarazzo, B.** Chapter 16: Rough set based decision support. [book auth.] E.K. Burke and G. Kendal. *Search Methodologies: Introductory Tutorials in Optimization and Decision Support Techniques*. s.l. : Springer-Verlag, 2005.
127. **Blaszczynsi, J., Greco, S. and Slowinski, R.** Multi-criteria classification - A new scheme for application of dominance-based decision rules. *European Journal of Operational Research*. 2007, Vol. 181, pp. 1030-1044.
128. **Pawlak, Z.** *Rough-sets. Theoretical Aspects of Reasoning about Data*. Dordrecht : Kluwer Academic Publishing, 1991.
129. **Pawlak, Z.** Rough probability. *Technical Sciences*. Bull Polish Academy Sciences, 1985, Vol. 33, pp. 9-10.
130. **Pawlak, Z.** Rough-sets and fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*. 1985, Vol. 17, pp. 99-102.
131. **Dubois, D. and Prade, H.** Rough fuzzy sets and fuzzy Rough-sets. *International Journal of General Systems*. 1990, Vol. 17, pp. 191-200.
132. **Słowiński, R.** Rough-set processing of fuzzy information. [book auth.] T.Y. Lin and A. Wildberger. *Soft Computing: Rough-sets, Fuzzy Logic, Neural Networks, Uncertainty Management, Knowledge Discovery*. San Diego, CA : Simulation Councils, 1995, pp. 142-145.
133. **Pawlak, Z. and Słowiński, R.** Rough-set approach to multi-attribute decision analysis. *European Journal of Operational Research*. 1994 йил, Vol. 72, pp. 443-459.
134. **Pawlak, Z.** Rough-set approach to knowledge-based decision support. *European Journal of Operational Research*. 1997 йил, Vol. 99, pp. 48-57.

135. *Rough-set approach to multi-attribute choice and ranking problems. ICS Research Report 38/95, Warsaw University of Technology, Warsaw 1995.* **Greco, S., Matarazzo, B. and Słowiński, R.** [ed.] G. Fandel and T. Gal. Berlin : Springer, 1995. Multiple Criteria Decision Making. Proceedings of the 12th International Conference, Hagen. pp. 318-329.
136. **Greco, S., Matarazzo, B. and Słowiński, R.** Rough approximation of a preference relation by dominance relations, ICS Research Report 16/96, Warsaw University of Technology, Warsaw. *European Journal of Operational Research*. 1996, Vol. 117, pp. 63-83.
137. **Greco, S., Matarazzo, B. and Słowiński, R.** *Rough approximation of a preferential information.* s.l. : Poznan University of Technology, 1997. Working Paper.
138. **Greco, S., Matarazzo, B. and Słowiński, R.** *Exploitation procedures for Rough-set analysis of multicriteria decision problems.* s.l. : Poznan University of Technology, 1997. Working Paper.
139. **Greco, S., Matarazzo, B. and Slowinski, R.** A new Rough-set approach to evaluation of bankruptcy risk. [book auth.] C. Zopounidis. *Operational Tools in the Management of Financial Risks*. Dordrecht : Kluwer, 1998, pp. 121-136.
140. *Fuzzy measures technique for Rough-set analysis.* **Greco, S., Matarazzo, B. and Slowinski, R.** Aachen : s.n., 1998. Proceedings of the Sixth European Congress on Intelligent Techniques and Soft Computing. pp. 99-103.
141. *Modellizzazione delle preferenze per mezzo di regole di decisione.* **Greco, S., Matarazzo, B. and Slowinski, R.** Genova : Bozzi Editore, 1998. Atti del Ventiduesimo Convegno A.M.A.S.E.S. pp. 233-247.
142. **Greco, S., Matarazzo, B. and Slowinski, R.** Rough approximation of a preference relation in a pairwise comparison table. [book auth.] A. Skowron. *Rough-sets in Data Mining and Knowledge Discovery*. Heidelberg : Physica-Verlag, 1998, pp. 13-36.
143. **Greco, S., Matarazzo, B. and Słowiński, R.** A new Rough-set approach to multicriteria and multiattribute classification. [book auth.] L. Polkowski and A. Skowron. *Rough-sets and Current Trends in Computing, RSTCTC '98*. Berlin : Springer, 1998, pp. 60-67.
144. **Greco, S., Matarazzo, B. and Słowiński, R.** *Rough approximation of a fuzzy preference relation.* Poznan : University of Technology, 1998. Working Paper.
145. **Greco, S., Matarazzo, B. and Słowiński, R.** Fuzzy similarity relation as a basis for rough approximation. [book auth.] L. Polkowski and A. Skowron. *Rough-sets and Current Trends in Computing, RSTCTC '98*. Berlin : Springer, 1998, pp. 283-289.
146. **Greco, S., Matarazzo, B. and Słowiński, R.** *A conjoint measurement model to represent preference on ordinal scales.* s.l. : Poznan University of Technology, 1998. Working pape.
147. **Ziarko, W.** Variable precision Rough-set model. *Journal of Information and Computer Sciences*. 1993, pp. 554-576.

