



LA VALUTAZIONE DELL'INCIDENTALITA' IN CAMPO STRADALE ATTRAVERSO LA DEFINIZIONE DEGLI SCENARI DI INCIDENTE

Daniela Greco

Dipartimento di Pianificazione Territoriale - Università degli Studi della Calabria
Via P. Bucci, cubo 46b, 87036 Rende (CS)
Tel: +39 0984.496786 - Fax: +39.0984.838931
E-mail: dipiter@unical.it

Rodolfo Grossi

Dipartimento di Pianificazione Territoriale - Università degli Studi della Calabria
Via P. Bucci, cubo 46b, 87036 Rende (CS)
Tel: +39 0984.496778 - Fax: +39.0984.838931
E-mail: dipiter@unical.it

LA VALUTAZIONE DELL'INCIDENTALITA' IN CAMPO STRADALE ATTRAVERSO LA DEFINIZIONE DEGLI SCENARI DI INCIDENTE

DANIELA GRECO - Dipartimento di Pianificazione Territoriale – Università degli Studi della Calabria

RODOLFO GROSSI – Dipartimento di Pianificazione Territoriale – Università degli Studi della Calabria

SOMMARIO

Il lavoro che si presenta ha avuto come scopo il consolidamento di una metodologia di studio per la valutazione dell'incidentalità in campo stradale, finalizzata ad una attività di gestione della sicurezza stradale.

La metodologia è basata sulla individuazione degli scenari a più alta probabilità di incidente e delle loro componenti, temporali e spaziali, che più influiscono sul fenomeno.

Il confronto fra i vari scenari, che in questo caso sono solo autostradali, è stato eseguito utilizzando la frequenza con cui i veicoli che si muovono nell'ambito di determinate condizioni ambientali possano venire implicati in un incidente.

Dai risultati ottenuti sono emerse indicazioni essenziali sulle caratteristiche che contraddistinguono gli "scenari neri", e sulla scelta tipologica degli interventi, basata sull'equilibrio tra i costi ed i benefici.

Viene inoltre indicata la tecnica di programmazione matematica e di classificazione, strumento di ricerca operativa, con cui si intende ottimizzare la separazione degli scenari ad alto rischio da quelli a basso rischio di incidente.

ABSTRACT

This paper reports the consolidation of a study's methodology for the accidents valuation in road field, purposed to road safety management activity .

The methodology is based on the characterization of scenarios with high accident probability and their spatial and temporal components, that more influence the phenomenon.

The comparison between scenarios (in this case of study they concern only highway) is done using the frequency which the vehicles, that drive in particular environment condition, can be involved in an accident.

From the results stand out essential suggestions on the characteristics that distinguish "black scenarios", and on intervention's typological choice, of course based on an equilibrium between cost and benefit.

In this note it's also indicated a technique of mathematical programming and classification, that we'll use for optimization the parting of scenarios with high risk from those with low accident's risk.

1. PREMESSA

Gli obiettivi di riduzione dell'incidentalità non possono prescindere da una accurata analisi del sistema stradale, che deve, innanzitutto, soddisfare le esigenze della domanda di trasporto.

Gli attuali alti livelli di incidentalità sono dettati, in taluni casi, dalle caratteristiche geometriche e strutturali delle strade a cui si contrappone l'onerosità di interventi efficaci rivolti a ripristinare la funzionalità del sistema infrastrutturale.

Il miglioramento graduale delle condizioni di sicurezza può essere effettuato individuando tra gli scenari ad elevata incidentalità una gerarchia di priorità di intervento.

Lo scenario è costituito dall'insieme delle caratteristiche strutturali e funzionali della strada, dalle condizioni di traffico e di ambiente, in corrispondenza delle quali si verifica un dato evento incidentale. Lo scenario viene, pertanto, individuato dalle sue componenti, ritenute significative, p.e. tratto autostradale in curva su una livelletta a forte pendenza, in discesa, di giorno e con pioggia di media intensità.

A tal fine è indispensabile disporre di un banca dati (archivio stradale) [1] sulla quale registrare con continuità tutte le informazioni che sono indispensabili per lo studio del fenomeno, con particolare riferimento a quelle relative agli incidenti, alle caratteristiche geometriche e strutturali, ai flussi veicolari ed alle condizioni ambientali.

Nel presente lavoro vengono esposti i risultati relativi ad un periodo di un anno e ad un tratto dell'autostrada A3, ricadente nella provincia di Cosenza, ottenuti utilizzando un archivio i cui dati di geometria e di traffico sono stati forniti dall'Anas, i rapporti su ogni singolo incidente sono stati desunti dai rapporti della Polizia Stradale e le entità delle precipitazioni atmosferiche provengono dall'Istituto Idrografico Regionale di Catanzaro.

Gli scenari analizzati risultano 144, ognuno caratterizzato dalle condizioni di luminosità (giorno, notte) e dalle altezze medie orarie di pioggia, dalla curvatura degli elementi planimetrici nonché dalle pendenze longitudinali.

Per la gestione di un tal numero di scenari non è ancora strettamente necessario un particolare criterio di analisi, tuttavia viene introdotta una tecnica di programmazione matematica e di classificazione, per quando il loro numero diverrà rilevante con l'introduzione di ulteriori elementi che li compongono, quali stato della pavimentazione (buche), composizione del traffico, presenza di elementi singolari (gallerie, ponti, intersezioni).

