

POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Ingegneria Civile, Ambientale e Territoriale

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile-Civil Engineering



POLITECNICO
MILANO 1863

**STRUMENTO DI SUPPORTO ALLE DECISIONI
PER L'ANALISI DELL'INCIDENTALITÀ
STRADALE DI UN TERRITORIO ATTRAVERSO
L'INDIVIDUAZIONE DEI BLACK-SPOT.**

Relatore: Prof. Luca Studer

Correlatore: Ing. Paolo Gandini

Tesi di laurea di:

Stefano Savaresi, Matr.884846

Anno accademico 2018/2019

RINGRAZIAMENTI

Giunto a conclusione di questo lungo percorso sia di tesi che di studi, che ha segnato una parte importante della mia vita, mi sento in dovere di ringraziare chi ha permesso, direttamente e indirettamente, l'elaborazione di questo lavoro.

Il primo ringraziamento è ovviamente rivolto a tutto il team del laboratorio di mobilità e trasporti del Politecnico di Milano che ha letto, e soprattutto, corretto più di 250 pagine che compongono questo elaborato, in particolare ringrazio il professor Studer che, con i suoi consigli, mi ha sempre offerto nuovi spunti di riflessione, il professor Gandini che mi ha spronato ad essere meno critico nei confronti del lavoro svolto e l'ing. Paglino, la quale ha avuto la pazienza di comprendere e cercare di riformulare le mie frasi contorte.

Ringrazio, di seguito, il dottor Meco, che ho imparato a conoscere e a stimare anche grazie alle "poche" telefonate che ci siamo scambiati, in primis per avermi coinvolto nel mondo reale dell'acquisizione ed elaborazione dei dati per la sicurezza stradale, per avermi aiutato in prima persona nel reperimento dei dati sugli incidenti stradali necessari per questa tesi e, infine, per avermi consigliato nella scrittura di questo elaborato.

Un ringraziamento speciale è rivolto al Comune di Brugherio, agli agenti della Polizia Locale e al loro Comandante, i quali mi hanno accolto e, nonostante oberati di lavoro, hanno trovato il tempo per rispondere alle mie domande e per fornirmi i dati senza i quali non avrei potuto testare il mio strumento.

Ringrazio anche i miei amici e futuri "collegli" con i quali ho condiviso tutto questo lungo e faticoso percorso di studi, in particolare per aver sopportato le mie idee "particolari" e il mio carattere un po' "diretto".

In ultimo, ma per questo più importante di tutti, è il ringraziamento alla mia famiglia che mi ha sempre sostenuto, e quando ha potuto anche aiutato, per permettermi di perseguire e realizzare questo importante obiettivo.

Grazie

INDICE

RINGRAZIAMENTI.....	- 3 -
INDICE	- 5 -
INDICE DELLE FIGURE	- 9 -
INDICE DELLE TABELLE.....	- 15 -
ABSTRACT.....	- 17 -
CAPITOLO 1: INTRODUZIONE	- 19 -
CAPITOLO 2: STATO DELL'ARTE.....	- 23 -
2.1 L'INCIDENTALITÀ STRADALE.....	- 24 -
2.1.1 <i>MONDO.....</i>	<i>- 24 -</i>
2.1.2 <i>UNIONE EUROPEA (EU 28).....</i>	<i>- 28 -</i>
2.1.3 <i>ITALIA</i>	<i>- 30 -</i>
2.2 I DATABASE DEGLI EVENTI INCIDENTALI.....	- 33 -
2.3 ANALISI DI INCIDENTALITÀ	- 35 -
2.3.1 <i>ANALISI AGGREGATA</i>	<i>- 39 -</i>
2.3.2 <i>ANALISI DISAGGREGATA.....</i>	<i>- 43 -</i>
2.3.3 <i>ANALISI PREVENTIVA.....</i>	<i>- 45 -</i>
2.3.4 <i>ANALISI PREDITTIVA.....</i>	<i>- 45 -</i>
2.3.5 <i>ANALISI DI INCIDENTALITÀ E GIS</i>	<i>- 48 -</i>
2.4 SISTEMI DI SUPPORTO ALLE DECISIONI	- 55 -
2.5 SINTESI DEL CAPITOLO.....	- 57 -
CAPITOLO 3: MODELLO.....	- 59 -
3.1 DESCRIZIONE DEL MODELLO	- 60 -
3.2 DATI DEGLI INCIDENTI.....	- 61 -
3.3 COSTRUZIONE DELLA RETE STRADALE	- 63 -
3.3.1 <i>CARATTERIZZAZIONE DEGLI ARCHI.....</i>	<i>- 68 -</i>
3.3.2 <i>CARATTERIZZAZIONE DEI NODI.....</i>	<i>- 77 -</i>
3.4 ASSOCIAZIONE DEGLI INCIDENTI ALLA RETE STRADALE.....	- 83 -

3.5	SCENARI D'INCIDENTE	- 85 -
3.6	ANALISI AGGREGATA DELLA RETE STRADALE ASSOCIATA	- 88 -
3.6.1	<i>CRITERIO NUMERICO</i>	<i>- 89 -</i>
3.6.2	<i>CRITERIO SULLE LESIONI</i>	<i>- 94 -</i>
3.6.3	<i>CRITERIO TEMPORALE</i>	<i>- 100 -</i>
3.6.4	<i>FUNZIONE DI DETERMINAZIONE DEI BLACK-SPOT</i>	<i>- 107 -</i>
3.7	PUNTEGGIO E CLASSIFICA	- 108 -
3.8	SINTESI DEL CAPITOLO	- 112 -
CAPITOLO 4: STRUMENTI E PROCEDURE.....		- 113 -
4.1	STRUMENTO DI LAVORO	- 114 -
4.2	FONDAMENTALI DI QGIS	- 114 -
4.3	COSTRUZIONE DELLA RETE STRADALE	- 120 -
4.3.1	<i>ARCHI</i>	<i>- 121 -</i>
4.3.2	<i>NODI</i>	<i>- 124 -</i>
4.3.3	<i>ATTRIBUTI DEGLI ARCHI</i>	<i>- 127 -</i>
4.3.4	<i>ATTRIBUTI DEI NODI</i>	<i>- 137 -</i>
4.4	ASSOCIAZIONE DEGLI INCIDENTI ALLA RETE	- 144 -
4.4.1	<i>COORDINATE GEOGRAFICHE</i>	<i>- 144 -</i>
4.4.2	<i>NUMERI CIVICI E COPPIE DI VIE</i>	<i>- 148 -</i>
4.5	DIVISIONE DEGLI INCIDENTI IN SCENARI	- 153 -
4.6	ANALISI DEGLI INCIDENTI	- 155 -
4.6.1	<i>CREAZIONE DI CAMPI PROPEDEUTICI ALL'ANALISI</i>	<i>- 156 -</i>
4.6.2	<i>CRITERIO NUMERICO</i>	<i>- 158 -</i>
4.6.3	<i>CRITERIO SULLE LESIONI</i>	<i>- 159 -</i>
4.6.4	<i>CRITERIO TEMPORALE</i>	<i>- 159 -</i>
4.6.5	<i>DETERMINAZIONE DEI BLACK-SPOT</i>	<i>- 160 -</i>
4.7	CLASSIFICA	- 161 -
4.8	STRUMENTO DI SUPPORTO ALLE DECISIONI (SSD)	- 164 -
4.8.1	<i>INTERFACCIA CON L'UTENTE</i>	<i>- 164 -</i>
4.8.2	<i>MODELLATORE GRAFICO</i>	<i>- 166 -</i>
4.9	SINTESI DEL CAPITOLO	- 182 -
CAPITOLO 5: CASO DI STUDIO		- 183 -
5.1	INQUADRAMENTO	- 184 -
5.2	LA RETE STRADALE DI BRUGHERIO	- 185 -
5.2.1	<i>ARCHI</i>	<i>- 185 -</i>
5.2.2	<i>NODI</i>	<i>- 190 -</i>
5.3	DATI E ASSOCIAZIONE DEGLI INCIDENTI	- 191 -
5.3.1	<i>DATA SET INCIDENTALE</i>	<i>- 191 -</i>

5.3.2	ASSOCIAZIONE DEGLI INCIDENTI ALLA RETE STRADALE	- 192 -
5.4	ANALISI D'INCIDENTALITÀ	- 194 -
5.4.1	ANALISI D'INCIDENTALITÀ CLASSICA	- 195 -
5.4.2	ANALISI D'INCIDENTALITÀ TRAMITE LA FUNZIONE "BLACK-SPOT IDENTIFICATION AND CLASSIFICATION"	- 202 -
5.5	CONCLUSIONI DEL CAPITOLO	- 211 -
	CAPITOLO 6: CONCLUSIONE	- 215 -
	BIBLIOGRAFIA	- 219 -
	APPENDICI	- 224 -
	APPENDICE A	- 224 -
	APPENDICE B	- 228 -
	APPENDICE C	- 230 -
	SCENARIO 0 – INCIDENTI IN TOTALE	- 231 -
	SCENARIO 1 – SOLO UN VEICOLO	- 234 -
	SCENARIO 2 – SOSTA	- 238 -
	SCENARIO 3 – INVESTIMENTO DI PEDONE	- 240 -
	SCENARIO 4 – VELOCIPEDI	- 244 -
	SCENARIO 5 – VEICOLI A DUE RUOTE MOTORE	- 248 -
	SCENARIO 6 – BAMBINI COINVOLTI	- 252 -
	SCENARIO 7 – VELOCITÀ	- 256 -
	SCENARIO 8 – REGOLE DI CIRCOLAZIONE	- 260 -
	SCENARIO 10 – FONDO STRADALE NON ASCIUTTO	- 264 -
	SCENARIO 11 – CONDIZIONI CLIMATICHE AVVERSE	- 268 -

INDICE DELLE FIGURE

FIGURA 1: LEADING CAUSES OF DEATH, ALL AGES, 2016 (1)	- 24 -
FIGURA 2: “NUMBER AND RATE OF ROAD TRAFFIC DEATH PER 100,000 POPULATION: 2000–2016” (1) (IN ALTO), “NUMBER OF MOTOR VEHICLES AND RATE OF ROAD TRAFFIC DEATH PER 100,000 VEHICLES: 2000–2016” (1) (IN BASSO).	- 25 -
FIGURA 3: “PROPORTION OF POPULATION, ROAD TRAFF DEATHS, AND REGISTERED MOTOR VEHICLES BY COUNTRY INCOME CATEGORY, 2016” (1)	- 25 -
FIGURA 4: “RATES OF ROAD TRAFFIC DEATH PER 100,000 POPULATION BY WHO REGIONS: 2013, 2016” (1).	- 26 -
FIGURA 5: “DISTRIBUTION OF DEATHS BY ROAD USER TYPE BY WHO REGION” (1).	- 27 -
FIGURA 6: “DEVELOPMENT OVER TIME: REDUCTION OF ROAD ACCIDENT FATALITIES IN THE EU” (2)	- 28 -
FIGURA 7: “ROAD FATALITIES IN THE EU BY TRANSPORT MODE IN 2017” (IN ALTO) (2), “PERCENTAGE OF ROAD FATALITIES ON URBAN ROADS BY MEANS OF TRANSPORT IN 2017”(IN BASSO) (2).	- 29 -
FIGURA 8: “ROAD FATALITIES IN THE EU BY AGE IN 2017” (2).	- 30 -
FIGURA 9: “INCIDENTI STRADALI CON LESIONI A PERSONE, MORTI E FERITI. ANNI 2001 -201 8, VALORI ASSOLUTI” (4).	- 30 -
FIGURA 10: CONFRONTO TRA LE VITTIME DIVISE IN UTENZE DEBOLI NELL’UNIONE EUROPEA (DATI 2017, FONTE(10)) E IN ITALIA (DATI 2018, FONTE (4)).	- 31 -
FIGURA 11: CONFRONTO TRA LE VITTIME DIVISE IN CLASSI D’ETÀ NELL’UNIONE EUROPEA (DATI 2017, FONTE(10)) E IN ITALIA (DATI 2018, FONTE (4)).	- 32 -
FIGURA 12: CONFRONTO TRA LE VITTIME DIVISE PER AMBITO NELL’UNIONE EUROPEA (DATI 2017, FONTE(10)) E IN ITALIA (DATI 2018, FONTE (4)).	- 32 -
FIGURA 13: DATI RELATIVI AGLI INCIDENTI AVVENUTI NEL COMUNE DI BRUGHERIO (MB), ITALIA, DIVISI PER ANNI (2009- 2018) E PER CON O SENZA FERITI. (FONTE POLIZIA LOCALE BRUGHERIO)	- 33 -
FIGURA 14: CAUSE DELL’INCIDENTALITÀ STRADALE. (FALCONETTI,2012, (16))	- 36 -
FIGURA 15: IMMAGINE A) NUMERO DI INCIDENTI AVVENUTI PER ANNO, IMMAGINE B) PERCENTUALI DI RIPARTIZIONE DEL NUMERO DI INCIDENTI PER FASCE ORARIE, IMMAGINE C) PERCENTUALI DI RIPARTIZIONE DEGLI INCIDENTI PER CONDIZIONI CLIMATICHE. (19)	- 37 -
FIGURA 16:RAPPRESENTAZIONE SU RETE DIGITALE DEL NUMERO DI INCIDENTI DIVISI PER VIA.(19)	- 37 -
FIGURA 17: SCHEMA DEL PROCESSO DI ANALISI.	- 38 -
FIGURA 18: SCHEMA DELLE RELAZIONI FRA I TIPI DI ANALISI E LORO CAMPO DI APPLICAZIONE.	- 39 -
FIGURA 19: ESEMPIO DI DIAGRAMMA DI COLLISIONE, SOPRA IN UNA INTERSEZIONE, SOTTO IN UN TRATTO DI STRADA.(27).	- 44 -
FIGURA 20: ESEMPI DI SCENARI DI INCIDENTE. FONTE: (17)	- 44 -
FIGURA 21: ESEMPIO DI ALCUNE VOCI PRESENTI NELLE CHECK-LIST.(29)	- 45 -
FIGURA 22:ESEMPIO DI CMFS PER LA LARGHEZZA MEDIA DELLE CORSIE. (27).....	- 47 -
FIGURA 23: ESEMPIO DI INTERROGAZIONE DI UN ELEMENTO TRAMITE SOFTWARE QGIS.	- 48 -
FIGURA 24: ESEMPIO DI ANALISI DI SENSITIVITÀ PER DETERMINARE IL VALORE PIÙ RAGIONEVOLE DEL PARAMETRO H: (A) 50 M, (B) 100 M, (C) 200 M, (D) 300 M, REALIZZATE TRAMITE LA FUNZIONE DI KERNEL QUARTIC. (36).....	- 51 -
FIGURA 25: ESEMPIO DI MAPPA DI CALORE REALIZZATA TRAMITE IL PLUG-IN DI QGIS HEATMAP CHE PERMETTE DI APPLICARE LA KDE. LA SCALA DI COLORE CHE VA DALL’ARANCIONE PIÙ CHIARO AL ROSSO RICALCA LA PRECEDENTE SUDDIVISIONE DI VALORI. (36)	- 52 -
FIGURA 26: A SINISTRA (IMMAGINE A) C’È IL CERCHIO BASATO SULLA DISTANZA EUCLIDEA, A DESTRA (IMMAGINE B) C’È IL SEGMENTO MOBILE (MOVING SEGMENT) BASATO SULLA DISTANZA DI RETE.(37) CON RIELABORAZIONE DELL’AUTORE.....	- 53 -
FIGURA 27: MAPPA DI CALORE CONCENTRATA SOLO SULLA RETE STRADALE. (37)	- 54 -
FIGURA 28: SCHEMA CONCETTUALE DEGLI SSD, FONTE (40) CON RIELABORAZIONE DELL’AUTORE.	- 55 -
FIGURA 29: DIAGRAMMA DI FLUSSO DEL MODELLO DEL SISTEMA DI SUPPORTO ALLE DECISIONI PROGETTATO.....	- 60 -
FIGURA 30: SCHEMA CONCETTUALE DEL PARAGRAFO “COSTRUZIONE DELLA RETE STRADALE”	- 63 -
FIGURA 31:ESEMPIO DI COME LA RETE DI CALCOLO NON SEMPRE RAPPRESENTA LA REALTÀ	- 64 -

FIGURA 32: ESEMPIO DI RETE STRADALE. NELL'IMMAGINE IN ALTO SI DENOTA UN'AREA DELLA CITTÀ DI BRUGHERIO (MB), ITALIA (FONTE GOOGLE MAPS) MENTRE IN BASSO LA STESSA AREA MA COME RETE DI CALCOLO CON ARCHI (LINEE BLU) E NODI (PUNTI ROSSI).	- 66 -
FIGURA 33: L'AREA PRECEDENTEMENTE MOSTRATA CON LA SUDDIVISIONE IN ARCHI E NODI A CUI SI AGGIUNGONO ANCHE GLI IDENTIFICATIVI NUMERICI O ID	- 67 -
FIGURA 34: DETTAGLIO DELLA PRECEDENTE AREA DELLA CITTÀ DI BRUGHERIO (MB), ITALIA PER EVIDENZIARE I CODICI ASSOCIATI AD OGNI ELEMENTO.	- 67 -
FIGURA 35: ESEMPIO DI STRADA ETICHETTATA COME DI SERVIZIO (S), BRUGHERIO (MB), ITALIA; FONTE: GOOGLE MAPS	- 69 -
FIGURA 36: ESEMPIO DI RAPPRESENTAZIONE DEGLI ARCHI (LINEA NERA) ED ESEMPI DI USO DELLA CATEGORIA "NUMERO DI CORSIE" E "SENSO DI MARCIA". IMMAGINE A) 1 ARCO CON 2 CORSIE DOPPIO SENSO, B) 1 ARCO 1 CORSIA SENSO UNICO, C) 2 ARCHI CIASCUNO CON 2 CORSIE A SENSO UNICO.	- 70 -
FIGURA 37: A) PAVIMENTAZIONE IN CONGLOMERATO BITUMINOSO, CATEGORIA PAVIMENTATA, B) PAVIMENTAZIONE IN CALCESTRUZZO, CATEGORIA PAIMENTATA, C) ESEMPIO DI CATEGORIA AD ELEMENTI, D) STRADA STERRATA, CATEGORIA NON PAVIMENTATA, E) ESEMPIO DI CATEGORIA CON ROTATIE. (FONTE A,C,E GOOGLE MAPS, B (43), D (44)).	- 71 -
FIGURA 38: ESEMPIO DI ARCO (LINEA NERA) CON LA PRESENZA DI UNA PISTA CICLABILE (LINEA ROSSA), ESSA SI TROVA PRIMA DA UN LATO E POI DALL'ALTRO MA C'È UN OPPORTUNO ATTRAVERSAMENTO. (FONTE: GOOGLE MAPS)-	72 -
FIGURA 39: ARCO (LINEA NERA) CON MARCIAPIEDE (LINEE GIALLE) PRESENTE SUL LATO SINISTRO E DESTRO. (FONTE: GOOGLE MAPS).....	- 72 -
FIGURA 40: ARCO CON PRESENZA DI SOSTA LATERALE (POLIGONO IN VERDE). (FONTE: GOOGLE MAPS).....	- 73 -
FIGURA 41: ARCO CON LA PRESENZA DELLA CORSIA RISERVATA. (FONTE:(45)).	- 74 -
FIGURA 42: ARCO CON LA PRESENZA DI UNA FERMATA DEL TRASPORTO PUBBLICO (AUTOBUS). (FONTE: GOOGLE MAPS)	- 74 -
FIGURA 43: VIALE MICHELE TROMBELLO, BRUGHERIO (MB), ITALIA. (FONTE GOOGLE MAPS).	- 76 -
FIGURA 44: ESEMPIO DI USCITA DI SERVIZIO (E) FORMATASI TRA DUE ARCHI F E LA STRADA DI USCITA DA UN PARCHEGGIO (S). (FONTE GOOGLE MAPS).	- 78 -
FIGURA 45: ESEMPIO DI CALCOLO DELLA MEDIA DELLE CORSIE. (FONTE GOOGLE MAPS)	- 79 -
FIGURA 46: ESEMPIO DI NODO CON LA PRESENZA DI PISTA CICLABILE (A SINISTRA) E CON ASSENZA DI PISTA CICLABILE (A DESTRA). (FONTE GOOGLE MAPS)	- 80 -
FIGURA 47: ESEMPI DI POSIZIONAMENTO DEGLI ATTRAVERSAMENTI PEDONALI SECONDO LE LINEE GUIDA ACI CITATE.	- 81 -
FIGURA 48: ESEMPIO DI A) ATTRAVERSAMENTO COMPLETO (C), B) ATTRAVERSAMENTO NON COMPLETO (M), E C) ATTRAVERSAMENTO NON PRESENTE (N). (FONTE GOOGLE MAPS)	- 82 -
FIGURA 49: INTERSEZIONE TRA VIA DEI MILLE, VIA SANTA CLOTILDE E VIALE MICHELE TROMBELLO, BRUGHERIO (MB), ITALIA. (FONTE GOOGLE MAPS)	- 83 -
FIGURA 50: CAMPI TRASPORTATI DAGLI INCIDENTI AGLI ELEMENTI TRAMITE ASSOCIAZIONE E CAMPI OTTENUTI TRAMITE RIELABORAZIONE DELLE INFORMAZIONI AGGIUNTE.	- 84 -
FIGURA 51: ESEMPI DI POTENZIALE CRITICITÀ DURANTE LA FASE DI ASSOCIAZIONE.	- 85 -
FIGURA 52: SCHEMA CONCETTUALE DEL SOTTO CAPITOLO "ANALISI AGGREGATA DELLA RETE STRADALE ASSOCIATA". . .	- 89 -
FIGURA 53: GRAFICO DELLA DISTRIBUZIONE DI PROBABILITÀ SECONDO POISSON CON $\lambda=5$ (LINEA BLU) E SOGLIA POSTA A 0.05 (LINEA ARANCIONE).....	- 93 -
FIGURA 54: ESEMPIO DI GRAFICO CHE RAPPRESENTA IL NUMERO DI INCIDENTI AVVENUTI NEL PERIODO 2014-2018 IN UN ELEMENTO DELLA RETE STRADALE.	- 100 -
FIGURA 55: CONFRONTO TRA TREND CALCOLATO CON METODO DEI MINIMI QUADRATI CLASSICI E CON PESI ESPONENZIALI.	- 102 -
FIGURA 56: CONFRONTO TRA TREND DI LUNGO E BREVE PERIODO.....	- 103 -
FIGURA 57: SERIE STORICA DEGLI INCIDENTI AVVENUTI NEGLI ULTIMI 5 ANNI IN UN ELEMENTO FITTIZIO CON TREND (LINEA TRATTEGGIATA).....	- 104 -
FIGURA 58: SCHERMATA BASE DI QGIS 3.6	- 115 -
FIGURA 59: PROCEDURA PER L'INSTALLAZIONE DEI PLUGIN.	- 116 -
FIGURA 60: PROCEDURA PER IL SALVATAGGIO DI LAYER TEMPORANEI.	- 117 -
FIGURA 61: ESEMPIO DI "TABELLA DEGLI ATTRIBUTI" CON QUATTRO ELEMENTI E QUATTRO CAMPI. CON UN RETTANGOLO NERO È EVIDENZIATO IL TASTO PER APRIRE IL "CALCOLATORE DI CAMPI"	- 117 -