148. **Ziarko, W.** Rough-set as methodology for data mining. [book auth.] A. Skowron and L. Polkowski. *Rough-set in Knowledge Discovering*. Heidelberg : Physica Verlag, 1998, pp. 554-576.
149. **Greco, S., et al.** Variable consistency model of dominance-based Rough-set approach. [book auth.] W. Ziarko and Y. Yao. *Rough-sets and Current Trends in Computing. Lecture Notes in Artificial Intelligence*. s.l. : Springer-Verlag, 2001, pp. 170-181.
150. **Greco, S., et al.** An algorithm for induction of decision rules consistent with the dominance principle. [book auth.] W. Ziarko and J. Yao. *Rough-sets and Current Trends in Computing. Lecture Notes in Artificial Intelligence*. s.l. : Springer-Verlag, 2001, pp. 304-313.
151. **Greco, S., et al.** Variable Consistency model of Dominance-based Rough-sets Approach. [book auth.] W. Ziarko and J. Yao. *Rough-sets and Current Trends in Computing. Lecture Notes in Artificial Intelligence*. s.l. : Springer-Verlag, 2001, pp. 170-181.
152. **Dembczyński, K., et al.** Statistical model for Rough-set approach to multicriteria classification. [book auth.] J.N. Kok, et al. *Knowledge Discovery in Databases. PKDD 2007, Warsaw, Poland. Lecture Notes in Computer Science*. 2007, pp. 164-175.
153. **Greco, S., Matarazzo, B. and Slowinski, R.** Dominance-Based Rough Set Approach to Decision Involving Multiple Decision Makers. *RSTC 2006, LNAI 4259*. Berlin Heidelberg : Springer-Verlag, 2006, pp. 306-317.
154. **Fishburn, P.C.** Methods for estimating additive utilities. *Management Science*. 1967, 13, pp. 435-453.
155. **Mousseau, V.** Problèmes liés à l'évaluation de l'importance en aide multicritère à la décision: Réflexions théoriques et expérimentations. Paris : Thèse, Université de Paris-Dauphine, 1993.
156. **March, J.** Bounded rationality, ambiguity and the engineering of choice. *Bell Journal of Economics*. 1978, Vol. 9, pp. 587-608.
157. **Slowinski, R., Greco, S. and Matarazzo, B.** Rough Sets in Decision Making. [book auth.] R. Meyers. *Encyclopedia of Complexity and Systems Science*. New York : Springer, 2009, pp. 7753-7787.
158. **Burrough, P.A.** *Principles of geographical information systems for land resource assessment*. Oxford, UK : Clarendon Press, 1986.
159. **Chorley, R.R.E.** *Handling Geographic Information. Report of the Committee of Enquiry chaired by Lord Chorley*. London : HMSO, 1987.
160. **Cadkin, J.** Understanding Dynamic Segmentation. *Working With Events in ArcGIS 8.2*. s.l. : ESRI.com, 2002.
161. **ESRI.** Linear Referencing in ArcGIS. 2005.

162. **CNR.** *Criteria per la classificazione della rete delle strade esistenti ai sensi dell'art. 13, comma 4 e 5 del Nuovo Codice della Strada. Final Report.* 1998.
163. *Road safety evaluation using GIS for accident analysis.* **Augeri, M. G., Cafiso, S. and La Cava, G.** Skiatos Island, Greece 1-3 October 2003 : s.n., 2003. Proceedings of First International Conference on Sustainable Planning & Development.
164. **Poznan University of Technology.** IDSS - Laboratory of Intelligent Decisioni Support System. [Online] <http://idss.cs.put.poznan.pl/site/main.html>.
165. **SWOV.** *Advancing Sustainable Safety - National Road Safety Outlook for 2005-2020.* Leidschendam : SWOV - Institute for Road Safety Research, 2006.
166. **Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.** Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade. *D.M. 05/11/2001.* 2001. prot. n. 6792.
167. **ACI.** *Metodologia per l'individuazione di interventi per la sicurezza stradale. Progetto Pilota. Applicazione sulla S.S. 148 PONTINA.* s.l. : ACI, 2002
168. **U.S. Department of Transportation - Federal Highway Administration.** *Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways - MUTCD.* s.l. : Federal Highway Administration, 2003 rev 2007.