2. I DATI DI BASE

I dati utilizzati derivano, in gran parte, dall'archivio stradale [2] che è oggetto di una ricerca in atto presso la cattedra di Costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti dell'Università della Calabria. Si riferiscono ai 120 km del tronco dell'autostrada A3, ricadente nella provincia di Cosenza, e sono relativi al periodo di un anno compreso dal 21 ottobre 1998 al 20 ottobre 1999.

Le informazioni dedotte dall'archivio stradale possono essere raggruppate nel seguente modo:

- a) dati relativi alle caratteristiche tecniche dell'infrastruttura (come in tabella n.1);
- b) dati di traffico (come in tabella n. 2);
- c) dati relativi ad ogni singolo incidente (come in tabella n. 3);
- d) dati di piovosità (come in tabella n. 4).

Codice Strada	Data	Progressiva (km)	Distanza parziale (m)	Larghezza Piattaforma (m)	Elementi Planimetrici	Sviluppo elementi planimetrici (m)	Angolo (rad)	Raggio (m)	Altri Elementi	Sviluppo Altri Elem. (m)	NODO	Pend longitudinale % Discesa (-) Salita(+)	Quota Progetto
A3	20/04/1998	173,87	0	18,00	R	1380						4,00	
A3	20/04/1998	173,87	100	18,00	R	210						4,00	
A3	20/04/1998	173,97	100	18,00	R	210						4,00	
A3	20/04/1998	174,07	10	18,00	R	210						4,00	
A3	20/04/1998	174,08	100	18,00	C	156	0,52	300				4,00	
A3	20/04/1998	174,18	56	18,00	C	156	0,52	300				4,00	
A3	20/04/1998	174,23	7	18,00	R	500						4,00	
A3	20/04/1998	174,24	9	18,00	R	500			sovrappasso	9		4,00	
A3	20/04/1998	174,25	100	18,00	R	500						-2,95	
A3	20/04/1998	174,35	100	18,00	R	500						-2,95	
A3	20/04/1998	174,45	100	18,00	R	500						-2,95	
A3	20/04/1998	174,55	51	18,00	R	500						-2,95	
A3	20/04/1998	174,60	9	18,00	R	500			sovrappasso	9		-2,95	
A3	20/04/1998	174,61	100	18,00	R	500						-2,95	
A3	20/04/1998	174,71	24	18,00	R	500						-2,95	
A3	20/04/1998	174,73	79	18,00	C	400	0,87	460				-2,95	
A3	20/04/1998	174,81	3	18,00	C	400	0,87	460	sovrappasso	3		-2,95	

Tabella 1 - Caratteristiche tecniche dell'infrastruttura

Codice Strada	Data	Progressiva (km)	Direzione	Ora 0	Ora 1	Ora 2	Ora 3	Ora 4	Ora 5	Ora 6	Ora 17	Ora 18	Ora 19	Ora 20	Ora 21	Ora 22	Ora 23
A3	21/01/1999	278,800	S	112	94	82	60	74	58	71	421	415	454	388	316	225	156
A3	22/01/1999	278,800	S	127	115	86	76	86	53	77	514	506	498	426	363	238	178
A3	23/01/1999	278,800	S	131	97	69	63	59	62	79	394	343	307	261	226	195	140
A3	24/01/1999	278,800	S	110	121	94	54	55	41	34	344	358	372	317	235	190	134
A3	25/01/1999	278,800	S	109	66	57	72	98	50	75	400	403	281	228	222	165	104
A3	26/01/1999	278,800	S	105	68	58	56	40	40	54	433	437	0	0	0	0	0
A3	27/01/1999	278,800	S	0	0	0	0	0	0	0	405	441	0	0	0	0	0
A3	28/01/1999	278,800	S	0	0	0	0	0	0	0	529	438	0	0	0	0	0
A3	29/01/1999	278,800	S	0	0	0	0	0	0	0	414	325	0	0	0	0	0
A3	30/01/1999	278,800	S	0	0	0	0	0	0	0	226	52	0	0	0	0	0
A3	31/01/1999	278,800	S	0	0	0	0	0	0	0	179	170	0	0	0	0	0

* il valore 0 indica la mancanza di registrazione

Tabella 2 - Dati di traffico registrati (veic/h) – Località Corsopato -

Codice Strada	Data	Progressiva (km)	Direzione	Ora	Località	Condizioni ambientali	Condizioni di luce	Severità (persone coinvolte)	Manovra o tipo di incidente	Utenti
A3	21/10/1998	194,30	N	23.00	Castrovillari -rettifilo.-salita	N/b	notte		urto contro ostacolo su corsia	non residente
A3	22/10/1998	223,00	S	8.25	Tarsia-ingresso curva sx-salita	S/a	giorno		autotreno perde carico	non residente
A3	22/10/1998	220,00	S	17.35	Tarsia-inizio curva dx-salita	S/a	notte		autotreno perde carico	non residente
A3	22/10/1998	193,40	N	19.45	Castrovillari-inizio curva dx	S/a	notte		urto contro ostacolo su corsia	residente
A3	22/10/1998	162,10	N	19.50	Laino Castello - curva dx-discesa	S/a	notte		urto contro ostacolo su corsia	non residente
A3	23/10/1998	189,67	N	12.25	Castrov.-gall. "C. Vaccaro" curva dx	S/a	giorno		tamponamento auto-auto	resid. e non residente
A3	23/10/1998	253,80	N	17.30	Rende-Loc. Agro di Rende	S/a	notte		urto contro ostacolo su corsia	non residente
A3	24/10/1998	176,70	S	8.30	Morano-rett-galleria Ospedaletto	S/a	giorno		auto sbanda-urta contro marc.	non residente
A3	24/10/1998	282,70	S	13.00	Altilia-tratto in curva-discesa	P/b	giorno	4 feriti	auto frena-tamponam. 3 veicoli	non residenti
A3	24/10/1998	282,90	S	14.15	Malito-ingr. gall. Balzatele-curve dx	P/b	giorno		auto sbanda-urta guard rail	non residente