FIGURA 62: FINESTRA DEL CALCOLATORE DI CAMPI.	- 118 -
FIGURA 63: FINESTRA PER LA REALIZZAZIONE DELLE RELAZIONI.	- 119 -
FIGURA 64: FINESTRA DI DIALOGO CON "QUICKOSM".	- 120 -
FIGURA 65: ESEMPIO DI LAYER OTTENIBILI CON "QUICK OSM".	- 121 -
FIGURA 66: PROCEDURA PER OTTENERE UNA MAPPA DI SFONDO.	- 121 -
FIGURA 67: PROCEDURA PER LA SELEZIONE DEGLI ELEMENTI CON ESPRESSIONE.	- 122 -
FIGURA 68: PROCEDURA E FINESTRA PER L'UTILIZZO DELLA FUNZIONE "DIVIDI CON LINEE".	- 123 -
FIGURA 69: SCHERMATA PER L'UTILIZZO DELLA FUNZIONE "RIPROIETTA VETTORE".	- 124 -
FIGURA 70: FINESTRA DI UTILIZZO PER LA FUNZIONE "INTERSEZIONI LINEE".	- 124 -
FIGURA 71: ESEMPIO DEL LAYER COPPIE_DI_VIE.	- 125 -
FIGURA 72: FINESTRA DI UTILIZZO DELLA FUNZIONE "ELIMINA GEOMETRE DUPLICATE".	- 125 -
FIGURA 73: ESEMPIO DI ROTATORIA, IN ALTO COME VIENE MAPPATA (PRIMA...), IN BASSO COME VIENE MODIFICATA (...DOPO).	- 126 -
FIGURA 74: BARRA DEGLI STRUMENTI DI DIGITALIZZAZIONE AVANZATA.	- 126 -
FIGURA 75: FINESTRA PER L'UTILIZZO DELLA FUNZIONE "CENTROIDI".	- 127 -
FIGURA 76: FINESTRA PER IL DOWNLOAD DEL LAYER CONTENENTE L'UBICAZIONE DEI BINARI IN AMBITO URBANO.	- 130 -
FIGURA 77: FINESTRA PER IL DOWNLOAD DEI PERCORSI CICLABILI TRAMITE "QUICKOSM".	- 131 -
FIGURA 78: FINESTRA PER IL DOWNLOAD DEGLI ATTRAVERSAMENTI PEDONALI TRAMITE "QUICKOSM".	- 132 -
FIGURA 79: PROCEDURA E FINESTRA DI UTILIZZO PER LA FUNZIONE "AGGANCIA GEOMETRIE AL VETTORE".	- 133 -
FIGURA 80: PROCESSO E FINESTRA PER L'UTILIZZO DELLA FUNZIONE "UNISCI ATTRIBUTI SECONDO IL VALORE DEL CAMPO".	- 134 -
FIGURA 81: FINESTRA DEL DOWNLOAD DELLE FERIMATE DEL TRASPORTO PUBBLICO ATTRAVERSO "QUICKOSM".	- 136 -
FIGURA 82: ESEMPIO DI TABELLA ATTRIBUTI CONTENENTE ALCUNI CAMPI PER FORMARE IL CODICE E IL RISULTATO FINALE.	- 137 -
FIGURA 83: PROCEDURA E FINESTRA PER L'UTILIZZO DELLA FUNZIONE "UNISCI ATTRIBUTI PER POSIZIONE".	- 138 -
FIGURA 84: FINESTRA PER LA CREAZIONE DI RELAZIONI.	- 139 -
FIGURA 85: FINESTRA DEL DOWNLOAD DELLA POSIZIONE DEI SEMAFORI ATTRAVERSO "QUICKOSM".	- 139 -
FIGURA 86: ESEMPIO DI TABELLA ATTRIBUTI CON ALCUNI CAMPI USATI PER LA CREAZIONE DEL CODICE E IL RISULTATO FINALE.	- 144 -
FIGURA 87: ESEMPIO DI COMPILAZIONE E UTILIZZO DI "FOGLI GOOGLE" E "GEOCODE BY AWESOME TABLE".	- 145 -
FIGURA 88: ESEMPIO DI GEOLOCALIZZAZIONE DI ALCUNI INDIRIZZI TRAMITE IL SOFTWARE ONLINE "GPS VISUALIZER".	- 146 -
FIGURA 89: PROCEDURA E FINESTRA PER L'AGGIUNTA DI UN LAYER DA TESTO DELIMITATO.	- 147 -
FIGURA 90: SCHEMA DELL'ASSOCIAZIONE TRAMITE CAMPI UGUALI.	- 148 -
FIGURA 91: ESEMPIO DI RIPETIZIONE DI NOMI NEL LAYER "COPPIE_VIE".	- 150 -
FIGURA 92: PROCEDURA E FINESTRA PER L'UTILIZZO DELLA FUNZIONE "ELIMINA DUPLICATI PER ATTRIBUTO".	- 151 -
FIGURA 93: PROCEDURE E FINESTRA PER L'UTILIZZO DI "UNISCI ATTRIBUTI SECONDO IL VALORE DEL CAMPO".	- 152 -
FIGURA 94:PROCEDURA E FINESTRA PER L'UTILIZZO DELLA FUNZIONE "UNISCI ATTRIBUTI SECONDO IL VALORE DEL CAMPO".	- 156 -
FIGURA 95: PROCEDIMENTO E FINESTRA PER L'UTILIZZO DELLA FUNZIONE "AGGIUNGI CAMPO AUTOINCREMENTALE".	- 163 -
FIGURA 96: PROCEDURA E FINESTRA PER L'UTILIZZO DEL MODELLO "BLACK-SPOT IDENTIFICATION AND CLASSIFICATION".	- 166 -
FIGURA 97: PROCEDURA PER L'APERTURA DEL "MODELLATORE GRAFICO E FINESTRA PRINCIPALE.	- 167 -
FIGURA 98: FINESTRA DEL "CALCOLATORE DI CAMPI" NEL "MODELLATORE GRAFICO".	- 168 -
FIGURA 99: LA MAPPA CONCETTUALE DEL MODELLO "BLACK-SPOT IDENTIFICATION AND CLASSIFICATION".	- 169 -
FIGURA 100: INGRANDIMENTO DEL MODELLO PER VISUALIZZARE IL FLUSSO RELATIVO ALLA DIVISIONE IN SCENARI E IN ELEMENTI.	- 169 -
FIGURA 101: FINESTRA DI UTILIZZO DELL'ALGORITMO "ESTRAI PER ESPRESSIONE" PER GLI SCENARI.	- 171 -
FIGURA 102: FINESTRA DI UTILIZZO DELL'ALGORITMO "ESTRAI PER ESPRESSIONE" PER GLI ELEMENTI (SCEGLIERE TRA ARCHI E NODI).	- 171 -
FIGURA 103: FINESTRA DEL "CALCOLATORE DI CAMPI" PER IL TREND_10.	- 172 -
FIGURA 104: FINESTRA DEL "CALCOLATORE DI CAMPI" PER IL CALCOLO DI TREND_5.	- 173 -

FIGURA 105: FINESTRA DEL "CALCOLATORE DI CAMPI PER CALCOLARE IL NUMERO DI INCIDENTI.	- 174 -
FIGURA 106: INGRANDIMENTO DEL MODELLO PER VISUALIZZARE GLI ALGORITMI PER LA CREAZIONE DELLE STATISTICHE.	- 174 -
FIGURA 107: FINESTRA DELLA FUNZIONE "UNISCI GEOMETRIE SECONDO IL VALORE DEL CAMPO".	- 175 -
FIGURA 108: INGRANDIMENTO DELLA MAPPA CONCETTUALE DEL MODELLO CHE MOSTRA LA CREAZIONE DEI CAMPI PROPEDEUTICI ALL'ANALISI.	- 176 -
FIGURA 109: FINESTRA DELLA FUNZIONE "ELIMINA DUPLICATI PER ATTRIBUTO".	- 176 -
FIGURA 110: INGRANDIMENTO DELLA MAPPA CONCETTUALE DEL MODELLO CHE MOSTRA L'ANALISI CON IL CALCOLO DEI CRITERI, L'ANALISI DEI BLACK-SPOT E LA CLASSIFICA.	- 177 -
FIGURA 111: FINESTRA DELLE PROPRIETÀ DEL LAYER PER LA TEMATIZZAZIONE DELLA SIMBOLOGIA RAPPRESENTANTE GLI ELEMENTI.....	- 178 -
FIGURA 112: FINESTRA DELLE PROPRIETÀ DEL LAYER PER LA TEMATIZZAZIONE DELLE ETICHETTE.	- 178 -
FIGURA 113: INGRANDIMENTO DELLA FINESTRA INIZIALE DI UTILIZZO DELLA FUNZIONE "ANALISI AGGREGATA".	- 179 -
FIGURA 114: ESEMPIO DI TABELLA DELLE STATISTICHE (SCENARIO 0 PER LA CITTÀ DI BRUGHERIO, CHE È IL CASO DI STUDIO PRESENTATO NEL CAPITOLO 5).	- 180 -
FIGURA 115: ESEMPIO DI LAYER BLACK-SPOT (SCENARIO 0 PER LA CITTÀ DI BRUGHERIO, CHE È IL CASO DI STUDIO PRESENTATO NEL CAPITOLO 5).	- 180 -
FIGURA 116: ESEMPIO DI INFORMAZIONI RICAVABILI DA OGNI ELEMENTO DELLA RETE.	- 181 -
FIGURA 117: MAPPA DELLA CITTÀ DI BRUGHERIO (DATI DI OPENSTREETMAP E ISTAT PER I CONFINI, LINEA ROSSA, DEL 2019).	- 184 -
FIGURA 118: IL LAYER DEGLI ARCHI DELLA CITTÀ DI BRUGHERIO CON ALCUNE STATISTICHE A LATO (VALORI ESPRESSI IN METRI).	- 185 -
FIGURA 119: LAYER DELLE PISTE CICLABILI EVIDENZIATE IN ROSSO (DATI OPENSTREETMAP).	- 186 -
FIGURA 120: INGRANDIMENTO DELLA ZONA NEI PRESSI DELL'INTERSEZIONE TRA VIA QUARTO E VIA DORDERIO (BRUGHERIO) DELLA RETE STRADALE DI STUDIO IN FORMATO GIS.	- 187 -
FIGURA 121: INGRANDIMENTO DI VIA DORDERIO DELLA RETE STRADALE DI BRUGHERIO IN FORMATO GIS.....	- 189 -
FIGURA 122: ESEMPIO DI MODELLAZIONE DEL NODO E DEGLI ARCHI PER LA ROTATORIA TRA VIA ILARIA ALPI, VIA DEGLI ARTIGIANI E VIA SANTA MARGHERITA NELLA CITTÀ DI BRUGHERIO.	- 190 -
FIGURA 123: CONFRONTO TRA DUE DIVERSI METODI DI POSIZIONAMENTO DELL'ICONA DEL SEMAFORO IN OPENSTREETMAP.	- 191 -
FIGURA 124: ESEMPIO DI ASSOCIAZIONE IMPOSSIBILE SENZA ULTERIORI INFORMAZIONI (OLTRE ALLA COPPIA DI VIE E CHE È AVVENUTO IN UN ARCO).	- 193 -
FIGURA 125: SERIE STORICA DELLA CITTÀ DI BRUGHERIO DEL NUMERO DI INCIDENTI, MORTI E FERITI TRA IL 2009 E IL 2018.....	- 195 -
FIGURA 126: GRAFICO DI RIPARTIZIONE DEL NUMERO DI INCIDENTI TRA LE UTENZE DELLA STRADA.	- 196 -
FIGURA 127: GRAFICO DEL NUMERO DI INCIDENTI RIPARTITI SECONDO LE FASCE D'ETÀ DELLE PERSONE COINVOLTE.	- 196 -
FIGURA 128: GRAFICO DEL NUMERO DI INCIDENTI CON LESIONI A PERSONE DELL'ANNO 2017 DEI COMUNI ITALIANI CHE, AL 2011, CONTAVANO TRA I 32.000 E I 34.000 ABITANTI.	- 197 -
FIGURA 129: LAYER NECESSARI PER UTILIZZARE LA FUNZIONE "BLACK-SPOT IDENTIFICATION AND CLASSIFICATION"..	- 202 -
FIGURA 130: LAYER "BLACK-SPOT CLASSIFICATI" PER GLI ARCHI NELLO SCENARIO 0.	- 204 -
FIGURA 131: LAYER "BLACK-SPOT CLASSIFICATI" PER I NODI NELLO SCENARIO 0.	- 205 -
FIGURA 132: DESELEZIONE DEGLI ARCHI A BASSA (COLORE GIALLO) E MEDIA (COLORE ARANCIONE) INCIDENTALITÀ.	- 206 -
FIGURA 133: DATI DISPONIBILI APRENDO LA "TABELLA DEGLI ATTRIBUTI" DELLA TABELLA DELLE STATISTICHE DELLO SCENARIO 0.....	- 206 -
FIGURA 134: ESEMPIO DI INFORMAZIONI RICAVABILI DA OGNI ELEMENTO, IN QUESTA IMMAGINE IL PRIMO CLASSIFICATO PER IL LAYER ARCHI NELLO SCENARIO 0.....	- 207 -
FIGURA 135: LAYER "BLACK-SOPT CLASSIFICATI" PER ARCHI E NODI NELLO SCENARIO 3 (A SINISTRA), INGRANDIMENTO DELL'AREA SEGNATA IN ROSSO (A DESTRA) CON CONCENTRAZIONE DI EVENTI.....	- 209 -
FIGURA 136: LAYER "BLACK-SPOT CLASSIFICATI" PER ARCHI E NODI NELLO SCENARIO 4 (A SINISTRA), INGRANDIMENTO DELLE SELEZIONI IN BLU (A DESTRA).	- 210 -
FIGURA 137: CONFRONTO TRA LAYER DI SCENARI DIFFERENTI E LO SCENARIO 0 PER EVIDENZIARE NUOVI ELEMENTI CRITICI.	- 213 -
FIGURA 138: ARCHI CRITICI NELLO SCENARIO 0 PER LA CITTÀ DI BRUGHERIO.	- 231 -

FIGURA 139: NODI CRITICI NELLO SCENARIO 0 PER LA CITTÀ DI BRUGHERIO.	- 232 -
FIGURA 140: ARCHI CRITICI NELLO SCENARIO 1 PER LA CITTÀ DI BRUGHERIO.	- 234 -
FIGURA 141: NODI CRITICI NELLO SCENARIO 1 PER LA CITTÀ DI BRUGHERIO.	- 236 -
FIGURA 142: ARCHI CRITICI NELLO SCENARIO 2 PER LA CITTÀ DI BRUGHERIO.	- 238 -
FIGURA 143: ARCHI CRITICI NELLO SCENARIO 3 PER LA CITTÀ DI BRUGHERIO.	- 240 -
FIGURA 144: NODI CRITICI NELLO SCENARIO 3 PER LA CITTÀ DI BRUGHERIO.	- 242 -
FIGURA 145: ARCHI CRITICI NELLO SCENARIO 4 PER LA CITTÀ DI BRUGHERIO.	- 244 -
FIGURA 146: NODI CRITICI NELLO SCENARIO 4 PER LA CITTÀ DI BRUGHERIO.	- 246 -
FIGURA 147: ARCHI CRITICI NELLO SCENARIO 5 PER LA CITTÀ DI BRUGHERIO.	- 248 -
FIGURA 148: NODI CRITICI NELLO SCENARIO 5 PER LA CITTÀ DI BRUGHERIO.	- 250 -
FIGURA 149: ARCHI CRITICI NELLO SCENARIO 6 PER LA CITTÀ DI BRUGHERIO.	- 252 -
FIGURA 150: NODI CRITICI NELLO SCENARIO 6 PER LA CITTÀ DI BRUGHERIO.	- 254 -
FIGURA 151: ARCHI CRITICI NELLO SCENARIO 7 PER LA CITTÀ DI BRUGHERIO.	- 256 -
FIGURA 152: NODI CRITICI NELLO SCENARIO 7 PER LA CITTÀ DI BRUGHERIO.	- 258 -
FIGURA 153: ARCHI CRITICI NELLO SCENARIO 8 PER LA CITTÀ DI BRUGHERIO.	- 260 -
FIGURA 154: NODI CRITICI NELLO SCENARIO 8 PER LA CITTÀ DI BRUGHERIO.	- 262 -
FIGURA 155: ARCHI CRITICI NELLO SCENARIO 10 PER LA CITTÀ DI BRUGHERIO.	- 264 -
FIGURA 156: NODI CRITICI NELLO SCENARIO 10 PER LA CITTÀ DI BRUGHERIO.	- 266 -
FIGURA 157: ARCHI CRITICI NELLO SCENARIO 11 PER LA CITTÀ DI BRUGHERIO.	- 268 -
FIGURA 158: NODI CRITICI NELLO SCENARIO 11 PER LA CITTÀ DI BRUGHERIO.	- 270 -