Tabella 3 - Dati sugli incidenti

Codice Strada	Data	Progressiva (km)	Ora 0	Ora 1	Ora 2	Ora 3	Ora 4	Ora 5	Ora 6	Ora 16	Ora 17	Ora 18	Ora 19	Ora 20	Ora 21	Ora 22	Ora 23
A3	21/10/1998	155	0.0	0.0	0.2	0.4	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A3	22/10/1998	155	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A3	23/10/1998	155	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A3	24/10/1998	155	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A3	25/10/1998	155	0.0	0.0	0.2	1.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.2	1.2	
A3	26/10/1998	155	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	0.4	0.2	7.0	0.2	0.0	0.0
A3	27/10/1998	155	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A3	28/10/1998	155	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A3	29/10/1998	155	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A3	30/10/1998	155	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	1.6	6.2	10.6	3.4	5.4

Tabella 4 - Altezze medie orarie di pioggia (mm/h) relative al pluviometro di Laino Borgo

Le caratteristiche tecniche dell'infrastruttura (tab. n. 1) sono state ricavate da un rilievo in scala 1:10.000 dell'autostrada ed il loro grado di dettaglio può essere ritenuto sufficiente per l'analisi che si sta conducendo.

Per quanto riguarda i dati di traffico (tab. n. 2) l'Anas disponeva, nel periodo precedentemente indicato, di tre stazioni di rilevamento dislocate lungo l'asse autostradale: due di esse rilevavano il traffico con modalità di registrazione in automatico, l'altra manualmente.

Per entrambi i tipi di stazioni e principalmente per quella di tipo manuale il rilievo dei volumi di traffico erano limitati ad alcune ore e giorni dell'anno.

Si è dovuto, pertanto, assegnare dei valori ai dati mancanti procedendo per similitudine con periodi analoghi, al fine di disporre di misurazioni orarie estese a tutto il periodo di osservazione (tabella n. 5). I volumi di traffico sono stati divisi in classi di 100 veic/h e nella tabella sono stati assunti pari al valore centrale della classe di appartenenza. Successivamente i dati di traffico rilevati nelle tre sezioni sono stati estesi a tre tronchi di Autostrada ritenuti omogenei per caratteristiche di traffico.

Nei dati di incidente (tab. n. 3), estratti dai verbali della Polizia Stradale di Cosenza e di Frascineto, l'indicazione relativa all'ora dell'incidente è stata trasformata nell'indicazione sulle condizioni di luce naturale, per distinguere gli scenari di incidente notturni da quelli diurni.

I dati pluviometrici provenienti dall'archivio sono relativi a sei stazioni pluviografiche disposte in prossimità del tracciato autostradale. In base alla loro localizzazione (coordinate topografiche) è stata assegnata una progressiva chilometrica e dallo studio orografico dei luoghi si è potuto associare le altezze medie orarie di pioggia a sei corrispondenti tronchi autostradali. Inoltre, si è assunto l'altezza di pioggia costante nel tronco ed uniforme nell'intervallo unitario.

Per poter approssimare meglio le altezze di pioggia relative a frazioni di ore che ricadono nella condizione di luce diurna o notturna si è fatto ricorso alle altezze di pioggia relative a quindici minuti. Allo stato attuale le altezze di pioggia con rilevamento ogni quarto d'ora non sono attingibili dall'archivio.

Codice Strada	Data	Progressiva (km)	Direzione	Ora 0	Ora 1	Ora 2	Ora 3	Ora 4	Ora 5	Ora 6	Ora 17	Ora 18	Ora 19	Ora 20	Ora 21	Ora 22	Ora 23
A3	21/01/1999	278,800	S	150	50	50	50	50	50	50	450	450	450	350	350	250	150
A3	22/01/1999	278,800	S	150	150	50	50	50	50	50	550	550	450	450	350	250	150
A3	23/01/1999	278,800	S	150	50	50	50	50	50	50	350	350	350	250	250	150	150
A3	24/01/1999	278,800	S	150	150	50	50	50	50	50	350	350	350	350	250	150	150
A3	25/01/1999	278,800	S	150	50	50	50	50	50	50	450	450	250	250	250	150	150
A3	26/01/1999	278,800	S	150	50	50	50	50	50	50	450	450	450	350	350	250	150
A3	27/01/1999	278,800	S	150	50	50	50	50	50	50	450	450	450	350	350	250	150
A3	28/01/1999	278,800	S	150	50	50	50	50	50	50	550	450	450	350	350	250	150
A3	29/01/1999	278,800	S	150	50	50	50	50	50	50	450	350	450	350	350	250	150
A3	30/01/1999	278,800	S	150	50	50	50	50	50	50	250	50	350	350	250	250	150
A3	31/01/1999	278,800	S	150	50	50	50	50	50	50	150	150	350	350	250	250	150

Tabella 5 - Dati di traffico trattati (veic/h) – Località Corsopato -

3. ANALISI DEI DATI E DEFINIZIONE DEGLI SCENARI DI INCIDENTE

L'analisi è stata condotta seguendo i seguenti passi logici che consentono, oltre alla verifica delle operazioni eseguite, l'integrazione e la formale variazione di alcuni dati che dovessero risultare di limitata utilità

- individuazione dei tronchi autostradali da esaminare;
- scelta dei parametri che definiscono gli scenari;
- estrazione dall'archivio dei dati relativi ai parametri prescelti e loro opportuna aggregazione;
- formazione degli scenari mediante la combinazione delle variabili di incidente;
- calcolo dell'indice di incidentalità per ogni scenario;

- f) determinazione della relazione sperimentale tra l'indice di incidentalità ed i parametri (particolari aggregazioni dei dati di base relativi a ciascuna variabile) dello scenario;
- g) confronto tra i risultati conseguiti;
- h) prima applicazione di una tecnica di programmazione matematica e classificazione per la gestione degli scenari.

Sul tratto, che ha una estensione di 118,74 km e che si sviluppa dal km 173,87 al km 292,61 si sono verificati, in un anno di osservazione, 669 incidenti ripartiti nei sei tronchi associati ai pluviografi.

I parametri assunti per caratterizzare gli scenari sono: le condizioni di luminosità, le altezze medie orarie di pioggia, la curvatura degli elementi planimetrici, le pendenze longitudinali. Queste grandezze variano con continuità in un ampio campo di valori, per cui è teoricamente possibile considerare un numero estremamente grande di scenari; ciò, in realtà, non è di alcuna utilità pratica.

Dalle indicazioni ottenute dalle correlazioni tra gli incidenti e le variabili, prese singolarmente [2], si sono individuati dei campi parziali (basso, medio, alto traffico; pioggia leggera o nulla, media ed intensa; piccoli, medi e grandi raggi; basse, medie e forti pendenze) entro cui le grandezze possono essere considerate costanti e rappresentate con un unico valore.

a) altezza media oraria di pioggia	campo	valore
pioggia leggera o nulla	$0 \leq h_1 < 1$ mm/h	0,5 mm/h
pioggia media	$1 \leq h_2 < 5$ mm/h	3,0 mm/h
pioggia intensa	$h_3 \geq 5$ mm/h	3,0 mm/h
b) raggio degli elementi planimetrici	campo	valore di curvatura
raggio piccolo	$200 \leq R_1 < 400$ m	0,00333
raggio medio	$400 \leq R_2 < 600$ m	0,00200
raggio grande	$R_3 \geq 600$ m	0,00125
rettifili		0
c) pendenze longitudinali	campo	valore
bassa pendenza in salita	$0 \leq i_1 < 2$ %	+1
media pendenza in salita	$2 \leq i_2 < 4$ %	+3
forte pendenza in salita	$4 \leq i_3 < 6$ %	+5
bassa pendenza in discesa	$-2 \leq i_4 < 0$ %	-1
media pendenza in discesa	$-4 \leq i_5 < -2$ %	-3
forte pendenza in discesa	$-6 \leq i_6 < -4$ %	-5

Dalla combinazione dei parametri riportati in tabella si ricavano 144 scenari.

Per ogni scenario è stato calcolato l'indice di incidentalità inteso come rapporto tra il numero di veicoli coinvolti in incidenti, che si sono verificati nei tempi e nei luoghi caratteristici dello scenario, e la percorrenza totale. Anche la percorrenza totale è riferita al singolo scenario, cioè è data dall'insieme dei chilometri percorsi da tutti i veicoli che hanno attraversato i tratti caratteristici dello scenario nei tempi indicati (p.e. particolari curve, con date pendenze longitudinali, quando si verificano piogge notturne di data altezza).

Per dati abbastanza estesi, si può ritenere che l'indice di incidentalità così valutato esprima la frequenza con cui il veicolo che percorre un tratto di lunghezza unitaria venga implicato in un incidente.

4. RISULTATI

L'analisi dei 144 scenari ha consentito il calcolo dell'indice di incidentalità per ogni scenario; alcuni di questi risultati sono visualizzati in tabella 6.

Dal confronto degli indici si notano dei valori elevatissimi per alcuni scenari, ciò accade per scenari che hanno una limitatissima estensione spaziale. Il più alto valore di indice di incidentalità ($I_{inc} = 40.475$) si ha in corrispondenza di uno scenario che si estende per soli 156 metri.

Lo scenario in queste condizioni può essere considerato puntuale, come un incrocio, un dissesto infrastrutturale, o l'imbocco di una galleria ecc., per il quale non ha senso calcolare la percorrenza.

In tal caso, allora, è più significativo, per valutare la pericolosità dello scenario, riferirsi alla frequenza con cui i veicoli che si muovono in determinate condizioni ambientali possano essere coinvolti in un incidente.

Individuati più scenari puntuali fra quelli esaminati si è convenuto di calcolare la frequenza dell'incidentalità per tutti, e di valutare i risultati della ricerca attraverso l'analisi di questa grandezza (tabella 7).

Inoltre, per una lettura più comoda dei risultati, si è pensato ad una formulazione equivalente della frequenza visualizzata nell'ultima colonna della tabella 7.

Il numero riportato nell'ultima colonna rappresentata dal rapporto tra il numero di veicoli transitati ed il numero di veicoli incidentati in quello scenario.

Per dare maggiore attendibilità all'analisi servirebbero un numero maggiore di incidenti e, quindi, come primo tentativo eseguiamo una classificazione per frequenze decrescenti e considerando gli scenari che presentano un numero di veicoli coinvolti negli incidenti almeno pari a cinque (tabella 8).