INDICE DELLE TABELLE

TABELLA 1: VALORI DI K IN FUNZIONE DELLA PROBABILITÀ P (22).....	- 41 -
TABELLA 2: PRINCIPALI CARATTERISTICHE DI UN INCIDENTE.....	- 63 -
TABELLA 3: PERCENTUALI DETERMINATE DALL'ELABORAZIONE DEI DATI ISTAT 2017 SUGLI INCIDENTI STRADALI, UTILIZZANDO COME DENOMINATORE DEL RAPPORTO IL NUMERO TOTALE DI INCIDENTI AVVENUTI IN AMBITO URBANO (130.461).	- 65 -
TABELLA 4: ELENCO VALORI E RELATIVI CODICI DELLA CATEGORIA FUNZIONALITÀ DEGLI ARCHI.....	- 68 -
TABELLA 5: ELENCO VALORI E RELATIVI CODICI DELLA CATEGORIA "NUMERO DI CORSIE DEGLI ARCHI"	- 69 -
TABELLA 6: ELENCO VALORI E RELATIVI CODICI DELLA CATEGORIA SENSO DI MARCIA DEGLI ARCHI.....	- 69 -
TABELLA 7: ELENCO VALORI E RELATIVI CODICI DELLA CATEGORIA VELOCITÀ DEGLI ARCHI.	- 70 -
TABELLA 8: ELENCO VALORI E RELATIVI CODICI DELLA CATEGORIA PAVIMENTAZIONE DEGLI ARCHI.	- 71 -
TABELLA 9: ELENCO VALORI E RELATIVI CODICI DELLA CATEGORIA PISTA CICLABILE DEGLI ARCHI.	- 71 -
TABELLA 10: ELENCO VALORI E RELATIVI CODICI DELLA CATEGORIA MARCIAPIEDE DEGLI ARCHI.	- 72 -
TABELLA 11: ELENCO VALORI E RELATIVI CODICI DELLA CATEGORIA ATTRAVERSAMENTO PEDONALE DEGLI ARCHI.	- 73 -
TABELLA 12: ELENCO VALORI E RELATIVI CODICI DELLA CATEGORIA SOSTA LATERALE DEGLI ARCHI.	- 73 -
TABELLA 13: ELENCO VALORI E RELATIVI CODICI DELLA CATEGORIA CORSIA RISERVATA DEGLI ARCHI.	- 73 -
TABELLA 14: ELENCO VALORI E RELATIVI CODICI DELLA CATEGORIA FERMATA TPL DEGLI ARCHI.	- 74 -
TABELLA 15: RIASSUNTO DI TUTTE LE CATEGORIE E TUTTI I CODICI, IN FORMA ORDINATA, CHE DEFINISCONO UN ARCO	- 76 -
TABELLA 16: ELENCO DEI VALORI E DEI CODICI DELLA CATEGORIA CARATTERISTICA DELLA STRADA DEI NODI	- 78 -
TABELLA 17: ELENCO DEI VALORI E DEI CODICI DELLA CATEGORIA NUMERO DI RAMI CONVERGENTI DEI NODI	- 78 -
TABELLA 18: ELENCO DEI VALORI E DEI CODICI DELLA CATEGORIA NUMERO DI RAMI CONVERGENTI DEI NODI	- 79 -
TABELLA 19: ELENCO DEI VALORI E DEI CODICI DELLA CATEGORIA VELOCITÀ DEI NODI	- 79 -
TABELLA 20: ELENCO DEI VALORI E DEI CODICI DELLA CATEGORIA PAVIMENTAZIONE DEI NODI.....	- 80 -
TABELLA 21: ELENCO DEI VALORI E DEI CODICI DELLA CATEGORIA PISTA CICLABILE DEI NODI	- 80 -
TABELLA 22: ELENCO DEI VALORI E DEI CODICI DELLA CATEGORIA NUMERO DI ATTRAVERSAMENTI PEDONALI DEI NODI	- 81 -
TABELLA 23: RIASSUNTO DI TUTTE LE CATEGORIE E TUTTI I CODICI, IN FORMA ORDINATA, CHE DEFINISCONO UN NODO.	- 82 -
TABELLA 24: TABELLA RIASSUNTIVA DEGLI SCENARI DI BASE ELABORATI.....	- 86 -
TABELLA 25: DATI DI BASE PER LA REALIZZAZIONE DELL'ESEMPIO	- 94 -
TABELLA 26: ELABORAZIONE DELLA PRECEDENTE TABELLA PER IL CALCOLO DEI BLACK-SPOT SECONDO IL CRITERIO NUMERICO	- 94 -
TABELLA 27: DEFINIZIONE DI UN FERITO GRAVE IN ALCUNI STATI EUROPEI (51)	- 96 -
TABELLA 28: COSTO MEDIO UMANO PER DECESSO (51).....	- 97 -
TABELLA 29: COSTO MEDIO UMANO PER FERITO GRAVE E LIEVE (51).....	- 97 -
TABELLA 30: COSTO MEDIO UMANO PER FERITO (51).	- 97 -
TABELLA 31: DETTAGLIO DEL DANNO PATRIMONIALE (51).	- 97 -
TABELLA 32: DETTAGLIO DEI COSTI AMMINISTRATIVI (51).....	- 98 -
TABELLA 33: COSTI GENERALI MEDI PER INCIDENTE (51).....	- 98 -
TABELLA 34: COSTO MEDIO SOCIALE PER INCIDENTI PDO.	- 98 -
TABELLA 35: COSTO SOCIALE MEDIO PER INCIDENTE MORTALE (51).....	- 98 -
TABELLA 36: COSTO SOCIALE MEDIO PER INCIDENTE GRAVE (51).....	- 99 -
TABELLA 37: SVILUPPO DELL'ESEMPIO SUL CALCOLO DEL CRITERIO SULLE LESIONI.....	- 100 -
TABELLA 38: ESEMPIO DI APPLICAZIONE DEL CRITERIO TEMPORALE TRAMITE ANALISI DEL TREND.	- 105 -
TABELLA 39: ESEMPIO DI APPLICAZIONE DEL CRITERIO TEMPORALE BASATO SULLA RICORSIVITÀ.	- 106 -
TABELLA 40: TABELLA CHE RIASSUME CHI È ENTRATO IN CLASSIFICA COME PUNTO NERO.	- 107 -
TABELLA 41: TABELLA CHE RIASSUME I PRECEDENTI VALORI UTILI ALLA DEFINIZIONE DEI PUNTEGGI.	- 110 -
TABELLA 42: CALCOLO DEI PUNTEGGI E DETERMINAZIONE DELLA CLASSIFICA.	- 110 -
TABELLA 43: ELEMENTI ORDINATI IN SECONDO LA CLASSIFICA O LA PRIORITÀ D'INTERVENTO.	- 111 -
TABELLA 44: RIEPILOGO CARATTERISTICHE DELLE METODOLOGIE PER L'ASSOCIAZIONE DEGLI INCIDENTI ALLA RETE STRADALE.	- 153 -
TABELLA 45: ESPRESSIONI PER LA SELEZIONE DEGLI INCIDENTI APPARTENENTI AD OGNI SCENARIO.	- 155 -

TABELLA 46: SCHEMATIZZAZIONE DELLA TEMATIZZAZIONE PRESENTE NEL MODELLO “ANALISI AGGREGATA”	- 179 -
TABELLA 47: STATISTICHE SUL DATO DEGLI INCIDENTI, LE PERCENTUALI SI RIFERISCONO AL TOTALE DEGLI INCIDENTI (1.169), FONTE POLIZIA LOCALE BRUGHERIO.	- 192 -
TABELLA 48: TABELLA RIASSUNTIVA DEI DATI SULL'ASSOCIAZIONE DEGLI INCIDENTI, LE PERCENTUALI FANNO RIFERIMENTO AL TOTALE DI 1169 INCIDENTI.....	- 194 -
TABELLA 49: PERCENTUALI (SUL TOTALE DEGLI INCIDENTI AVVENUTI IN AMBITO URBANO) DEI SINISTRI A DIFFERENTI SCALE GEOGRAFICHE E DIVISI PER NATURA DELL'INCIDENTE.	- 198 -
TABELLA 50: PERCENTUALI (SUL NUMERO DI INCIDENTI AVVENUTI IN AMBITO URBANO) DEI SINISTRI A DIFFERENTI SCALE GEOGRAFICHE DIVISI SECONDO I VALORI DEL CAMPO “INTERSEZIONE O NON INTERSEZIONE” DEL TRACCIATO RECOR ISTAT 2019.	- 199 -
TABELLA 51: PERCENTUALI (SUL TOTALE DEGLI INCIDENTI AVVENUTI IN AMBITO URBANO) DEI SINISTRI A DIFFERENTI SCALE DIVISI PER GLI SCENARI PROPOSTI NEL CAPITOLO 3.	- 200 -
TABELLA 52: COEFFICIENTE ANGOLARE (M) DELLA RETTA DI REGRESSIONE PER OGNI TIPOLOGIA DI SCENARIO PRESENTATO NEL CAPITOLO 3 PER GLI INCIDENTI AVVENUTI NEGLI ULTIMI 5 O 10 ANNI A BRUGHERIO.	- 201 -
TABELLA 53: STATISTICHE DEI NODI PIÙ CRITICI PER LO SCENARIO 0.....	- 233 -
TABELLA 54: STATISTICHE DEGLI ARCHI PIÙ CRITICI PER LO SCENARIO 1.	- 235 -
TABELLA 55: STATISTICHE DEI NODI PIÙ CRITICI PER LO SCENARIO 1.....	- 237 -
TABELLA 56: STATISTICHE DEGLI ARCHI PIÙ CRITICI PER LO SCENARIO 2.	- 239 -
TABELLA 57: STATISTICHE DEGLI ARCHI PIÙ CRITICI PER LO SCENARIO 3.	- 241 -
TABELLA 58: STATISTICHE DEI NODI PIÙ CRITICI PER LO SCENARIO 3.....	- 243 -
TABELLA 59: STATISTICHE DEGLI ARCHI PIÙ CRITICI PER LO SCENARIO 4.	- 245 -
TABELLA 60: STATISTICHE DEI NODI PIÙ CRITICI PER LO SCENARIO 4.....	- 247 -
TABELLA 61: STATISTICHE DEGLI ARCHI PIÙ CRITICI PER LO SCENARIO 5.	- 249 -
TABELLA 62: STATISTICHE DEI NODI PIÙ CRITICI PER LO SCENARIO 5.....	- 251 -
TABELLA 63: STATISTICHE DEGLI ARCHI PIÙ CRITICI PER LO SCENARIO 6.	- 253 -
TABELLA 64 STATISTICHE DEI NODI PIÙ CRITICI PER LO SCENARIO 6.....	- 255 -
TABELLA 65: STATISTICHE DEGLI ARCHI PIÙ CRITICI PER LO SCENARIO 7.	- 257 -
TABELLA 66: STATISTICHE DEI NODI PIÙ CRITICI PER LO SCENARIO 7.....	- 259 -
TABELLA 67: STATISTICHE DEGLI ARCHI PIÙ CRITICI PER LO SCENARIO 8.	- 261 -
TABELLA 68: STATISTICHE DEI NODI PIÙ CRITICI PER LO SCENARIO 8.....	- 263 -
TABELLA 69: STATISTICHE DEGLI ARCHI PIÙ CRITICI PER LO SCENARIO 10.	- 265 -
TABELLA 70: STATISTICHE DEI NODI PIÙ CRITICI PER LO SCENARIO 10.....	- 267 -
TABELLA 71: STATISTICHE DEGLI ARCHI PIÙ CRITICI PER LO SCENARIO 11.	- 269 -
TABELLA 72: STATISTICHE DEI NODI PIÙ CRITICI PER LO SCENARIO 11.....	- 271 -

ABSTRACT

Nel 2018 nell'Unione Europea, secondo le stime di ISTAT, sono deceduti per incidente stradale 25.100 persone, con una riduzione del 21% rispetto al 2010 ma solo dell'1% se confrontate con l'anno precedente.

Le cause degli eventi incidentali sono ascrivibili principalmente al fattore umano. Nello studio "Metodi quantitativi per la gestione della sicurezza stradale" (16), infatti, si stima che la percentuale di eventi incidentali la cui causa o concausa risulta connessa a questo fattore sia pari a circa il 93%. Lo stesso studio evidenzia come anche l'ambiente stradale contribuisca nel 35% delle casistiche.

L'individuazione delle principali problematiche di sicurezza stradale e degli elementi della rete maggiormente critici risulta spesso complessa, poiché gli aspetti da tenere in considerazione sono vari. Tra questi è possibile annoverare quelli strutturali e funzionali della strada, l'interazione tra le differenti utenze della strada e i fattori esterni (gli eventi meteorologici, per esempio). Per questo motivo i soggetti chiamati ad intervenire in ambito di sicurezza stradale potrebbero utilmente avvalersi di strumenti di supporto alle decisioni che facilitino l'accesso, la consultazione e l'elaborazione di dati incidentali.

Con questo elaborato si vuole proporre lo sviluppo di un modello teorico che sia alla base di un'applicazione pratica dello strumento di supporto alle decisioni. La struttura del modello presenta, inizialmente, i dati relativi agli incidenti e alle caratteristiche degli elementi della rete stradale, quindi sviluppa un'analisi aggregata del territorio per individuare black-spot tramite un set di criteri distinti (riferiti al numero di incidenti, alle lesioni riportate e alla serie storica). La funzionalità sviluppata, inoltre, permette di definire priorità di intervento tramite una classificazione, che risulta flessibile grazie ad alcuni parametri definibili dal decisore.

Lo strumento operativo sviluppato è stato implementato in ambiente GIS di tipo open source (QGIS), con particolare attenzione agli aspetti di automazione, flessibilità e scalabilità, comprensibilità e chiarezza dei risultati ottenibili.

Per opportuna verifica della validità del modello teorico e della funzionalità dello strumento implementato, è stato analizzato il caso studio relativo al Comune di Brugherio (MB). Tale field test ha permesso una valutazione critica dei risultati ottenuti, elementi di forza e di debolezza relativi all'applicazione dello strumento per finalità di sicurezza stradale e i possibili sviluppi del lavoro, che riguardano l'analisi della concentrazione dei black-spot e delle loro interazioni nei confronti di alcuni elementi strutturali della rete stradale.

CAPITOLO 1: INTRODUZIONE

Nel 2018 il rapporto della World Health Organization (WHO) evidenzia come nel mondo si siano registrate più di 1,35 milioni di vittime a seguito di un incidente stradale (1). Lo stesso documento riporta, inoltre, che gli incidenti stradali rappresentano l'ottava causa di morte nel mondo (1) con una tendenza al peggioramento: nel 2015 era in nona posizione.

Tuttavia, nel mondo emergono anche significative differenze, soprattutto nel grado di sviluppo dell'economia, tra regioni, in tale contesto si evidenziano disparità anche nell'incidentalità stradale (1). La regione europea, infatti, presenta il tasso di mortalità (pari a 9,3 nel 2016 (1)) più basso rispetto ad altre aree del mondo, poiché questa regione comprende una percentuale elevata di nazioni sviluppate.

Nonostante nel contesto europeo si registrano dati meno penalizzanti rispetto ad altri contesti e con una tendenza decrescente del numero di vittime per incidenti stradali dal 2010 ad oggi, bisogna considerare che nel 2018 ci sono stati comunque circa 25.100 decessi a causa di un incidente stradale (2). Dal 2013 si riscontra una decrescita, del numero di eventi, sempre meno evidente che rende l'obiettivo di dimezzare il numero di vittime della strada entro il 2020 (3) non ragionevolmente perseguibile.

Le stesse considerazioni sviluppate per l'Unione Europea sono riferibili anche al contesto italiano; analogamente infatti, nel 2018, il numero di incidenti, di feriti e di morti sulle strade risulta in calo rispetto all'anno precedente (4). Questo dato, però, non è sufficiente per permettere il raggiungimento del target 2020 di riduzione del 50% delle vittime del 2010 (5) (nel 2018 i decessi in Italia sono stati 3.325 contro i 4.114 del 2010 (4)). Il tasso di mortalità, indicatore utile per confronti tra differenti nazioni, mostra che tra i 28 paesi membri dell'Unione Europea, l'Italia è solo al 16° posto, con un tasso di mortalità di 55 vittime per un milione di abitanti (superiore alla media europea di 49,1) (4). Questo conferma come in Italia siano necessari ulteriori politiche orientate ad una maggiore tutela delle utenze che fruiscono dello spazio stradale.

Le principali problematiche che attualmente si evidenziano in relazione alla sicurezza stradale in ambito nazionale ed europeo riguardano gli utenti vulnerabili (cioè i pedoni, i ciclisti e i motociclisti), il principale coinvolgimento di alcune fasce d'età della popolazione, come i giovanissimi (fino ai 29 anni) e i più anziani (sopra i 65 anni), e alcuni particolari fattori e comportamenti del conducente che possono causare un incidente stradale.

Gli utenti deboli della strada rappresentano circa la metà delle vittime degli incidenti; in Europa, nel 2017, il dato si attestava intorno al 47% (2) mentre in Italia al 49,8% (6). Si presentano alcune peculiarità nazionali, tra cui, per esempio, il numero di motociclisti deceduti, che in Italia nel 2018 sono risultati superiori del 5,8% rispetto a quelli dell'Unione Europea nel 2017. Altrettanto negativo è il continuo incremento dal 2016 ad oggi, in Italia, del numero di vittime tra i pedoni.

Secondo il rapporto WHO del 2018, gli incidenti stradali rappresentano la prima causa di morte per la fascia d'età tra i 5 e i 29 anni (1). Questa problematica è più ridotta

nell'area europea e italiana, dove tra le vittime, oltre ai giovanissimi, si trovano anche gli anziani (over 65 anni); a questo proposito in Europa tra il 2010 e il 2017 si è rilevato un incremento di 10 punti percentuali di vittime appartenenti a questa fascia d'età.

Infine, tra le principali cause di incidenti in Italia si registrano, nel 2018 come anche negli anni precedenti, il superamento dei limiti di velocità, il mancato rispetto delle regole di circolazione (tra cui i segnali di stop e precedenza e le segnalazioni semaforiche) e la distrazione.

L'efficacia di possibili interventi di carattere politico, gestionale ed infrastrutturale orientati ad un incremento della sicurezza sulle strade può utilmente beneficiare di una maggiore e sempre più approfondita conoscenza del fenomeno incidentale. Quale che sia la natura degli interventi, questi dovrebbero essere attuati, in un contesto di risorse limitate, sulla base di una logica di priorità che dovrebbe essere suggerita da uno strumento di supporto di tipo analitico e quanto più possibile rigoroso e oggettivo.

L'elemento di partenza di questo supporto alle decisioni è rappresentato dalle analisi di sicurezza stradale che, agendo a differenti scale, permettono di individuare quali sono le aree dove si concentrano maggiormente gli eventi incidentali. Analizzando poi le similitudini tra gli incidenti appartenenti alla stessa zona critica, è possibile ipotizzare delle soluzioni per l'incremento di sicurezza e suggerire anche possibili risultati di un futuro intervento.

Tali analisi risultano particolarmente complesse in ambito urbano, in virtù della eterogeneità delle utenze coinvolte negli eventi incidentali, per le peculiarità territoriali, per la disponibilità e quantità di dati relativi agli incidenti e per la presenza di diversi elementi che caratterizzano la rete in tale contesto. Tra questi elementi di rete è possibile individuare i "nodi", cioè le intersezioni, e gli "archi", cioè i tratti di strada, entrambi con proprie caratteristiche come le regole di circolazione e il numero di rami per le intersezioni e la pavimentazione, i limiti di velocità, la presenza del marciapiede, della pista ciclabile o degli attraversamenti pedonali per i tratti rettilinei.

Le analisi possono utilmente essere affiancate e condotte con l'ausilio di sistemi di supporto alle decisioni, strumenti diffusi e applicati in svariate discipline (7). In questo ambito, creando un sistema automatizzato per l'analisi degli eventi incidentali, sarà possibile fornire in tempi brevi degli output che permettono di orientare priorità e tipologia degli interventi sulle principali problematiche che interessano, secondo criteri oggettivi e quantificabili, gli ambiti territoriali. Le caratteristiche principali di questi strumenti, proprie anche di quello creato per questo elaborato, sono l'interattività e l'immediata comprensione dei risultati mentre l'utilizzo principale sarà quello di fornire un valido aiuto nella allocazione delle risorse, principalmente economiche, sulla base di un ranking di priorità.

Questo elaborato si prefissa come obiettivo generale la definizione di un metodo, che è la base di ogni strumento di questo tipo, che permetta di analizzare gli elementi di una rete stradale, a cui sono stati associati gli eventi incidentali di un periodo, attraverso dei criteri che considerano differenti aspetti del dato. Grazie a questa prima valutazione si otterrà un primo risultato: la determinazione dei black-spot, ossia elementi della rete stradale che presentano un valore, relativo ad un indicatore scelto,

superiore alla media del territorio. Infine, nel modello si presenterà anche una funzione per la classificazione dei punti critici evidenziati per definire un ordine di intervento.