Dai risultati emergono le prime indicazioni sulle caratteristiche che contraddistinguono gli scenari ad elevata probabilità di incidente, nonché alcune indicazioni sulla tipologia di interventi che si possono adottare per trasformarli in scenari meno pericolosi.

Infatti, risulta prevalente lo scenario rappresentato da condizione di visibilità diurna, con pioggia di media intensità, su tratti a forte pendenza, sia in salita che in discesa, e su tratti che non indicano peculiarità dovute alle caratteristiche planimetriche del tracciato, per cui si potrebbe intervenire con pavimentazioni drenanti.

Altresì, si è pensato di dare una interpretazione ai risultati conseguiti attraverso l'applicazione di una tecnica della ricerca operativa che, in base ad una soglia predefinita, ottimizzi la posizione di uno o più iperpiani che separano gli scenari pericolosi da quelli a bassa incidentalità.

Lum D/N	H Pioggia mm/h	Curvat 1/m	Pendenza %	Percorrenza veic.x km	Lungh. km	Veic. Coinv n _i	I _{inc} n _i x10 ⁸ /Perc
D	0,5	1/300	+1%	1.080.481	0,360	3	278
D	0,5	1/300	+3%	8.836.462	0,795	24	272
D	0,5	1/300	+5%	366.424	0,156	11	3.002
D	0,5	1/300	-1%	1.080.482	0,100	1	93
D	0,5	1/300	-3%	8.836.457	2,967	56	634
D	0,5	1/300	-5%	366.424	0,000	0	0
D	0,5	1/500	+1%	8.087.169	1,561	10	124
D	0,5	1/500	+3%	15.979.385	1,535	23	144
D	0,5	1/500	+5%	1.533.814	0,350	1	65
D	0,5	1/500	-1%	8.087.168	1,937	11	136
D	0,5	1/500	-3%	15.979.377	5,268	70	438
D	0,5	1/500	-5%	1.533.814	0,303	5	326
D	0,5	1/800	+1%	32.149.022	6,412	20	62
D	0,5	1/800	+3%	30.446.095	3,260	34	112
D	0,5	1/800	+5%	9.261.604	2,446	19	205
D	0,5	1/800	-1%	32.149.020	7,275	35	109
D	0,5	1/800	-3%	30.446.081	9,702	113	371
D	0,5	1/800	-5%	9.261.606	1,497	27	292
D	0,5	0	+1%	79.572.751	21,714	62	78
D	0,5	0	+3%	70.541.360	8,513	32	45
D	0,5	0	+5%	21.907.939	3,167	8	37
D	0,5	0	-1%	79.572.772	12,163	48	60
D	0,5	0	-3%	70.541.331	21,519	85	120
D	0,5	0	-5%	21.907.933	6,160	12	55
D	3	1/300	+1%	21.902	0,360	0	0
D	3	1/300	+3%	180.114	0,795	3	1.666
D	3	1/300	+5%	7.412	0,156	3	40.475
D	3	1/300	-1%	22.022	0,100	0	0
D	3	1/300	-3%	179.111	2,967	10	5.583
D	3	1/300	-5%	7.484	0,000	0	0
D	3	1/500	+1%	164.482	1,561	1	608
D	3	1/500	+3%	325.663	1,535	2	614
D	3	1/500	+5%	31.166	0,350	1	3.209
D	3	1/500	-1%	164.283	1,937	0	0
D	3	1/500	-3%	323.940	5,268	9	2.778
D	3	1/500	-5%	31.188	0,303	1	3.206
D	3	1/800	+1%	653.670	6,412	0	0
D	3	1/800	+3%	620.343	3,260	2	322
D	3	1/800	+5%	188.035	2,446	6	3.191
D	3	1/800	-1%	653.271	7,275	5	765
D	3	1/800	-3%	617.369	9,702	18	2.916
D	3	1/800	-5%	188.473	1,497	1	531

Tabella 6 – Indice di Incidentalità per scenario

Lum	H _{Pioggia}	Curvat.	Pend.	Percorrenza	Lungh.	Veic. Coinv.	Frequenza	veic trans/ veic incid
D/N	mm/h	1/m	%	veic.x km	km	n _i	(n _i xL _i /Perc) _{scenario}	
N	5,5	1/800	-3%	33.417	9,702	1	0,000290333	3.444
D	3	1/800	-3%	617.369	9,702	18	0,000282871	3.535
D	5,5	1/800	+3%	80.786	3,260	5	0,000201768	4.956
D	5,5	1/300	+3%	23.445	0,795	5	0,000169545	5.898
D	3	1/300	-3%	179.111	2,967	10	0,000165651	6.037
D	3	1/500	-3%	323.940	5,268	9	0,00014636	6.832
D	3	0	-3%	1.430.843	21,519	8	0,000120315	8.312
D	5,5	1/800	+5%	24.585	2,446	1	9,94924E-05	10.051
D	3	1/800	+5%	188.035	2,446	6	7,80493E-05	12.812
D	5,5	1/800	+1%	85.325	6,412	1	7,51481E-05	13.307
D	3	0	+1%	1.615.215	21,714	5	6,7217E-05	14.877
D	3	1/300	+5%	7.412	0,156	3	6,31405E-05	15.838
N	3	1/300	+5%	5.017	0,156	2	6,21888E-05	16.080
D	3	1/800	-1%	653.271	7,275	5	5,56813E-05	17.959
N	3	1/300	-3%	121.164	2,967	2	4,89749E-05	20.419
N	3	1/500	-3%	219.129	5,268	2	4,80814E-05	20.798
D	3	0	+3%	1.436.846	8,513	7	4,14735E-05	24.112
N	3	1/800	+3%	419.029	3,260	5	3,88995E-05	25.707
N	3	1/800	+5%	127.142	2,446	2	3,84766E-05	25.990
D	0,5	1/800	-3%	30.446.081	9,702	113	3,60088E-05	27.771
D	3	0	-1%	1.619.624	12,163	4	3,00391E-05	33.290
N	3	1/800	+1%	441.802	6,412	2	2,90266E-05	34.451
N	3	1/500	+3%	219.963	1,535	4	2,79137E-05	35.825
D	0,5	0	-3%	70.541.331	21,519	85	2,59297E-05	38.566
N	3	1/800	-3%	417.589	9,702	1	2,32334E-05	43.041
D	0,5	1/500	-3%	15.979.377	5,268	70	2,30772E-05	43.333
D	0,5	1/300	-3%	8.836.457	2,967	56	1,8803E-05	53.183
D	0,5	0	+1%	79.572.751	21,714	62	1,69187E-05	59.106
N	0,5	1/800	-3%	17.492.144	9,702	28	1,55302E-05	64.391
D	3	1/300	+3%	180.114	0,795	3	1,32416E-05	75.519
N	0,5	0	+1%	45.722.386	21,714	25	1,18727E-05	84.227
D	3	1/500	+5%	31.166	0,350	1	1,12302E-05	89.045
N	0,5	0	-3%	40.529.477	21,519	21	1,11499E-05	89.687
D	3	1/800	+3%	620.343	3,260	2	1,05103E-05	95.145
D	3	1/500	-5%	31.188	0,303	1	9,7154E-06	102.929
D	3	1/500	+1%	164.482	1,561	1	9,48799E-06	105.396
D	3	1/500	+3%	325.663	1,535	2	9,42692E-06	106.079
D	3	1/800	-5%	188.473	1,497	1	7,94278E-06	125.901
D	0,5	1/800	-1%	32.149.020	7,275	35	7,92015E-06	126.260
N	0,5	1/800	-1%	18.475.069	7,275	19	7,4817E-06	133.659
D	0,5	0	-1%	79.572.772	12,163	48	7,33698E-06	136.296
N	0,5	0	-1%	45.736.995	12,163	23	6,11647E-06	163.493
N	0,5	1/500	-3%	9.180.340	5,268	9	5,16451E-06	193.629
D	0,5	1/800	+5%	9.261.604	2,446	19	5,01792E-06	199.286
D	0,5	1/300	+5%	366.424	0,156	11	4,6831E-06	213.534
D	0,5	1/800	-5%	9.261.606	1,497	27	4,36415E-06	229.140
D	0,5	1/800	+1%	32.149.022	6,412	20	3,98892E-06	250.694
D	0,5	0	+3%	70.541.360	8,513	32	3,86179E-06	258.947

Tabella 7 – Classificazione degli scenari di incidente per frequenza

Lum D/N	H _{Pioggia} mm/h	Curv. 1/m	Pend. %	Percor. veic.x km	Lungh. km	Veic. C. n _i	I _{inc} n _i x10 ^{^8} /Perc	Frequenza (n _i xL _i /Perc) _{scenario}	veic trans/ veic incid
D	3	1/800	-3%	617.369	9,702	18	2916	0,000282871	3.535
D	5,5	1/800	+3%	80.786	3,260	5	6189	0,000201768	4.956
D	5,5	1/300	+3%	23.445	0,795	5	21326	0,000169545	5.898
D	3	1/300	-3%	179.111	2,967	10	5583	0,000165651	6.037
D	3	1/500	-3%	323.940	5,268	9	2778	0,00014636	6.832
D	3	0	-3%	1.430.843	21,519	8	559	0,000120315	8.312
D	3	1/800	+5%	188.035	2,446	6	3191	7,80493E-05	12.812
D	3	0	+1%	1.615.215	21,714	5	310	6,7217E-05	14.877
D	3	1/800	-1%	653.271	7,275	5	765	5,56813E-05	17.959
D	3	0	+3%	1.436.846	8,513	7	487	4,14735E-05	24.112
N	3	1/800	+3%	419.029	3,260	5	1193	3,88995E-05	25.707
D	0,5	1/800	-3%	30.446.081	9,702	113	371	3,60088E-05	27.771
D	0,5	0	-3%	70.541.331	21,519	85	120	2,59297E-05	38.566
D	0,5	1/500	-3%	15.979.377	5,268	70	438	2,30772E-05	43.333
D	0,5	1/300	-3%	8.836.457	2,967	56	634	1,8803E-05	53.183
D	0,5	0	+1%	79.572.751	21,714	62	78	1,69187E-05	59.106
N	0,5	1/800	-3%	17.492.144	9,702	28	160	1,55302E-05	64.391
N	0,5	0	+1%	45.722.386	21,714	25	55	1,18727E-05	84.227
N	0,5	0	-3%	40.529.477	21,519	21	52	1,11499E-05	89.687
D	0,5	1/800	-1%	32.149.020	7,275	35	109	7,92015E-06	126.260
N	0,5	1/800	-1%	18.475.069	7,275	19	103	7,4817E-06	133.659
D	0,5	0	-1%	79.572.772	12,163	48	60	7,33698E-06	136.296
N	0,5	0	-1%	45.736.995	12,163	23	50	6,11647E-06	163.493
N	0,5	1/500	-3%	9.180.340	5,268	9	98	5,16451E-06	193.629
D	0,5	1/800	+5%	9.261.604	2,446	19	205	5,01792E-06	199.286
D	0,5	1/300	+5%	366.424	0,156	11	3002	4,6831E-06	213.534
D	0,5	1/800	-5%	9.261.606	1,497	27	292	4,36415E-06	229.140
D	0,5	1/800	+1%	32.149.022	6,412	20	62	3,98892E-06	250.694
D	0,5	0	+3%	70.541.360	8,513	32	45	3,86179E-06	258.947
N	0,5	1/800	+5%	5.321.828	2,446	8	150	3,67693E-06	271.966
D	0,5	1/800	+3%	30.446.095	3,260	34	112	3,64053E-06	274.685
N	0,5	1/300	-3%	5.076.566	2,967	6	118	3,5067E-06	285.168
D	0,5	0	-5%	21.907.933	6,160	12	55	3,37412E-06	296.374
N	0,5	0	-5%	12.587.988	6,160	6	48	2,93613E-06	340.584
D	0,5	1/500	-1%	8.087.168	1,937	11	136	2,63467E-06	379.555
N	0,5	0	+3%	40.549.370	8,513	12	30	2,5193E-06	396.936
N	0,5	1/800	+1%	18.476.389	6,412	7	38	2,42926E-06	411.648
N	0,5	1/800	+3%	17.501.997	3,260	12	69	2,23517E-06	447.393
D	0,5	1/500	+3%	15.979.385	1,535	23	144	2,20941E-06	452.610
D	0,5	1/300	+3%	8.836.462	0,795	24	272	2,15924E-06	463.127
N	0,5	1/500	-1%	4.647.287	1,937	5	108	2,08401E-06	479.844
D	0,5	1/500	+1%	8.087.169	1,561	10	124	1,92972E-06	518.209
N	0,5	0	+5%	12.592.566	3,167	6	48	1,50899E-06	662.697
D	0,5	0	+5%	21.907.939	3,167	8	37	1,15648E-06	864.696
D	0,5	1/500	-5%	1.533.814	0,303	5	326	9,87734E-07	1.012.418