Lo strumento che si propone è un sistema di supporto alle decisioni per la definizione di politiche ed interventi di sicurezza stradale. Per conseguire questo scopo, lo strumento dovrà ricevere in ingresso una rete stradale composta da elementi con fissate caratteristiche e un set di dati che contiene tutte le informazioni sugli incidenti avvenuti in determinato intervallo temporale. Successivamente verranno ricercati e classificati i black-spot tramite dei criteri che potranno essere definiti dall'utente, per meglio adattarsi alle sue esigenze. Lo strumento verrà implementato tramite software GIS, che permette sia di visualizzare i risultati su una mappa, per poter comprendere in modo semplice e intuitivo i risultati, che di interagire con questi.

Gli obiettivi che ci si propone sono di affrontare alcuni elementi di debolezza che caratterizzano gli approcci attuali, quali, ad esempio l'analisi congiunta di elementi della rete stradale con caratteristiche differenti e la definizione delle priorità di intervento. Elementi peculiari del metodo e dello strumento sviluppati sono pertanto:

- Il ricorso a una rete stradale informatizzata formata da elementi che possano essere analizzati e confrontati tra loro nel caso in cui le caratteristiche strutturali e funzionali risultino simili;
- L'utilizzo di una funzione per la determinazione dei black-spot di tipo multicriterio;
- L'inclusione di un criterio che consideri l'andamento degli incidenti negli anni e, quindi, la serie storica degli eventi, per evidenziare elementi che superino soglie di allerta o attenzione in merito all'aumento dei sinistri o a un problema di ricorsività per specifiche categorie di utenti o tipologie incidentali;
- Una funzione finale che, oltre a fornire, tra i punti neri evidenziati, una scala delle priorità, lo possa fare seguendo le necessità dell'utente di considerare alcuni indicatori più rilevanti degli altri.

L'impianto generale del sistema di supporto alle decisioni, per concludere, sarà basato in modo da perseguire criteri di flessibilità, replicabilità e scalabilità, per risultare funzionale ad esigenze e necessità dei soggetti fruitori.

CAPITOLO 2: STATO DELL'ARTE

Nel primo capitolo di questo elaborato verranno inizialmente presentati aspetti quantitativi e numerici caratterizzanti il fenomeno dell'incidentalità stradale a differenti scale (nel mondo, in Europa e in Italia) e le caratteristiche delle banche dati disponibili per la consultazione delle informazioni relative a questi eventi. Successivamente si descriveranno le principali tipologie di analisi di incidentalità, seguendo lo schema di quali dati sono necessari, quali sono le funzioni e i criteri per l'analisi e i risultati prodotti. In particolare, si presenteranno le analisi che si possono condurre tramite strumenti GIS e alcuni casi studio. Infine, verranno presentate l'evoluzione e le caratteristiche dei sistemi di supporto alle decisioni.

CAPITOLO 3: MODELLO

Il capitolo presenterà la mappa concettuale del modello del sistema di supporto alle decisioni da realizzare. Verrà, quindi, formulata una spiegazione teorica di tutti gli input, processi e output che lo compongono: i principali dati necessari come input, le regole per la costruzione della rete stradale da analizzare, le problematiche legate all'associazione degli incidenti alla rete, la possibilità di decidere se analizzare tutti gli incidenti o solo una parte di essi, i criteri per l'individuazione dei black-spot e l'output del modello, cioè la classificazione di questi elementi critici.

CAPITOLO 4: STRUMENTI E PROCEDURE

Si descriverà la realizzazione e l'implementazione del modello presentato nel capitolo 3. In particolare, si descriveranno tutti i software e le funzioni che saranno utilizzate, i problemi riscontrati, le possibili soluzioni e i possibili cambiamenti apportati al modello teorico, necessari per l'implementazione in un linguaggio informatico dello strumento. A modello implementato, verranno descritti gli input necessari all'analisi (dati di base e altre informazioni legate alle necessità dell'utente) e i possibili output prodotti, con l'utilizzo di alcuni esempi.

CAPITOLO 5: CASO DI STUDIO

Il capitolo descriverà il caso di studio, che permetterà di verificare se quanto sviluppato come modello e realizzato con uno strumento vero e proprio, tramite dati reali, produce dei risultati in linea con le aspettative. Inizialmente si presenterà l'area relativa al caso di studio, costituita dal Comune di Brugherio, la tipologia dei dati a disposizione e un esempio di analisi di sicurezza tradizionale per inquadrare la città dal punto di vista dell'incidentalità stradale. In seguito, verranno illustrate le eventuali modifiche da apportare al modello perché meglio si adatti a questa realtà e, infine, verrà utilizzato lo strumento di supporto alle decisioni per condurre un'analisi d'incidentalità tramite GIS della città, analizzando criticamente i risultati prodotti e i loro possibili usi.

APPENDICE A

Contiene degli esempi di schede di rilevazione degli incidenti utilizzate in vari paesi.

APPENDICE B

Si elencano e descrivono tutte le funzioni utilizzate nel "calcolatore di campi" di QGIS per realizzare il modello.

APPENDICE C

Presenta tutti gli output del sistema di supporto alle decisioni che sono stati prodotti per la città di Brugherio. Per ognuno di questi saranno analizzati i black-spot più significativi.

CAPITOLO 2: STATO DELL'ARTE

In questo capitolo viene presentata una breve sintesi dei principi e delle caratteristiche delle analisi d'incidentalità stradale. Particolare attenzione viene data all'evoluzione che tali analisi hanno sperimentato grazie all'introduzione di sistemi di analisi territoriale in ambiente GIS e all'integrazione di questi con sistemi di supporto alle decisioni. Parallelamente all'introduzione della tematica, tale presentazione consente l'identificazione di possibili elementi suscettibili di avanzamento e miglioramento attraverso ricerche e sviluppi.

2.1 L'INCIDENTALITÀ STRADALE

Il primo paragrafo di questo elaborato descriverà il fenomeno degli incidenti stradali a differenti scale; quindi, si analizzeranno i numeri dell'incidentalità stradale in merito alla tipologia di lesioni riportate, alle utenze deboli, alle classi di età più esposte e alle principali cause prima a livello mondiale, poi nell'ambito delle nazioni appartenenti all'Unione Europea ed infine nel contesto italiano.

Si ricorda che la definizione di incidente stradale è stata stabilita dalla convenzione di Vienna del 1968 come: “Un evento verificatosi nelle vie o nelle piazze aperte alla circolazione in cui rimangono coinvolti veicoli, esseri umani o animali fermi o in movimento e dal quale derivino lesioni a cose, animali o a persone.” Successivamente alcune sentenze della Cassazione penale sezione IV hanno giudicato l'incidente stradale come la “mera fuoriuscita dell'autovettura dalla sede stradale” [sentenza 16 febbraio 2012 n°6381 (8)] o “sia l'urto del veicolo contro un ostacolo “[sentenza 31 ottobre 2012 n° 42488 (8)].

2.1.1 MONDO

I dati riportati in questo paragrafo sono stati divulgati nel “Global Status Report on Road safety” del 2018 dalla World Health Organization (WHO) (1), l'organizzazione che a livello mondiale gestisce e analizza questa tipologia di dato e pubblica ogni tre anni il suddetto rapporto.

I dati sugli incidenti relativi al 2018, pur essendo ancora provvisori, mostrano come i decessi siano stati 1.354.840, una cifra elevata che fa del fenomeno dell'incidentalità l'ottava causa di morte nel mondo, scavalcando malattie come HIV/AIDS o la tubercolosi (figura 1).

Rank	Cause	% of total deaths
All Causes		
1	Ischaemic heart disease	16.6
2	Stroke	10.2
3	Chronic obstructive pulmonary disease	5.4
4	Lower respiratory infections	5.2
5	Alzheimer's disease and other dementias	3.5
6	Trachea, bronchus, lung cancers	3.0
7	Diabetes mellitus	2.8
8	Road traffic injuries	2.5
9	Diarrhoeal diseases	2.4
10	Tuberculosis	2.3

Figura 1: Leading causes of death, all ages, 2016 (1)

Ovviamente, sapendo che ogni ventiquattro secondi nel mondo una persona muore poiché coinvolta in un incidente stradale, si può capire come il dato sia particolarmente preoccupante e lo diventi sempre di più venendo a conoscenza del fatto che il trend è in aumento.

È doveroso anche riportare che, nonostante ci sia questo trend in aumento, sia il tasso di mortalità per 100.000 persone e quello per 100.000 veicoli risultano stabili o in diminuzione, nonostante sia la popolazione che il numero di veicoli sono in aumento (figura 2).

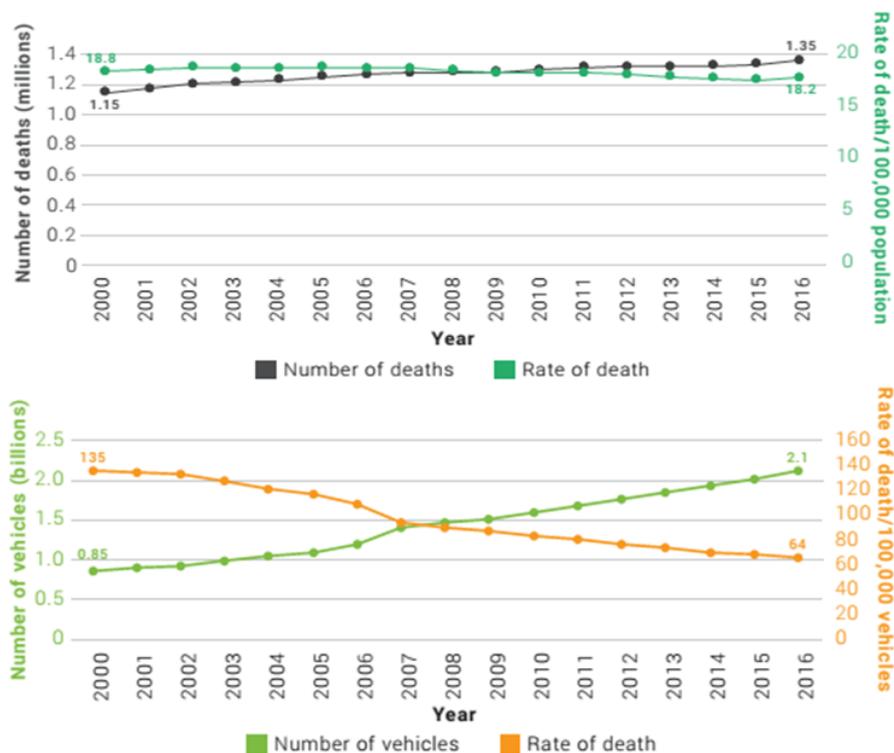


Figura 2: “Number and rate of road traffic death per 100,000 population: 2000–2016” (1) (in alto), “Number of motor vehicles and rate of road traffic death per 100,000 vehicles: 2000–2016” (1) (in basso).

Il fenomeno non è omogeneo, infatti i paesi più a rischio sono quelli in via di sviluppo (dove avviene l’80% dei decessi) e quelli sottosviluppati che, in confronto alla popolazione e al numero di veicoli immatricolati, presentano un numero di morti più elevato. Una descrizione più precisa del fenomeno è riportata nel seguente diagramma di figura 3.

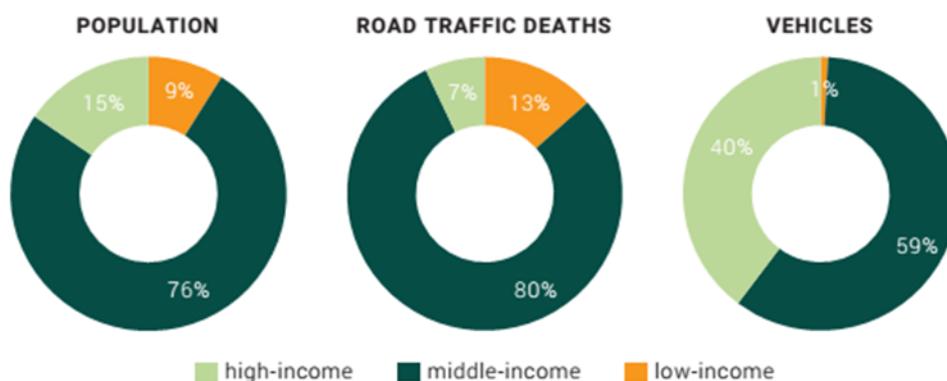


Figura 3: “Proportion of population, road traff deaths, and registered motor vehicles by country income category, 2016” (1)

L'Europa, infatti, che presenta un alto numero di paesi sviluppati, ha il tasso di mortalità più basso nel mondo e con tendenza alla diminuzione (figura 4).

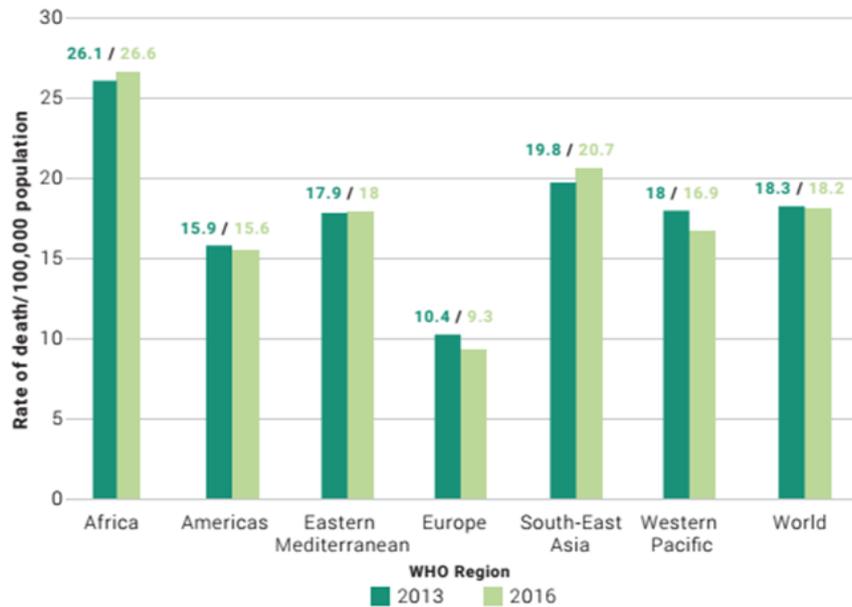


Figura 4: "Rates of road traffic death per 100,000 population by WHO regions: 2013, 2016" (1).

Gli "attori" principali in relazione al fenomeno dell'incidentalità sono le utenze deboli, cioè gli utenti della strada che per la differenza di massa o di protezioni in un incidente rischiano di subire le ferite più gravi. Essi rappresentano, infatti, il 54% delle morti per incidenti stradali nel mondo, con un aumento in alcune regioni e sostanziali differenze tra le percentuali di pedoni, ciclisti e 2-3 ruote a motore a seconda delle abitudini di mobilità, come testimonia la seguente figura 5.

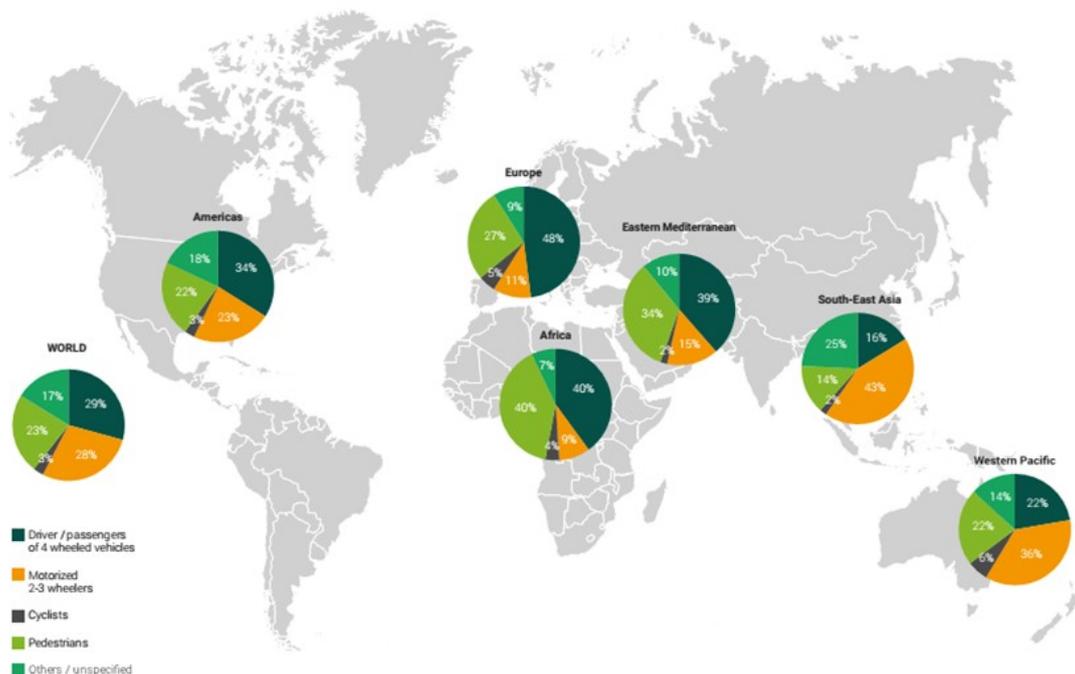


Figura 5: “Distribution of deaths by road user type by WHO Region” (1).

Purtroppo, se si analizza l’incidentalità stradale per fasce d’età, si nota che tra le età più colpite ci sono i giovani e gli anziani; in particolare si evidenzia che per i primi, cioè le persone comprese nella fascia di età 5-29 anni, gli incidenti stradali rappresentano la prima causa di morte nel mondo (1).

In seguito alla lettura e al monitoraggio dei dati, molte nazioni si sono adoperate, come riportato sempre nel rapporto WHO per cercare le possibili cause dell’incidentalità e intervenire dove necessario. Nel Settembre 2015 l’ONU ha adottato alcuni obiettivi sul tema, che fanno parte dell’Agenda dello Sviluppo Sostenibile da evadere entro il 2030 e successivamente, nel Novembre 2017, gli stati membri hanno adottato dodici obiettivi volontari (“Voluntary Global Performance Target”) per contrastare il fenomeno dell’incidentalità (1). I principali target sono elencati di seguito:

- Gestione dei limiti di velocità; la velocità, infatti, è la prima causa di incidente e per questo motivo si sta cercando di adottare il limite di 50 km/h negli ambiti urbani e di ridurlo a 30 km/h nei punti più critici, come nei pressi delle scuole o delle chiese.
- Contrasto alla guida in stato di alterazione psicofisica, soprattutto per effetto di alcool o sostanze stupefacenti.
- Aumentare l’utilizzo del casco dato che il suo mancato uso, oggi, è la prima causa di morte per la categoria motociclisti e dato che questa categoria di utenti è in aumento.
- Incentivare l’utilizzo delle cinture di sicurezza e dei dispositivi di protezione dei bambini come passeggeri, che contribuirebbero a ridurre la mortalità della categoria del 60%.

- Ridurre il fenomeno del momento, cioè la guida distratta, mostrando anche i dati a riguardo come il fatto che l'uso del telefono aumenta di quattro volte il rischio di incidente mentre un SMS aumenta lo stesso rischio di ben 23 volte.

Questo elenco riporta esclusivamente una serie di comportamenti scorretti dell'utente che possono causare un incidente. Nonostante il comportamento umano risulti la principale componente di causa dell'incidentalità, non bisogna dimenticare quanto sia importante anche il miglioramento degli standard di sicurezza di veicoli ed infrastrutture. A tal proposito, per quest'ultima categoria, la WHO definisce l'importanza di costruire spazi dedicati alle utenze deboli dove siano protetti, di avere un criterio con cui costruire le infrastrutture perché si adeguino alle nuove esigenze di mobilità, di incentivare il trasporto pubblico e di investire nell'analisi degli incidenti dato che questi, in ambito urbano, avvengono solo sul 10% di tutta la rete stradale. Ciò significa che gli interventi per migliorare la sicurezza stradale possono essere mirati ai solo luoghi dove effettivamente ce ne sia una necessità, da qui nasce l'esigenza di dati per supportare questi interventi.