Tabella 8 - Classificazione degli scenari di incidente per frequenza e per n_i 5

5. TECNICA DI PROGRAMMAZIONE MATEMATICA E CLASSIFICAZIONE

Il problema di classificazione può essere risolto con tecniche di programmazione matematica. Il problema principale consiste nel trovare un criterio per distinguere gli elementi di due insiemi disgiunti di punti campione. Poiché i punti campione sono generalmente rappresentati da punti nello spazio \mathcal{R}^n , il problema diventa quello di discriminare tra due insiemi finiti di punti, A e B , nello spazio n -dimensionale, \mathcal{R}^n , attraverso un iperpiano o una superficie di separazione non lineare [4].

Alla tecnica di programmazione matematica si deve però associare un problema di ottimizzazione, ossia quello di trovare un iperpiano che minimizzi il numero dei punti mal classificati degli insiemi A e B .

Il problema di ottimizzazione dell'iperpiano si risolve introducendo una funzione di errore (funzione obiettivo) che minimizzi una misura dell'errore di classificazione.

5.1. Classificazione Lineare

Siano A un insieme di m punti in \mathcal{R}^n e B un insieme di k punti in \mathcal{R}^n , rappresentati rispettivamente dalle matrici $A \in \mathcal{R}^{(m,n)}$ e $B \in \mathcal{R}^{(k,n)}$, con $A \cap B = \emptyset$.

L'obiettivo è costruire un iperpiano di separazione:

$$P := \{ x \in \mathcal{R}^n \mid \omega^T x = \xi \}$$

tale che:

$$A_i \omega > \xi \quad \forall i = 1, \dots, m$$

e

$$B_j \omega < \xi \quad \forall j = 1, \dots, k$$

Tale problema può essere formulato come un problema di programmazione lineare (PL). Lo scopo di questa formulazione è di trovare o un iperpiano di separazione, se esiste, oppure di minimizzare qualche errore di classificazione.

La funzione obiettivo presa in considerazione nella formulazione di PL risulta:

$$z^* = \min_{n, g, y, z} \frac{e^T y}{m} + \frac{e^T z}{k}$$

sottoposta ai seguenti vincoli:

$$\begin{aligned} y &\geq -A\upsilon + e\gamma + e \\ z &\geq B\upsilon - e\gamma + e \\ y &\geq 0 \\ z &\geq 0 \end{aligned}$$

dove:

- y_i è non negativa e rappresenta l'errore per il punto $i \in A$;
- z_i è non negativa e rappresenta l'errore per il punto $i \in B$.

5.2. Caso applicativo

L'applicazione presentata è relativa alla classificazione di 45 scenari di incidente. Il campione analizzato include solo quegli scenari che presentano il coinvolgimento di almeno cinque veicoli negli incidenti.

A ciascun scenario è stato associato un vettore a quattro dimensioni: il primo attributo è relativo alla condizione di luminosità; il secondo alla intensità media di pioggia; il terzo alla curvatura ed il quarto alla pendenza longitudinale.

La soglia di separazione tra i due insiemi è rappresentata dal valore $1,115 \times 10^{-5}$ di frequenza, nel primo caso, e dal valore $1,028 \times 10^{-6}$ di indice di incidentalità, nel secondo caso.

Si è risolto il problema di PL per separazione lineare assumendo come parametro discriminante una prima volta la frequenza, una seconda volta l'indice di incidentalità.