2.1.2 UNIONE EUROPEA (EU 28)

Il database dell'Unione Europea, cioè il CARE (Common database on Accidents on the Road in Europe) (2), ha registrato 25.100 decessi nel 2018 e, anche se le stime sono preliminari, si può affermare che c'è stato un calo rispetto al 2017. Infatti, il tasso di mortalità (n° di morti/1.000.000ab) è passato da 49,7 a 49,1. Anche nel lungo periodo sembra che ci sia stata una diminuzione di decessi (-20% di morti tra il 2017 e il 2010) ma è anche vero che il target del 2020 di 15.750 morti è molto lontano (nel 2010 l'Unione Europea aveva fissato che in 10 anni avrebbe dovuto dimezzare il numero di morti sulle strade di tutti i suoi paesi membri); infatti, come si può notare nel grafico seguente (Figura 6), fino al 2013 la riduzione era in linea con gli obiettivi poi ha subito un rallentamento.

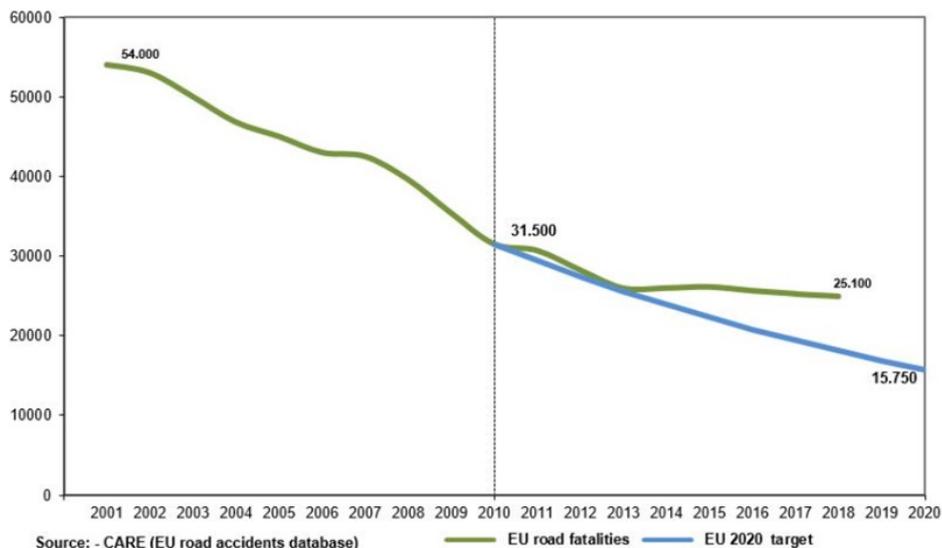


Figura 6: "Development over time: reduction of road accident fatalities in the EU" (2)

Le utenze deboli coinvolte in incidenti sono il 47% degli utenti totali deceduti nel 2017, con la suddivisione in 21% pedoni, 18% due ruote a motore e 8% ciclisti; queste

percentuali aumentano se ci si trasferisce in ambito urbano, dove queste utenze rappresentano il 70% dei deceduti con particolare aumento nei pedoni (40%). Di seguito sono inseriti i grafici che presentano il fenomeno in tutte le sue sfaccettature (figura 7).

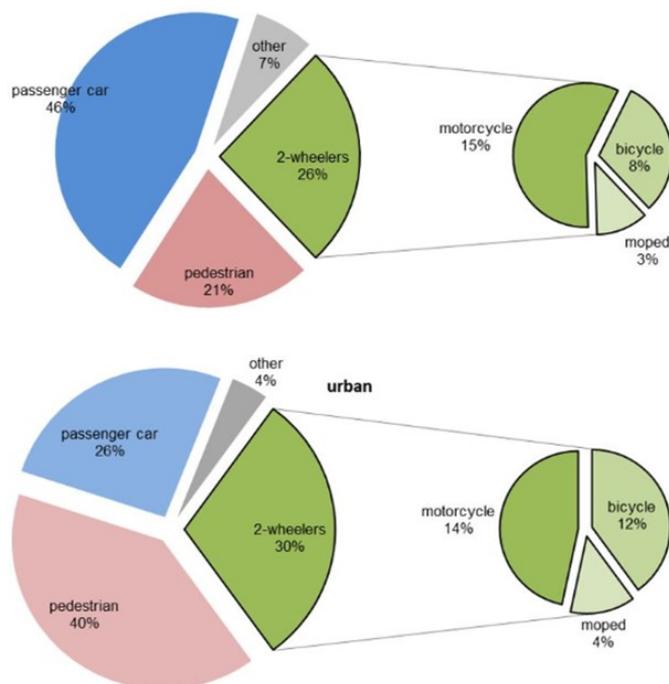


Figura 7: “Road fatalities in the EU by transport mode in 2017” (in alto) (2), “Percentage of road fatalities on urban roads by means of transport in 2017” (in basso) (2).

Anche nell’EU 28 i giovanissimi non sono al sicuro sulle strade, infatti, nonostante la popolazione appartenente alla fascia d’età 18-24 sia l’8% di quella totale, i morti per incidenti stradali sono stati, nel 2017, il 14%. All’estremità opposta troviamo la popolazione più anziana (over 65 anni) che era rappresentata dal 18% di decessi nel 2010, percentuale che nel 2017 ha raggiunto il 28%: si assume che questo incremento sia dovuto solo in parte all’invecchiamento della popolazione (solo +2,4% in Unione Europea tra il 2007 e il 2017 (9)). Nella figura 8 si riporta il dato completo.

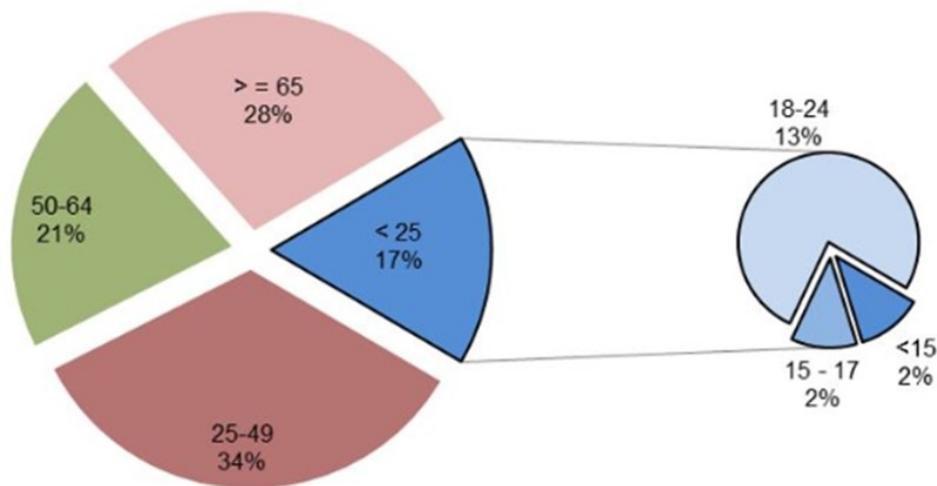


Figura 8: "Road fatalities in the EU by age in 2017" (2).

2.1.3 ITALIA

L'ISTAT, istituto nazionale di statistica, insieme ad ACI, Automobile Club d'Italia, ha registrato nel 2018 172.344 incidenti, 242.621 feriti e 3.325 deceduti sulle strade italiane, con un calo rispettivamente del 1,5%, 1,7% e 1,6% rispetto all'anno precedente, il 2017 (4).

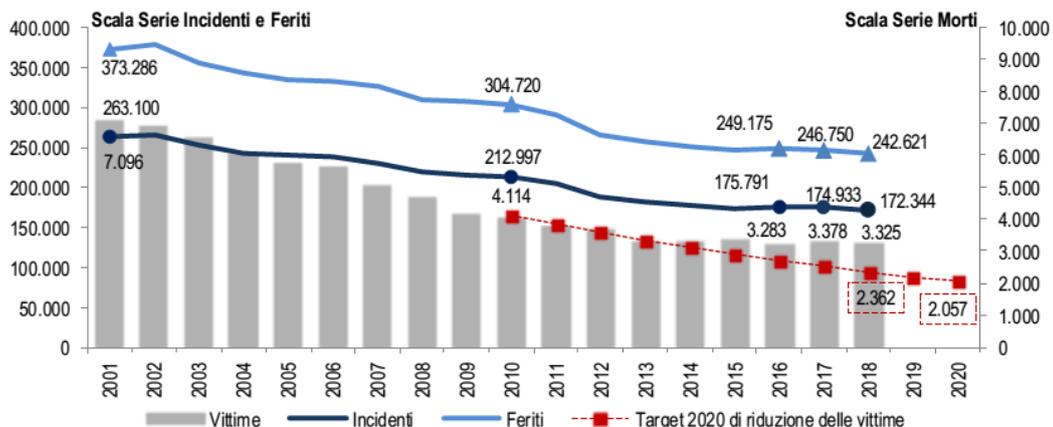


Figura 9: "INCIDENTI STRADALI CON LESIONI A PERSONE, MORTI E FERITI. Anni 2001 - 2018, valori assoluti" (4).

Bisogna precisare che se gli incidenti e i feriti sono in continuo calo dal 2010, i morti rimangono di 42 unità¹ superiori a quelli del 2016. Attraverso l'analisi del tasso di mortalità si può fare un confronto con gli altri paesi membri dell'Unione Europea: nel 2016 l'Italia occupava la 14^a posizione (tasso 54,2), nel 2017 la 18^a posizione (tasso 55,8) e nel 2018 la 16^a posizione (tasso 55).

Le morti per incidenti stradali tra le utenze deboli rappresentano il 48,7% che rispetto all'EU 28 (47%) sono maggiori. Preoccupante è il continuo aumento dei deceduti tra i

¹ Si tenga in considerazione anche i tragici eventi del 14 Agosto 2018 in cui a Genova, Italia persero la vita 43 persone a causa del crollo del ponte Morandi sulla A10 Genova-Savona-Ventimiglia.

pedoni (nel confronto 2018/2017 si raggiunge un +1,5% quando nel confronto 2017/2016 era già aumentato del +5,3%) e le morti tra gli utenti con mezzi a due ruote a motore, dove si registra il 23,8% contro il 18% dell'EU28 (figura 10).

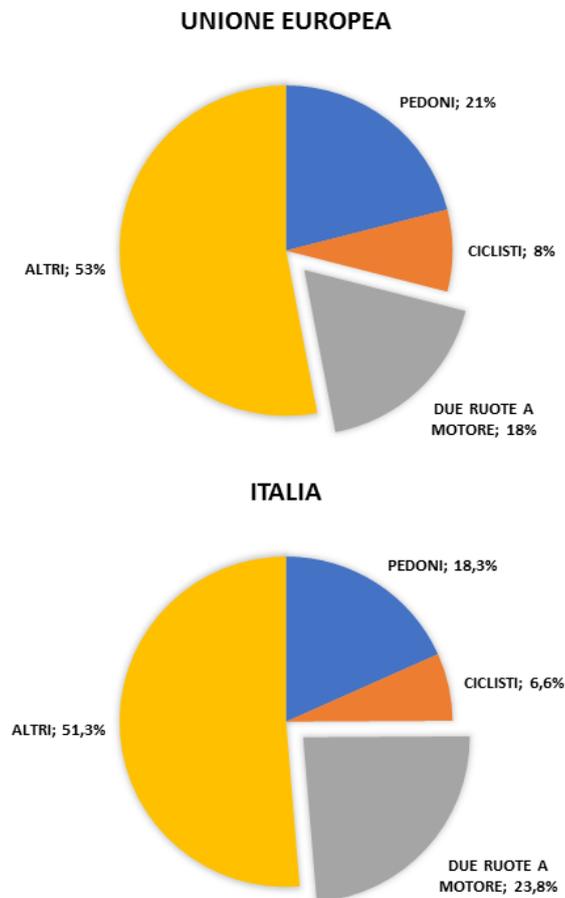


Figura 10: confronto tra le vittime divise in utenze deboli nell'Unione europea (dati 2017, fonte(10)) e in Italia (dati 2018, fonte (4)).

Statistiche decisamente positive si rilevano per utenti di età < 15 anni coinvolti nel 2018 in incidenti mortali: infatti, il numero di deceduti per questa classe di età continua a diminuire nel 2018 come nel 2017. Nel confronto con l'Unione Europea (figura 11) si nota che per tutta la fascia “< 25” anni in Italia si registra una percentuale inferiore (13,4% nei confronti del 17% in Europa).

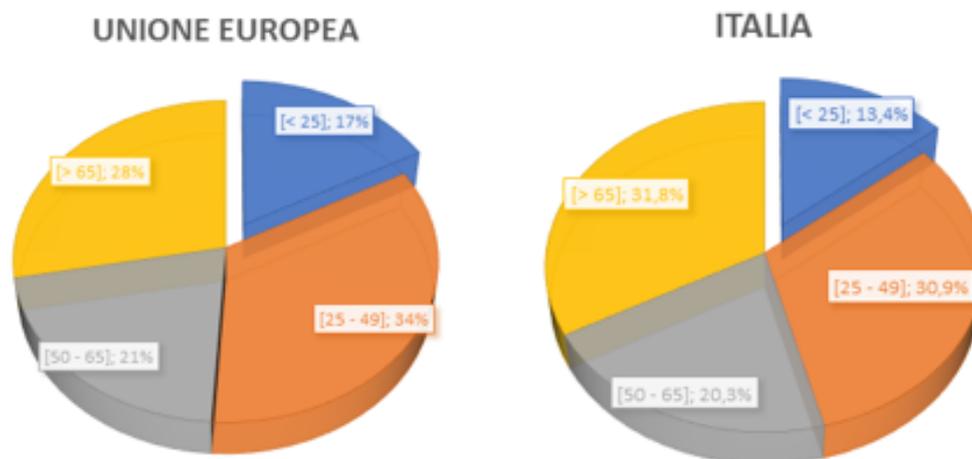


Figura 11: confronto tra le vittime divise in classi d'età nell'Unione europea (dati 2017, fonte(10)) e in Italia (dati 2018, fonte (4)).

Per quanto riguarda la localizzazione degli incidenti si registra sempre un tasso di mortalità superiore nelle strade extra-urbane, anche se in Italia risulta inferiore a quello EU28 (48% nei confronti di 55%) mentre a tal proposito si rileva una statistica opposta per le morti avvenute in ambito urbano (42,2% nei confronti del 37%). Il tutto è riassunto nel grafico di figura 12.

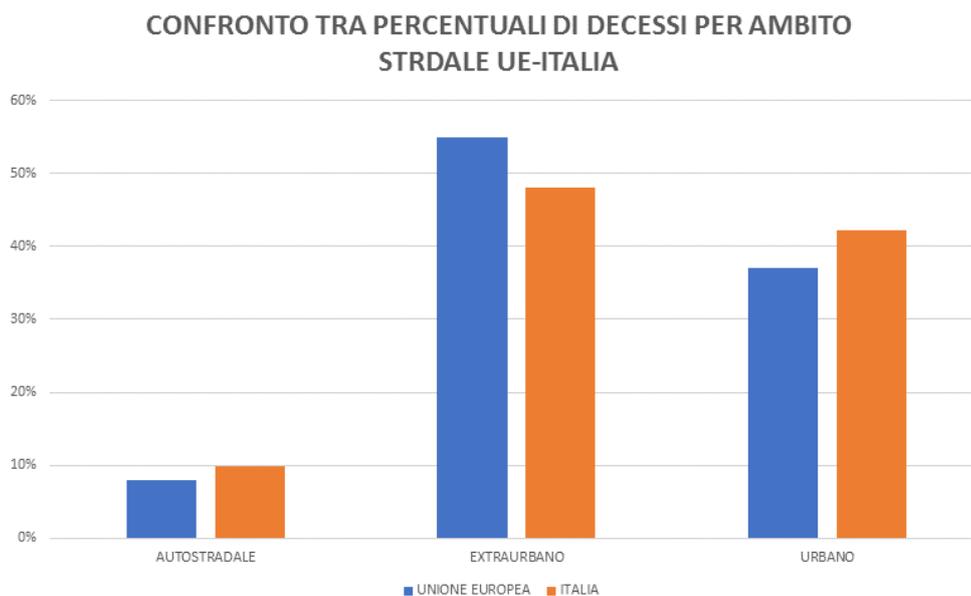


Figura 12: confronto tra le vittime divise per ambito nell'Unione europea (dati 2017, fonte(10)) e in Italia (dati 2018, fonte (4)).

Infine, si vuole indagare sulle principali cause che portano all'incidente: la guida distratta, il superamento dei limiti di velocità e il non rispetto delle precedenze o del semaforo si confermano tra le prime cause coprendo il 40,8% dei casi (invariato rispetto al 2017).

Rilevanti, invece, sono i dati sulle principali contravvenzioni elevate dagli organi preposti: infatti troviamo in aumento, in ambito urbano, il superamento dei limiti di

velocità (art. 142 del Nuovo Codice della Strada) e il mancato uso delle cinture di sicurezza e dei sistemi di ritenuta dei bambini (art. 172 del Nuovo Codice della Strada) che, purtroppo, non sono in linea con gli obiettivi mondiali citati.

2.2 I DATABASE DEGLI EVENTI INCIDENTALI

L'opportunità di analizzare il fenomeno, come fatto nel precedente capitolo, è presente solo nei casi in cui si esegue una rilevazione sistematica degli incidenti, con la successiva creazione di una banca dati in grado di immagazzinarli, rielaborarli e poi renderli disponibili. Questo significa che la banca dati deve essere completa, affidabile, accurata e accessibile (11).

Il database di riferimento in Italia è quello dell'ISTAT, che possiede i dati provenienti dalla rilevazione degli incidenti stradali dal 1981 in avanti. L'affidabilità e l'accuratezza non vengono messe in dubbio e neanche l'accessibilità, infatti, con una semplice registrazione al sito, è possibile ottenere (una volta disponibili) i microdati degli incidenti stradali avvenuti in Italia per ogni anno di rilievo. Si tratta di fogli Excel che contengono in ogni riga un sinistro e in ogni colonna un diverso elemento che lo caratterizza.

Il vero problema riguarda la completezza del dato. Innanzitutto, bisogna considerare che gli incidenti presenti nella banca dati ISTAT sono solo quelli con lesioni a persone; questo significa che rispetto alla totalità degli incidenti rilevati dagli organi predisposti, c'è una perdita iniziale di circa il 40% (figura 13), che sono gli incidenti con solo danni alle proprietà. Oltre a questo, si deve considerare che non vengono conteggiati neanche gli incidenti in cui non sono intervenuti gli organi rilevatori, poiché i coinvolti si sono accordati tramite constatazione amichevole e le rispettive assicurazioni.

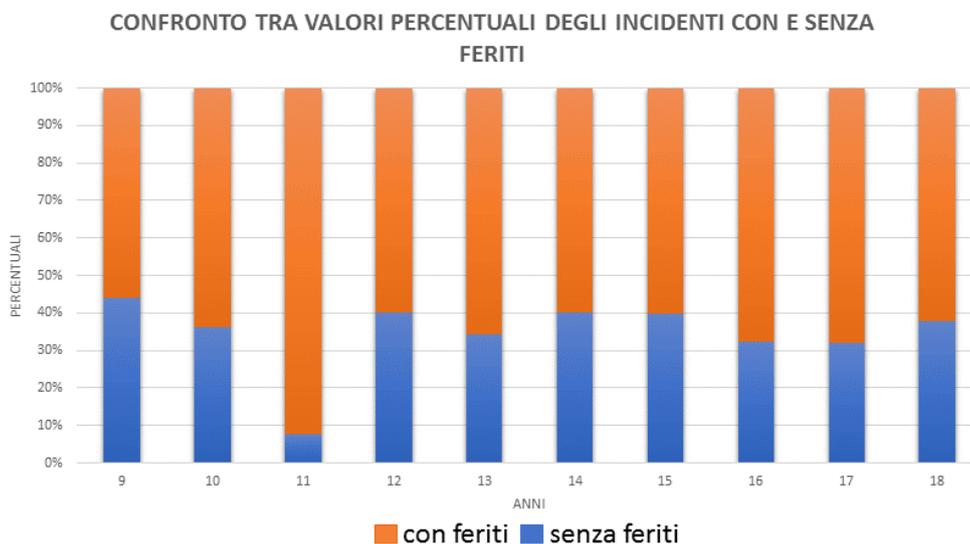


Figura 13: dati relativi agli incidenti avvenuti nel comune di Brugherio (MB), Italia, divisi per anni (2009-2018) e per con o senza feriti. (fonte Polizia Locale Brugherio)

L'ultimo rapporto dell'ANIA (Associazione Nazionale fra le Imprese Assicuratrici) (12) riporta che nel 2018 sono accaduti circa 2 milioni di sinistri, che confrontati con i 172.344 incidenti di ISTAT significa avere a disposizione dati analizzabili ed

elaborabili che rappresentano un po' meno del 10% del totale dei sinistri accaduti in un anno nel territorio nazionale.

In aggiunta a questo aspetto, gli stessi microdati ISTAT presentano alcune lacune. Un esempio è quello dei campi che riguardano la localizzazione dell'incidente intesa come coordinate satellitari o nome della via con numero civico: questi molto spesso si presentano vuoti. Quindi, se si avesse la necessità, come per questo elaborato, di conoscere la localizzazione degli incidenti, le strade percorribili sarebbero due: chiedere il dato completo a ISTAT tramite una richiesta ufficiale, oppure rivolgersi agli organi rilevatori o alle assicurazioni, dato che l'ultima strada risultare difficile da percorrere rimangono le prime due, ma il dato degli organi rilevatori è numericamente superiore.

L'ISTAT definisce anche le variabili che caratterizzano un incidente stradale tramite un tracciato record che viene pubblicato ogni anno. Quello più recente, 2019, contiene 213 campi che di seguito verranno analizzati proponendo un confronto trasversale con altri tracciati disponibili in altri paesi, come quello Statunitense (MMUCC "MINIMUM UNIFORM CRASH CRITERIA MODEL"), quello Australiano o quello Neozelandese.

1. **DATI GENERALI:** sono contenuti la data, l'ora, il comune, la provincia dell'accadimento e l'organo rilevatore.
2. **LOCALIZZAZIONE DELL'INCIDENTE:** avviene tramite la tipologia della strada, la sua denominazione e poi si aggiungono eventualmente le coordinate GPS o una distanza lineare come la chilometrica. Tra i campi ISTAT e quelli degli altri database non ci sono particolari differenze l'unico problema rimane l'effettiva compilazione del campo GPS: in Italia questa informazione è propria del 69,7% degli incidenti rilevati (13), che a prima vista potrebbe sembrare una buona percentuale ma non lo è se si pensa che solo 57 comuni italiani utilizzano sistematicamente la georeferenziazione (14). Quindi, siamo in presenza di una copertura (dal punto di vista spaziale) che risulta concentrata nelle città più importanti o con un numero di abitanti considerevole (almeno superiore a 50.000).
3. **LUOGO DELL'INCIDENTE:** vengono definiti i fattori esterni come il tipo di strada, la pavimentazione, la segnaletica, il fondo stradale, le condizioni climatiche e se l'evento è avvenuto in un'intersezione o in un tratto rettilineo. Rispetto agli altri database, quello italiano è carente su informazioni come i limiti di velocità, la presenza di un cantiere (infatti sul tracciato ISTAT si riporta solo se c'era una segnaletica di cantiere), le condizioni di luminosità e se ci sono fattori o cause imputabili alla strada.(11)
4. **NATURA E CAUSE DELL'INCIDENTE:** ci sono 12 voci per la prima categoria e 97 per la seconda, anche se, come già specificato, tra le possibili cause di incidente non è presente nulla che sia connesso a problemi dell'infrastruttura. In altri database, oltre a specificare il primo evento incidentale, vengono anche descritte le manovre effettuate, la direzione di viaggio, l'evento più pericoloso e le parti del veicolo coinvolte; in particolare

in Nuova Zelanda si ha a disposizione anche la rappresentazione grafica dell'incidente. (11)

5. VEICOLI COINVOLTI: vengono date informazioni più di carattere amministrativo come la targa o l'anno d'immatricolazione alle quali si aggiunge la tipologia del veicolo. Altri database descrivono in questa parte la sequenza degli eventi e le manovre effettuate.(11)
6. PERSONE COINVOLTE: nel database italiano c'è la distinzione tra conducente, passeggeri e pedoni, per ognuno di questi viene indicata l'età, il sesso e l'esito ma per quanto riguarda il conducente c'è la distinzione tra illeso, ferito, morto entro le 24h e morto entro 30gg mentre per passeggeri e pedoni si distingue solo tra ferito o morto. Questo denota due gravi mancanze:
 - I passeggeri o i pedoni illesi non vengono conteggiati;
 - Non c'è alcuna suddivisione tra i feriti quando negli altri paesi, anche se non in modo univoco, è presente almeno in feriti lievi e gravi.

In tutti gli altri rapporti di incidentalità definiti ad inizio descrizione sono presenti anche la posizione occupata dai veicoli/pedoni prima e dopo l'incidente e l'utilizzo dei dispositivi di sicurezza. (11)

Si riporta in appendice A un esempio di modulo di rilevazione italiano e statunitense.

2.3 ANALISI DI INCIDENTALITÀ

L'entità del fenomeno descritto nei precedenti paragrafi e la concezione che la sicurezza debba sempre essere il vincolo irrinunciabile di qualsiasi progetto di una nuova infrastruttura o di qualunque intervento in strade già esistenti, fa nascere il concetto di analisi d'incidentalità tramite lo studio degli eventi incidentali (15).

Inizialmente l'idea alla base dell'analisi era di tipo teorico, cioè venivano ricercate le cause dell'incidente per ottenere una comprensione generale dei meccanismi regolanti il fenomeno (15), per esempio venivano indagati tutti i comportamenti scorretti dell'utente, oppure i difetti dei veicoli circolanti, solo raramente il "colpevole" era l'infrastruttura. Con questo tipo di approccio, oggi, i veicoli sono diventati molto più sicuri e incidono per una minima percentuale nell'essere causa di incidenti (figura 14), mentre l'infrastruttura è il campo in cui si può agire ancora dal punto di vista ingegneristico.

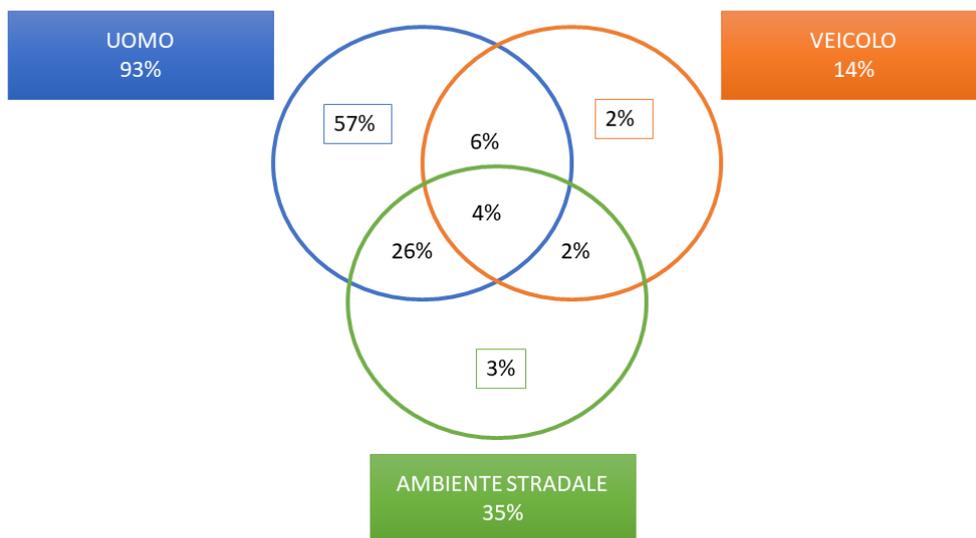


Figura 14: cause dell'incidentalità stradale. (Falconetti,2012, (16))

L'idea moderna di analisi di incidentalità è quella di un processo ingegneristico volto a determinare delle valutazioni quantitative in materia di sicurezza stradale. In Italia questi concetti sono stati espressi e diffusi tramite la circolare n° 3698 del 8-6-2001 "Linee guida per la redazione dei piani della sicurezza stradale urbana" (17). All'inizio il concetto di valutazioni quantitative era stato interpretato come la produzione di grafici e tabelle basandosi su alcuni campi del dato, come: mese, giorno, ora, condizioni climatiche o fondo stradale (18). Questo approccio, che possiamo definire *analisi di incidentalità classica*, è ancora utilizzato (figura 15), anche se con qualche piccolo miglioramento (figura 16), come riportato nelle seguenti immagini riferite ad uno studio sull'incidentalità.

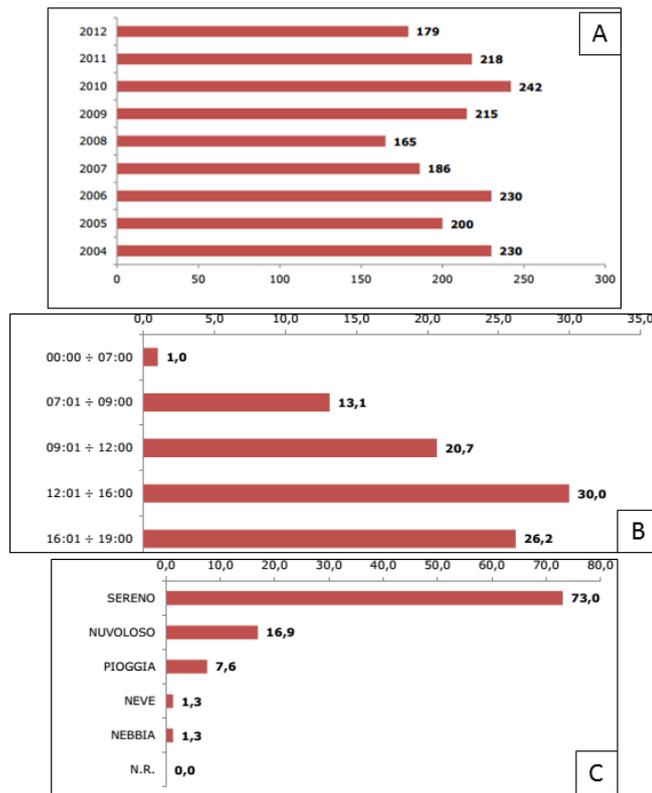


Figura 15: immagine a) numero di incidenti avvenuti per anno, immagine b) percentuali di ripartizione del numero di incidenti per fasce orarie, immagine c) percentuali di ripartizione degli incidenti per condizioni climatiche. (19)



Figura 16: rappresentazione su rete digitale del numero di incidenti divisi per via. (19)

In particolare, nella concezione attuale, l'analisi d'incidentalità dovrebbe avere lo scopo di rendere sicure determinate aree, individuando i punti critici e proponendo le possibili soluzioni per la riduzione degli incidenti. Negli anni, quindi, come si è evidenziato, il processo è rimasto in gran parte immutato (lo scopo è la riduzione del

numero degli incidenti, feriti e deceduti) ma sono gli strumenti tecnologici attuali al suo servizio che hanno apportato dei miglioramenti.

Dal punto di vista pratico il processo descritto si compone di tre parti fondamentali: i dati di input, le funzioni di analisi e i risultati (figura 17).

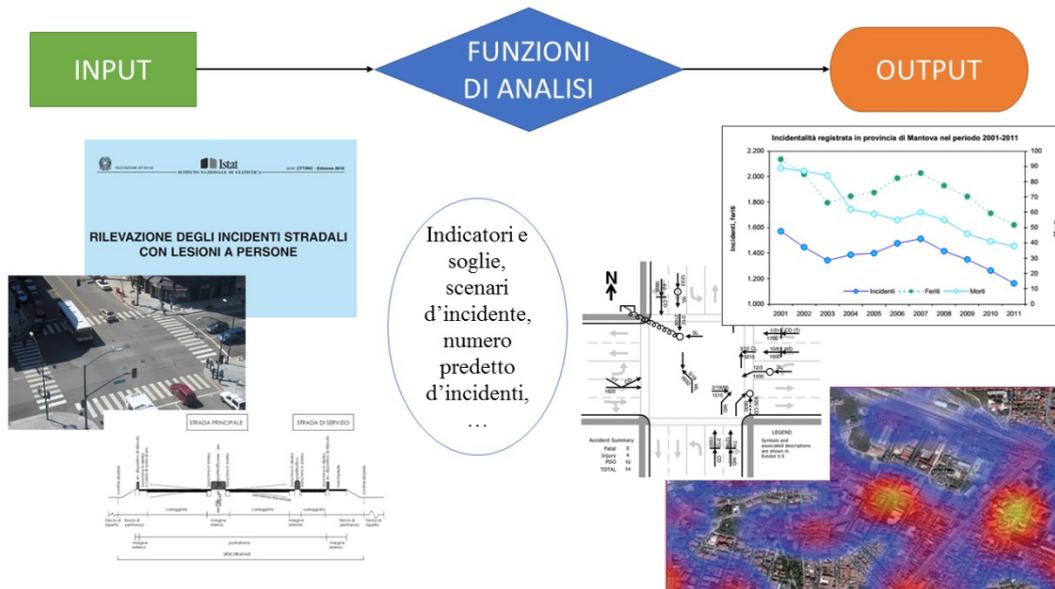


Figura 17: schema del processo di analisi.

Ognuna di queste parti, però, è differente a seconda della tipologia di analisi che si vuole applicare, quindi, di seguito, verranno presentate le tipologie di analisi che trovano maggiore spazio in letteratura:

- Analisi aggregata
- Analisi disaggregata
- Analisi preventiva
- Analisi predittiva

Prima, però, si vuole dare un'idea di come si relazionano tra loro queste tipologie.



Figura 18: schema delle relazioni fra i tipi di analisi e loro campo di applicazione.

Dalla figura 18 si evidenzia che l'analisi aggregata ha un livello di dettaglio inferiore all'analisi disaggregata e preventiva. Per questo motivo è sensato considerarla come la base di partenza con cui si determinano tutti i punti critici di un'area. In seguito, questi punti critici verranno analizzati con l'analisi disaggregata per trovare delle POSSIBILI problematiche e/o con l'analisi preventiva per trovare le problematiche ESISTENTI. A parte si trova l'analisi predittiva che può essere utilizzata a differenti scale, infatti, può consentire di trovare il numero di incidenti per valutare sia la criticità di differenti aree che interventi mirati ad un singolo luogo, visto che nel testo verrà presentata soprattutto per la prima funzionalità viene elencata nel livello macroscopico.

2.3.1 ANALISI AGGREGATA

L'analisi aggregata indaga il fenomeno incidentale ad un livello macroscopico, il suo obiettivo infatti consiste nel determinare i siti (intersezioni o brevi tratti di strada) ad elevata incidentalità, i così detti punti neri o punti caldi (o nella terminologia anglosassone *black-spots* o *hot-spots*) che fanno parte di un'intera rete stradale o di un singolo itinerario (18, 20).

I dati necessari per questa analisi comprendono quelli che riguardano gli incidenti avvenuti nel territorio in esame ma anche quelli ad una scala superiore come quella provinciale o regionale, utili per fare dei confronti. A questi si aggiungono i dati, sempre del territorio, di carattere generale come il numero di abitanti, l'estensione della rete stradale e il numero di veicoli immatricolati.

Grazie a questi dati, inizialmente, venivano condotte solo analisi di tipo statistico che da un lato danno la comprensione del fenomeno in termini di tempo, cause, veicoli coinvolti, natura dell'incidente e ruolo della struttura, permettendo di pianificare il territorio o campagne di sensibilizzazione tramite il supporto dei dati, dall'altro lato le analisi statistiche non forniscono nessuna informazione sulla localizzazione dei punti neri.

Conseguentemente a ciò, ogni nazione che si sia interessata d'incidentalità stradale in tempi più o meno recenti, ha sviluppato un criterio personale con cui individuare i punti critici sulla rete ma la metodologia è generalmente la stessa. Infatti, la definizione di punti singolari come quei *luoghi in cui si registri un valore, dell'indice prescelto, superiore alla media di quell'indice in luoghi considerati simili a quello in considerazione (21-23)* è simile.

Ogni criterio è formato da un indice (*che può essere definito come un rapporto, talora espresso in percentuale, oppure differenza fra i valori numerici di due grandezze, o fra dati, condizioni, fenomeni espressi numericamente e posti in relazione* [ENCICLOPEDIA TRECCANI]) e da una soglia (il valore dell'indice oltre il quale il punto in considerazione è critico).

Per comprendere meglio questa metodologia verranno mostrati di seguito alcuni dei criteri utilizzati in diverse parti del mondo.

Uno dei primi rapporti presenti in letteratura giunge dallo Stato del Kentucky (22) dove le metodologie presentate per la determinazione dei punti neri sono varie:

- La più semplice considera, sulla base di esperienze passate, un numero di incidenti superiore ad un valore che in questo caso sono tre incidenti in un anno in un tronco stradale di lunghezza pari a 0,1 miglia (160m);
- La seconda che si presenta, invece, considera l'aspetto lesivo degli incidenti tramite l'indicatore del numero di incidenti equivalenti al solo danno alle proprietà (EPDO), che viene calcolato con la formula (equazione 1):

$$EPDO = 9,5(F + A) + 3,5(B + C) + PDO$$

Equazione 1: calcolo del numero equivalente di incidenti a quelli con solo danno alla proprietà (22).

Dove:

- F= numero di morti;
- A= numero di feriti tipo A;
- B= numero di feriti tipo B;
- C= numero di feriti tipo C;
- PDO= numero di incidenti con danni alle sole proprietà.

In questo caso la soglia è fissata a 16 se si considera un anno di record o 23 per due anni (considerando un tratto lungo 0,3 miglia).

- Un criterio invece più complesso è rappresentato dal “critical number” (CN) che, facendo riferimento alla distribuzione di densità di probabilità secondo Poisson, viene calcolato con la formula (equazione 2):

$$CN = a + k\sqrt{a} + \frac{1}{2}$$

Equazione 2: calcolo del critical number (22)

Dove:

- a = valore medio del numero di incidenti che avvengono in un luogo simile ma noto;

- k = valore in funzione della probabilità di accadimento che si intende usare (generalmente variabile tra 0,0001 e 0,1), si tratta di un parametro che definisce la ristrettezza del metodo (esempi di valori in tabella 1).

Valori probabilità	0,0001	0,0005	0,001	0,005	0,01	0,05	0,1
k	3,719	3,290	3,090	2,576	2,326	1,645	1,282

Tabella 1: valori di k in funzione della probabilità p (22).

In questo caso se il numero di incidenti avvenuti è superiore al CN allora il sito è giudicato pericoloso.

In Italia viene proposta una metodologia, a conferma di quanto detto, molto simile a quella appena presentata. Nel rapporto CNR del 1998 sui “criteri per la classificazione della rete delle strade esistenti ai sensi dell’art. 13, comma 4 e 5 del nuovo codice della strada” (24) per ogni tronco di strada deve essere calcolato il tasso d’incidentalità (T_i) come (equazione 3):

$$T_i = \frac{10^6 \cdot \text{numero incidenti}}{365 \cdot l_i \cdot \sum_t TGM_{i,t}}$$

Equazione 3: tasso d’incidentalità (24)

Con:

- l_i = lunghezza estesa (in km) del tronco i -esimo;
- $\sum_t TGM_{i,t}$ = somma dei traffici giornalieri medi dell’anno t (t = generico anno precedente lo studio) sul tronco i ;

successivamente viene calcolato per il territorio o per l’itinerario in esame il tasso medio di incidentalità (T_m) pari a (equazione 4):

$$T_m = \frac{10^6 \cdot \text{numero incidenti}}{365 \cdot \sum_i \sum_t l_i * TGM_{i,t}}$$

Equazione 4: tasso medio d’incidentalità (24)

Dove:

- l_i = lunghezza estesa (in km) del tronco i -esimo;
- $\sum_i \sum_t TGM_{i,t}$ = somma dei traffici giornalieri medi dell’anno t (t = generico anno precedente lo studio) e dei tronchi i ;

e le soglie

$$T_{inf}^* = T_m - k \sqrt{\frac{T_m}{M_i}} - \frac{1}{2M_i}$$

Equazione 5: soglia inferiore (24)

$$T_{sup}^* = T_m + k \sqrt{\frac{T_m}{M_i}} + \frac{1}{2M_i}$$

Equazione 6: soglia superiore (24)

Dove:

- T_{inf}^* = soglia inferiore;
- T_{sup}^* = soglia superiore;
- T_m = tasso medio di incidentalità;
- k = la costante di probabilità della distribuzione di Poisson ($k=1,645$ con una probabilità d'errore del 10%);
- $M_i = 365 \cdot l_i \cdot \sum_t TGM_{i,t}$ il momento di traffico relativamente al tronco i -esimo nell'intero periodo d'osservazione ($t=1, \dots, n$ anni d'osservazione precedenti lo studio);

Queste soglie permettono di definire una sorta di classifica. Ogni tronco infatti, verrà definito a bassa, media o alta incidentalità rispettivamente se $T_i \leq T_{inf}^*$, $T_{inf}^* \leq T_i \leq T_{sup}^*$ e $T_i \geq T_{sup}^*$.