I risultati ottenuti hanno consentito di individuare un iperpiano di separazione lineare.

- I caso:

$$0 \cdot x_1 - 0,80 \cdot x_2 + 0 \cdot x_3 + 0 \cdot x_4 = -1,40$$

che presenta 8 punti mal classificati dell'insieme A (19 elementi) e 4 punti mal classificati dell'insieme B (26 elementi);

-II caso:

$$1,20 \cdot x_1 - 0,80 \cdot x_2 - 1600 \cdot x_3 + 0,1480 \cdot 10^{-15} \cdot x_4 = -0,20$$

che presenta 3 punti mal classificati dell'insieme A (29 elementi) e 5 punti mal classificati dell'insieme B (16 elementi);

Come prima analisi si vuole interpretare in dettaglio le coordinate dei punti separati dagli iperpiani. Ad esempio, prendiamo in considerazione tre punti, simili come scenari, due appartenenti all'insieme A, ad alta frequenza di incidente, ed uno all'insieme B a bassa frequenza, separati dall'iperpiano $0,80 \cdot x_2 = 1,40$ e caratterizzati dalle seguenti coordinate:

N°	Frequenza	Luminosità	H pioggia	Curvatura	Pendenza	Gruppo
1	$3,601 \times 10^{-5}$	Diurno	0,5	1/800	-3%	A
2	$5,568 \times 10^{-5}$	Diurno	3	1/800	-1%	A
3	$7,92 \times 10^{-6}$	Diurno	0,5	1/800	-1%	B

Si può notare dal confronto dei punti 1-3 che a parità di raggio nel tracciato planimetrico la differenza di pericolosità dei due scenari è dovuta ad una differenza di pendenza longitudinale in discesa; mentre dal confronto tra lo scenario 2-3 si nota che differiscono per effetto dell'intensità di pioggia.

Nel primo caso, per ottenere una riduzione di incidentalità, sono necessari interventi sul tracciato, di probabile difficile esecuzione e comunque onerosi nei costi.

Nel secondo caso, risultano a confronto piogge medie con piogge di breve intensità, dinanzi a frequenze di incidente che variano da 56 veicoli incidentati ogni 10 milioni di veicoli transitati, nello scenario 2, a 8 veicoli incidentati ogni 10 milioni di veicoli transitati, nello scenario 3.

Per questo scenario critico si potrebbe, pertanto, pensare di intervenire a migliorare l'aderenza quando piove con l'impiego di pavimentazioni drenanti, che consentirebbero una riduzione di 7 volte l'incidentalità a fronte di costi limitati. L'intervento si interpreta geometricamente come lo spostamento del punto nel semispazio rispetto all'iperpiano individuato.

6. CONCLUSIONI ED AVANZAMENTI DELLA RICERCA

Individuato un numero consistente di scenari di incidente, la loro criticità potrà essere espressa solo attraverso una graduatoria degli indici di incidentalità e solo per alcuni scenari potranno scaturire indicazioni significative rivolte ad individuare modalità di intervento; per cui si vuole applicare un modello matematico per la gestione degli scenari, sia in termini di priorità che di qualità di intervento.

Si vuole, innanzitutto, verificare la validità del modello matematico, che si sviluppa attraverso tecniche di ricerca operativa e di ottimizzazione, e cioè verificare se si presta ad interpretare il fenomeno fisico e validarne la sua efficacia.

Infatti, dati i 144 scenari o molti di più il modello di classificazione con iperpiano o superfici di separazione non lineari non potrà limitarsi a separare gli scenari a bassa incidentalità da quelli ad alta incidentalità, operazione che potrebbe essere eseguita manualmente anche se dinanzi ad un campione di notevole dimensioni.

Pertanto, individuato l'iperpiano di separazione, e conoscendo la posizione reciproca di ogni punto (scenario) dello spazio n-dimensionale ci si propone di vedere se la "distanza" tra i punti ha solo significato geometrico o se essa schematizza un significato fisico.

Da una applicazione introduttiva della tecnica su un limitato campione, in cui si sono utilizzati solo quattro variabili indipendenti e come elemento discriminante la frequenza, nel primo caso, e l'indice di incidentalità, nel secondo caso, sembra che il carattere qualitativo dell'iperpiano di separazione individuato interpreti il fenomeno fisico.

Questo orientamento ci porta a proseguire in questa tecnica di programmazione matematica, che minimizza una misura di mal classificazione degli insiemi, ed associa ai punti dello spazio a n-dimensioni gli scenari di incidente.

Riferimenti bibliografici

- [1] Caroti. L., Lancieri F., Losa M., Branca L. (2000), *La sicurezza stradale: condizioni ambientali e parametri dell'infrastruttura*, Rivista Strade & Autostrade n° 2-2000
- [2] Greco, D., Grossi. R. e De Luca, M. (2000), *Archivio Stradale e scenari di incedente*. Atti X Convegno Nazionale S.I.I.V., Acireale (CT) 26-28 ottobre 2000
- [3] Garofalo, D. Greco, R. Grossi (2001), *Definizione di alcuni scenari di incidente. Una metodologia di analisi dell'incidentalità*. Atti del Convegno Input 2001, Isole Tremiti 27-29 giugno 2001.
- [4] Astorino, A. (1999), Tesi di Dottorato, *Programmazione matematica e Classificazione*, Dottorato di ricerca in Ricerca Operativa, Università degli Studi di Roma "La Sapienza", Roma.