Esistono comunque anche altri criteri, praticamente uno per ogni nazione, che però sono molto simili a quelli già presentati, un esempio può essere quello Spagnolo, che definisce come punto nero i siti che hanno una frequenza degli incidenti ($\frac{\text{numero incidenti}}{\text{numero di anni}}$) o un tasso d'incidentalità medio ($\frac{\text{numero incidenti}}{10^7 \cdot \text{chilometro}}$) superiore al doppio della media del rispettivo indice (23); un altro esempio è il criterio Olandese che definisce un indice di severità (S) pari a:

$$S = LI + 3SI + 5DI$$

Equazione 7: indice di severità utilizzato nei Paesi Bassi. (21)

Dove:

- LI= numero di feriti lievi;
- SI= numero di feriti gravi;
- DI= numero di morti;

con una soglia fissata a 15 (21).

Per concludere questo paragrafo sulle metodologie disponibili per la realizzazione degli indicatori di incidentalità, si vuole evidenziare come più volte venga reso necessario fare riferimento a siti con caratteristiche simili a quello in esame, senza però specificare quali siano (a meno della lunghezza). Il rapporto CNR italiano citato (24), in questo caso, aggiunge alla necessità che i tronchi siano omogenei il fatto che NON superino i 100m in ambito urbano. Infine, non è ben specificato come gli indicatori possano essere modificati per le intersezioni (dove la lunghezza per esempio, non può essere calcolata) nonostante siano comunque presi in considerazione i dati relativi ai sinistri avvenuti in aree di conflitto differenti dai rettifili.

Anche se gli indicatori di incidentalità rimangono la base, con l'utilizzo della tecnologia GIS si può effettuare un aggiornamento dell'analisi aggregata aggiungendo anche una conoscenza spaziale del fenomeno. Questa tipologia di analisi, dove uno dei dati chiave è la localizzazione dell'incidente, essendo il fulcro di questo lavoro di tesi, verrà discussa in un paragrafo a parte.

2.3.2 ANALISI DISAGGREGATA

L'analisi disaggregata è generalmente definita come un'analisi di dettaglio, poiché va ad investigare i luoghi che nell'analisi aggregata sono stati segnalati come pericolosi (20). Si può anche definire come un approccio clinico (25), poiché si vanno ad investigare le cause che hanno portato ad ogni incidente.

I dati di input in questo caso sono molto più dettagliati per quanto concerne sia la parte degli incidenti che quella dell'infrastruttura. Infatti, spesso è necessario consultare i rapporti di polizia, in particolare per conoscere l'origine e la destinazione dei veicoli coinvolti e molto spesso è necessario un sopralluogo (25).

Le metodologie applicate sono principalmente i diagrammi di collisione e gli scenari di incidente (26). I diagrammi di collisione (figura 19) rappresentano in maniera visiva gli incidenti avvenuti nel sito indagato; tramite un segno puntuale si rappresenta il punto d'impatto e attraverso un tratto, simile ad una freccia, si indica la direzione di viaggio. Eventualmente si può etichettare o categorizzare il punto con una caratteristica dell'incidente come l'ora, il giorno, il mese, l'anno, la natura dell'incidente, il tipo di veicolo o il meteo, al fine di poter meglio individuare l'incidente critico, ossia quello con la maggior frequenza, e le sue cause principali (20). Infine, si adotteranno misure adeguate ad evitare che le cause identificate si verifichino.

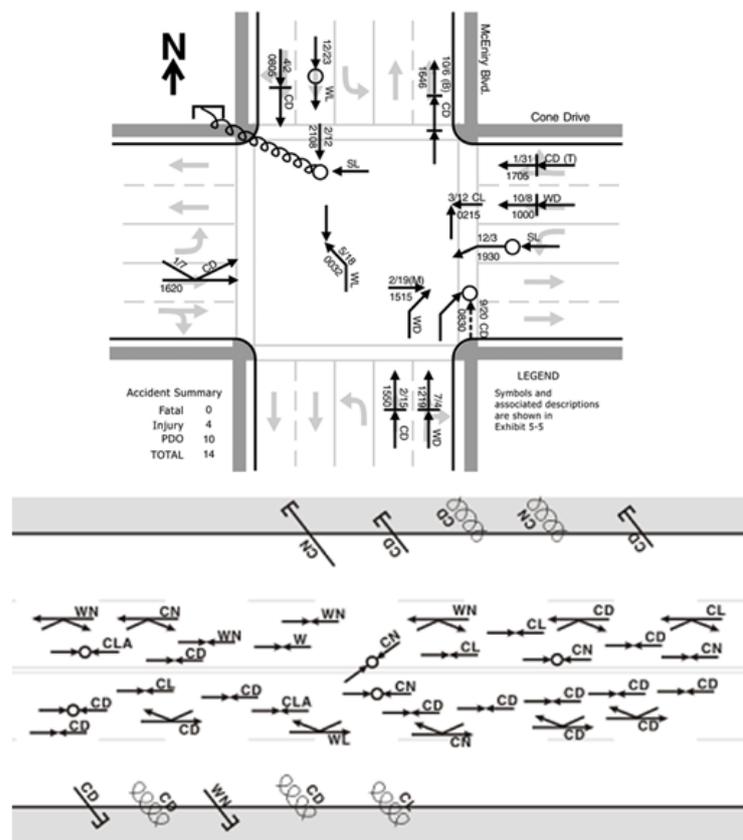


Figura 19: esempio di diagramma di collisione, sopra in una intersezione, sotto in un tratto di strada.(27).

Gli scenari di incidente (figura 20) si possono considerare un'evoluzione della precedente metodologia; essi nascono dall'esigenza di raggruppare gli incidenti per poi trovare soluzioni comuni ai raggruppamenti. La prima fase consiste nella costruzione degli scenari, che può avvenire ex novo oppure basarsi su scenari già utilizzati in letteratura (per esempio nella circolare italiana, già citata, del 2001 (17) vengono fatte alcune proposte). Generalmente ogni scenario è composto da quattro parti che identificano i momenti che portano all'incidente: guida, situazione di rottura, emergenza e shock (collisione) (26). Successivamente bisogna assegnare gli incidenti al corretto scenario; dato che il criterio non potrà essere l'identità ma solo alcune corrispondenze (26), ci si deve affidare ad una funzione probabilistica che definisca le similitudini ed eventualmente anche all'operatore per una decisione finale. Per ogni scenario, infine, si dovranno identificare le possibili soluzioni per ridurre l'incidentalità.

Ia, 12a	Pedone adulto. Viabilità principale urbana.	Inizialmente coperto da un veicolo in sosta (più raramente da un veicolo parcheggiato); il pedone attraversa.	In generale, la frenata è tardiva (in altri casi nessuna reazione).	Il veicolo investe il pedone.
V, 17	Veicolo in sosta su una strada urbana o in un'area di sosta.	Il veicolo fa marcia indietro nel momento in cui un pedone (o un veicolo a due ruote) è fermo dietro di lui; il conducente non vede il pedone.	Nessuna reazione dei soggetti implicati.	La parte posteriore del veicolo investe il pedone.
I	Un veicolo si muove su una strada principale e deve svoltare.	Il veicolo si appresta a svoltare ma sorraggiunge da dietro un veicolo ad alta velocità.	Nessuna reazione.	Il veicolo investe un altro veicolo.

Figura 20: esempi di scenari di incidente. Fonte: (17)

2.3.3 ANALISI PREVENTIVA

L'analisi preventiva di sicurezza, come già evidenziato, mette in evidenza le problematiche esistenti dell'infrastruttura, cioè ricerca aspetti della strada che, in esperienze precedenti, si erano rivelati essere, con una probabilità elevata, fonte di incidenti (15).

Per effettuare tale analisi sono necessari sempre i dati relativi agli incidenti e quelli relativi all'infrastruttura, con dettaglio anche del tipo di pavimentazione, dell'assetto plano-altimetrico e dei flussi di traffico.

L'impianto normativo composto dalla normativa 2008/96/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio "sulla gestione di sicurezza delle infrastrutture stradali" (28) e dalla circolare italiana 2001 (17), del ministero dei lavori pubblici, definisce chiaramente la metodologia da seguire. Un gruppo di esperti è chiamato ad analizzare lo spazio dell'infrastruttura così come viene percepito da tutti gli utenti della strada (automobilisti, ciclisti, pedoni ...), indagando ogni possibile aspetto, dalla geometria alla pavimentazione, dall'illuminazione alla visibilità della segnaletica ai fattori esterni che possono distrarre o dare fastidio alla vista dell'utente.

Per adempiere a questo compito generalmente è importante fare un'ispezione visiva del luogo e, a tale scopo, sono state create delle check-list (figura 21) da utilizzare durante i sopralluoghi, con domande inerenti agli aspetti sopra citati a cui rispondere affermativamente o negativamente.

Traffico		Esistente	Audit	Apertura	Esercizio
1.1	Le soluzioni progettuali adottate (numero e larghezza delle corsie, larghezza delle banchine, geometria delle intersezioni/svincoli, ecc.) sono adeguate al volume e al tipo di traffico?	SI [] NO []	SI [] NO []		SI [] NO []
1.2	Si hanno rilevanti volumi di traffico per qualche classe di utenza diversa dalle autovetture che richiedano soluzioni o attrezzature particolari? Se SI, quali _____	SI [] NO []	SI [] NO []		SI [] NO []
Condizioni ambientali		Esistente	Audit	Apertura	Esercizio
1.3	Il sito potrà essere soggetto spesso alla presenza di nebbia?	SI [] NO []			
Visibilità		Esistente	Audit	Apertura	Esercizio
2.2	È garantita la distanza di visibilità di sicurezza in relazione alle velocità operative?	SI [] NO []			
Attraversamenti pedonali		Esistente	Audit	Apertura	Esercizio
7.1	Sono gli attraversamenti pedonali ben visibili da parte del traffico motorizzato?	SI [] NO []			

Figura 21: esempio di alcune voci presenti nelle check-list.(29)

2.3.4 ANALISI PREDITTIVA

L'analisi predittiva rappresenta un altro filone rispetto a quello mostrato finora; il suo obiettivo è determinare il numero di incidenti che avvengono su un elemento della rete stradale basandosi esclusivamente sulle sue caratteristiche geometriche e funzionali

(30, 31). Un incremento di precisione di questa tipologia di analisi giunge dalla possibilità di utilizzare la statistica Bayesiana, il cui nocciolo è quello di basarsi sempre sui dati “a priori” disponibili poiché nessuna ipotesi è sempre valida al 100% (11) (in questo contesto i dati sono quelli relativi agli incidenti stradali storici). Inizialmente questo modello veniva utilizzato molto per le analisi “before-after”, poiché permette di vedere in anticipo come una modifica all’infrastruttura comporti un miglioramento o peggioramento al numero di incidenti e, quindi, verificarne anche il reale impatto (32).

Seguendo questo approccio sono necessari sia i dati relativi all’infrastruttura che quelli incidentali (non necessari nel caso in cui non si usi il metodo empirico Bayesiano).

Questo approccio è ampiamente documentato in letteratura, di seguito si discuterà di uno dei più utilizzati, quello descritto nel manuale statunitense HSM (Highway Safety Manual) (27).

Il primo passo per lo svolgimento dell’analisi consiste nell’identificare la tipologia dell’elemento infrastrutturale considerato, poiché esistono differenti formulazioni in funzione della tipologia di strada (“*Rural Two-Lane Two-Way Roads*”, “*Rural Multilane Highways*”, “*Urban and Suburban Arterials*”(27)) e se si tratta di un tronco o di una intersezione (semaforizzata o non semaforizzata, a tre o quattro bracci). Da queste informazioni si ottiene la forma base dell’equazione SPF (Safety Performance Function) che permette di calcolare la frequenza media incidentale prevista in condizioni base (che caratterizzano ogni tipologia di elemento infrastrutturale a cui appartiene l’elemento in esame). La frequenza N_{SPFRs} , per esempio, nel caso di un elemento appartenente alla categoria “*Rural Two-Lane Two-Way Roads*” è calcolata come:

$$N_{SPFRs} = (AADT) \cdot L \cdot 365 \cdot 10^{-6} \cdot e^{-0,4865}$$

Equazione 8: esempio di equazione per determinare il numero medio di incidenti in un elemento della categoria “Rural Two-Lane Two-Way Roads”. (27)

Dove:

- AADT = è il traffico giornaliero medio dell’elemento;
- L = è la lunghezza del tratto.

Successivamente bisogna calcolare i parametri CMFs (Crash Modification Factors) (figura 22) utilizzati per riportare alle condizioni base gli elementi che non lo sono, essi sono definiti come il rapporto tra la frequenza incidentale prevista nella condizione “b” (dell’elemento) e quello in condizione “a” (di base):

$$CMFs = \frac{\text{frequenza incidentale prevista nella condizione "b"}}{\text{frequenza incidentale prevista nella condizione "a"}}$$

Equazione 9: forma base del calcolo degli CMFs (27)

Applicable SPF	CMF	CMF Description	Median width (ft)	CMF
Roadway Segment	CMF _{1r}	On-Street Parking	10	1.01
	CMF _{2r}	Roadside Fixed Objects	15	1.00
	CMF _{3r}	Median Width	20	0.99
	CMF _{4r}	Lighting	30	0.98
	CMF _{5r}	Automated Speed Enforcement	40	0.97
				50
			60	0.95
			70	0.94
			80	0.93
			90	0.93
			100	0.92

Figura 22: esempio di CMFs per la larghezza media delle corsie. (27).

Per ottenere il numero previsto di incidenti è necessario calcolare anche il coefficiente C di calibrazione, che tiene conto delle diversità di contesto se si vuole applicare il metodo al di fuori della nazione in cui è stato concepito (anche per le differenze tra i diversi stati degli Stati Uniti d'America). Si ottiene dunque la seguente equazione finale:

$$N_{pred} = N_{SPF_{rs}} \cdot (CMF_1 \cdot CMF_2 \cdot \dots \cdot CMF_n) \cdot C$$

Equazione 10: calcolo della frequenza incidentale stimata dal modello predittivo per uno specifico anno. (27)

dove:

- N_{pred} = frequenza incidentale stimata dal modello predittivo per uno specifico anno;
- $N_{SPF_{rs}}$ = frequenza incidentale media prevista per un sito in condizioni base;
- CMF_x = fattori di modifica degli incidenti per lo specifico sito;
- C = fattore di calibrazione.

Nel caso si abbia a disposizione anche un dato reale è possibile utilizzare anche il metodo empirico Bayesiano che si traduce nella seguente formulazione:

$$N_{EXPECTED} = w \cdot N_{PREDICTED} + (1 - w) \cdot N_{OBSERVED}$$

Equazione 11: calcolo della frequenza incidentale col metodo empirico Bayesiano. (27)

$$w = \frac{1}{1 + k(\sum N_{PREDICTED})}$$

Equazione 12: fattore di aggiustamento ponderato. (27)

dove:

- $N_{EXPECTED}$ = frequenza incidentale per il periodo di studio;
- $N_{PREDICTED}$ = frequenza incidentale stimata dal modello predittivo per il sito in esame e per il periodo di studio;
- $N_{OBSERVED}$ = frequenza incidentale osservata (reale) nel periodo di studio;
- W = fattore di aggiustamento ponderato;

- k = parametro di sovra-dispersione.

La metodologia appena presentata viene definita come la frontiera dell'analisi incidentale, tra i principali aspetti positivi o innovativi ci sono l'identificazione delle caratteristiche di ogni elemento della rete da analizzare e la suddivisione di quest'ultimi in tipologie differenti secondo l'incidentalità durante l'analisi.

Il metodo, però, risulta molto complicato e macchinoso, data la grande quantità di parametri da tenere in considerazione e con alcune difficoltà di adattamento alla tipologia di strade presenti in nazioni diverse da quella in cui è stato sviluppato e calibrato.

2.3.5 ANALISI DI INCIDENTALITÀ E GIS

Il termine GIS è l'acronimo della sigla anglosassone GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM che in italiano è traducibile con Sistema Informativo Geografico. I GIS sono nati come banche dati dove immagazzinare molte informazioni con la caratteristica di essere georeferenziate, cioè di avere delle coordinate geografiche. I dati immagazzinabili sono di due tipologie: i vettori (che sono unità semplici come punti, linee e poligoni) e i raster (che sono complesse matrici di pixel, ciascuno dei quali contenente molte informazioni). La peculiarità di questi sistemi è di rappresentare su base cartografica i dati immagazzinati (usando le coordinate e un opportuno sistema di riferimento) e di associarvi altre informazioni, non necessariamente di tipo geografico (per esempio possiamo avere un punto nello spazio che rappresenta un'incidente stradale e ottenere, tramite un'interrogazione, altre informazioni come la data, l'ora, la natura e i veicoli coinvolti, come mostrato in figura 23).

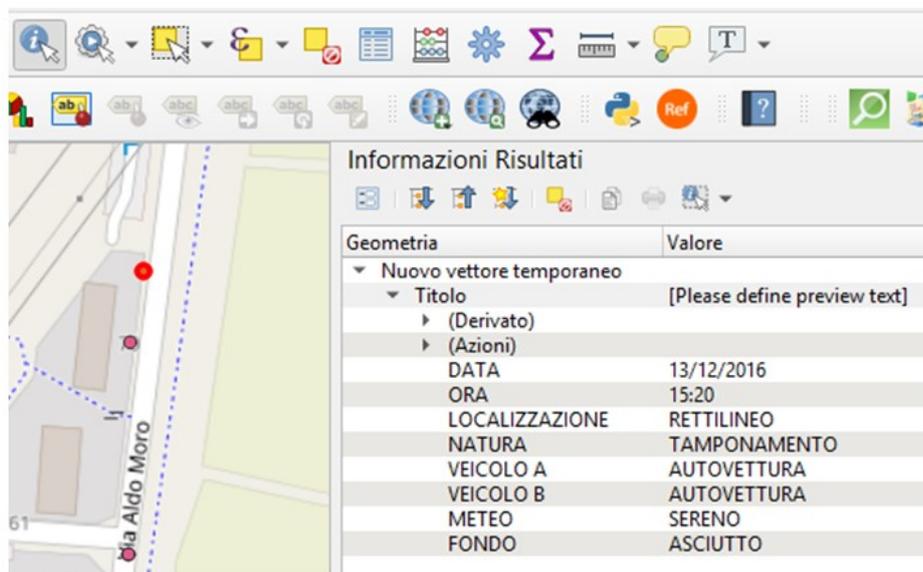


Figura 23: esempio di interrogazione di un elemento tramite software QGIS.

Grazie a questa caratteristica i GIS permettono di fare elaborazioni su base cartografica, utilizzando dati non solo geometrici e rendendo il risultato, che generalmente è una mappa, più interattivo e più semplice da interpretare (33-35).

Dopo aver introdotto gli strumenti GIS si vuole discutere, come già accennato nel paragrafo sull'analisi aggregata, di come essi possano essere utilizzati nell'analisi d'incidentalità. Infatti, gli incidenti sono punti nello spazio che hanno determinate informazioni e che necessitano di un'analisi che in questo caso si può definire spaziale. Un'analisi spaziale è condotta per trovare delle caratteristiche nella distribuzione degli incidenti in un'area, nonostante siano considerati come eventi casuali.

Infatti, se tramite alcuni tipi di analisi si potesse evidenziare che la distribuzione degli incidenti in una specifica zona non è casuale o presenta un numero di incidenti superiore alle altre potremmo definire quella zona come critica.

Le tecniche di analisi geografica a disposizione appartengono a due filoni: il primo (denominato *event-based*) considera gli incidenti come dei punti nello spazio, mentre il secondo (denominato *link-attribute*) gli eventi incidentali sono come una proprietà della rete stradale, al pari di una caratteristica geometrica (36).

La metodologia *event-based* ha come obiettivo quello di cercare i *cluster*, cioè delle zone dove la distribuzione degli eventi non è casuale ma presenta un'aggregazione anomala di punti (incidenti), individuabile confrontando la densità di incidenti tra l'area in esame e quelle attorno. Per conseguire questo scopo si possono utilizzare diversi indicatori che si suddividono in *distance-based* e *density-based* (36).

Il primo indicatore (*distance-based*) si basa sulla distanza tra i punti in un'area e determina una criticità se il rapporto, tra la distanza dei punti in esame e la distanza minima tra i punti se fossero disposti in modo casuale, è minore di 1 (dato che se fosse uguale ad 1 si avrebbe una distribuzione casuale).

Il secondo indicatore (*density-based*) si basa sull'analisi della densità delle aree e determina una criticità se la densità dell'area in esame è superiore a quella delle aree attigue.

La principale differenza tra questi indicatori è data dall'area di studio, infatti, l'indicatore *distance-based* analizza generalmente un'area che rappresenta l'intero territorio, a differenza dell'altro indicatore, *density-based*, che utilizza aree che sono una divisione di quella totale permettendo, quindi, di identificare nello spazio l'area più critica. Entrambi gli indicatori, però, hanno bisogno di una localizzazione precisa degli incidenti tramite coordinate satellitari e non numero civico o coppia di vie.

Come esempio di questa metodologia *event-based* si presenta il lavoro svolto nella città di Torino per un elaborato di tesi (36), che ha utilizzato come parametro la densità di probabilità, che viene calcolata con la stima di Kernel (Kernel Density Estimation – KDE), che fa parte degli indicatori *density-based*. In questo elaborato è stato inizialmente premesso che tutte le aree, anche quelle senza incidenti, grazie a questa analisi, avrebbero presentato un certo valore di densità e che le aree in questione sarebbero state rappresentate da dei cerchi con centro nelle coordinate degli incidenti e raggio definito. Dopo la suddivisione del territorio in aree è stata definita la funzione da utilizzare per analizzarle:

$$\hat{f}(u, v) = \frac{1}{nh^2} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{d_i}{h}\right)$$

Equazione 13: funzione densità di probabilità tramite funzione di Kernel. (36)

Dove:

- $\hat{f}(u, v)$ = stima di densità nel punto di coordinate (u, v) ;
- h = raggio dell'area di ricerca o ampiezza di banda (band width o Kernel size);
- n = numero di eventi ricadenti all'interno dell'area di ricerca di raggio h ;
- K = funzione Kernel;
- d_i = distanza dal punto (u, v) all' i -esimo evento.

poi sono state elaborate delle considerazioni su quale valore sia più appropriato utilizzare per il raggio dell'area di ricerca (figura 24) e su quale funzione Kernel sia migliore. Per il valore h viene stabilito che 100m in ambito urbano sono il limite superiore per analizzare dei punti e non delle aree, con la precisazione che comunque il valore dovrebbe essere simile alla distanza media tra le intersezioni della città in esame. Per la scelta del parametro K si è fatto riferimento alla funzione di *Epanechnikov* o *Quartic*.

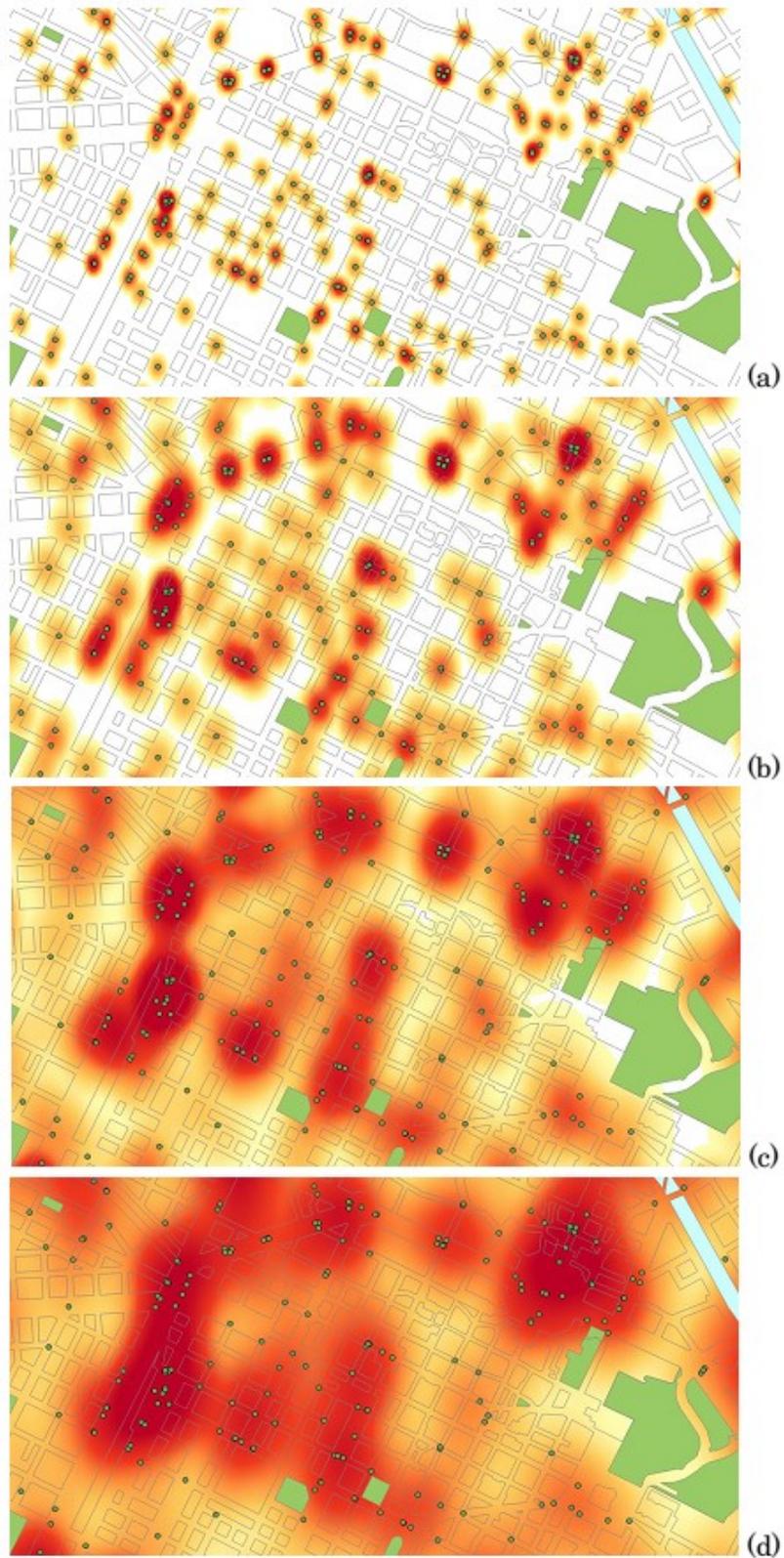


Figura 24: esempio di analisi di sensitività per determinare il valore più ragionevole del parametro h : (a) 50 m, (b) 100 m, (c) 200 m, (d) 300 m, realizzate tramite la funzione di Kernel Quartic. (36)

Infine, dato che si tratta comunque di una metodologia per eseguire un'analisi di incidentalità aggregata, è stato stabilito un criterio per individuare i punti neri. La scelta è ricaduta sulla densità degli incidenti come indice e sul valore medio e la deviazione standard, ovviamente sempre della densità, come soglia:

- *valori minori al valor medio (VM);*
- *VM + 2 deviazioni standard (STD);*
- *VM + 4 STD;*
- *VM + 6 STD;*
- *valori maggiori a VM + 6 STD.*

I valori espressi nell'elenco rappresentano differenti soglie, per esempio la prima si riferisce a tutte le aree con una densità inferiore al valore medio della densità delle aree contigue, e queste sono state utilizzate anche per tematizzare l'immagine che segue (figura 25), in particolare i valori sotto la prima soglia (*valori minori al valor medio*) non vengono evidenziati con alcun colore mentre i successivi seguono la scala di colori che porta dal giallo al rosso, dove quest'ultimo rappresenta tutte le aree con una densità superiore al *VM + 6 STD*.



Figura 25: esempio di mappa di calore realizzata tramite il plug-in di QGIS heatmap che permette di applicare la KDE. La scala di colore che va dall'arancione più chiaro al rosso ricalca la precedente suddivisione di valori.
(36)

Passando all'altra metodologia citata, cioè quella *link-attribute*, dove che gli incidenti sono considerati attributi della rete, il primo passo consiste nell'associare alla rete stessa gli eventi incidentali, cioè ogni elemento della rete stradale deve "conoscere" il numero identificativo di ogni incidente di "sua competenza". Lo scopo, in questo caso, è di determinare dei punti critici della rete attraverso degli indicatori, i quali possono essere anche molto simili a quelli esplicitati nel paragrafo sull'analisi aggregata.

Per meglio comprendere questa metodologia si è scelto di descrivere un'analisi condotta nella città di Bruxelles (37).

Anche in questa ricerca la prima parte è stata dedicata alla divisione del territorio ma, in base alla metodologia seguita, è la rete stradale ad essere divisa in parti. Quest'ultima può essere scansionata tramite diverse metodologie, la prima messa a confronto è un cerchio di raggio variabile, che ha come centro un punto arbitrario della rete e raccoglie tutti gli incidenti che si trovano nella sua area (figura 26a), mentre la seconda (*moving segment*) è un segmento mobile che "occupa" una porzione di rete pari ad una distanza predefinita da un centro stabilito, denominata *distanza di influenza* (D^n) (figura 26b).

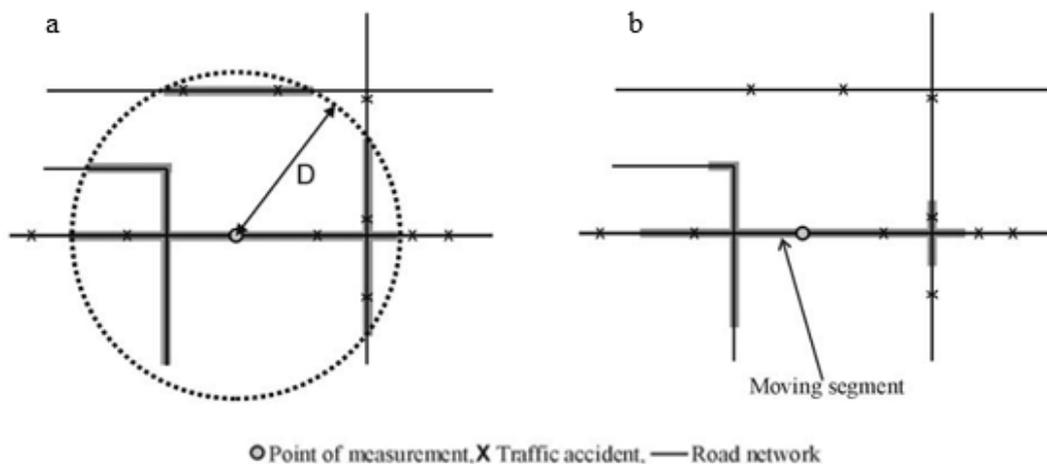


Figura 26: a sinistra (immagine a) c'è il cerchio basato sulla distanza euclidea, a destra (immagine b) c'è il segmento mobile (*moving segment*) basato sulla distanza di rete.(37) con rielaborazione dell'autore.

Dall'immagine appare chiaro ciò che molti studi oltre a quello in esame hanno evidenziato, cioè che la tecnica di raccoglimento degli incidenti *moving segment* sia la migliore, poiché rappresenta in modo più realistico la vicinanza spaziale tra gli eventi incidentali. Infatti, questa tecnica si basa su una distanza non euclidea ma definita dalla rete e raccoglie incidenti che si trovano su parti di rete contigue (38).

Il criterio in questo caso è composto da un *dangerousness index* (DI), esplicitabile con la seguente funzione:

$$DI_i = \sum_{j=1}^n w_{ij} I_D(d_{ij}^N)$$

Equazione 14: espressione del *dangerousness index* (DI) (37)

Dove:

- DI_i = è l'indice di pericolosità del segmento in esame;
- w_{ij} = è una funzione di peso che può essere descritta in funzione della distanza di ogni incidente dal punto base del segmento in esame;
- $I_D(d_{ij}^N)$ = è un'altra funzione che vale 1 se l'incidente è all'interno del segmento in esame (distanza minore della distanza di influenza) o 0 negli altri casi.

La soglia e i valori di tematizzazione non vengono specificati ma il risultato finale è rappresentato dalla seguente mappa (figura 27):

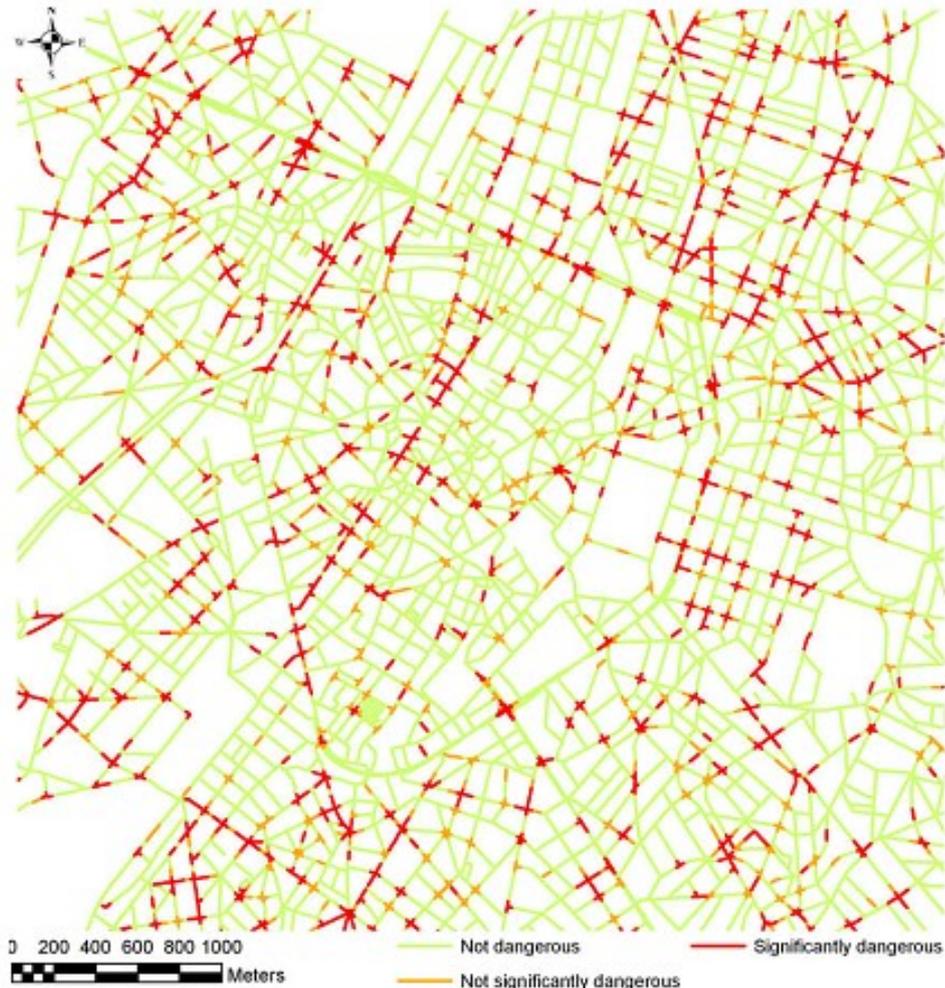


Figura 27: mappa di calore concentrata solo sulla rete stradale. (37)

La prima considerazione su questo paragrafo riguarda le mappe di calore, ossia gli output prodotti utilizzando i software GIS. Questa caratteristica intrinseca al software è molto utile, poiché grazie a particolari tematizzazioni (per esempio scale di colore dove i punti critici sono evidenziati in rosso) permette di tradurre in un linguaggio visivo, generalmente più chiaro, i risultati ottenuti.

La seconda considerazione è data dalla complessità dell'utilizzo della metodologia *event-based*, poiché ha la necessità che gli incidenti siano georeferenziati, caratteristica che sappiamo essere non completa, come descritto nel sotto capitolo sui dati, almeno per il caso dell'Italia.

In terza analisi c'è la modalità di utilizzo della rete stradale; con riferimento alle figure 25 e 27 si può notare che nella seconda immagine le parti critiche evidenziate risultano essere visivamente più realistiche, poiché sono elementi della rete stradale e non aree della città. Per contro si può notare che quasi tutte le parti in evidenza sono delle intersezioni, cioè punti notoriamente ad elevata incidentalità. Il problema che si

riscontra in queste analisi, quindi, è la mancanza di un criterio che distingua gli archi (tronchi stradali) dai nodi (intersezioni) che permetta, quindi, di ottenere una reale stima dei punti critici.

Quest'ultima considerazione, anticipata già nei precedenti paragrafi, trova conferma in letteratura, dove si trovano numerosi documenti relativi all'analisi spaziale *event-based* e meno per la *link-attribute*. Ciò è dovuto soprattutto alla disparità di onere computazionale di cui l'attribuzione degli incidenti alla rete necessita. Per chiarire meglio l'idea si può fare l'esempio della scelta del metodo migliore per suddividere la rete, passaggio fondamentale per questo tipo di analisi. Alcune ricerche di settore, infatti, lo reputano il principale problema e affermano che se si decide di suddividere la rete in parti a lunghezza fissa potrebbe capitare che non vi sia un numero intero di parti, con conseguente eliminazione degli elementi più corti (tipico caso degli ambienti urbani), invece se si opta per l'omogeneità manca un criterio ben definito (39).

2.4 SISTEMI DI SUPPORTO ALLE DECISIONI

Dopo la panoramica sui tipi di analisi di incidentalità attualmente utilizzati, si presentano i sistemi di supporto alle decisioni. L'interesse verso questa tematica è dato dal fatto che l'obiettivo di questo elaborato è quello di fornire un sistema che, in modo automatico, realizzi delle analisi di sicurezza stradale in ambito urbano.

I sistemi di supporto alle decisioni (SSD o DSS) sono dei software che permettono di analizzare in tempi brevi una grande quantità di dati e fornire un output facilmente intellegibile da chiunque ne abbia la necessità. Questi strumenti hanno subito, col progredire della tecnologia, un'evoluzione concettuale, passando dal semplice utilizzo come "magazzino" di dati a fornire aiuto di decision maker per compiere scelte in modo semplice (7).

Uno strumento di questo tipo può essere schematizzato come segue (figura 28):

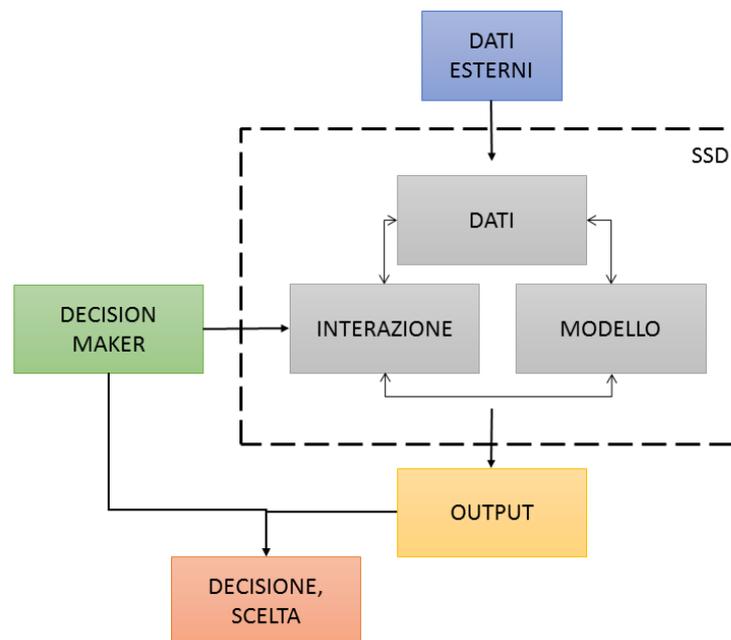


Figura 28: schema concettuale degli SSD, fonte (40) con rielaborazione dell'autore.

Le parti fondamentali di un sistema di questo tipo sono i dati esterni o input, cioè quelli che vengono inseriti dall'utente, il software e poi il risultato o output. Il sistema viene anche chiamato "scatola nera" poiché l'utente non è al corrente dei modelli e delle funzioni che si trovano all'interno.

Come si può notare dallo schema, l'utente ha la possibilità di interagire con il software, infatti l'interattività degli SSD è una delle parole chiave che permette all'operatore di fare richieste specifiche migliorando sia il tempo di esecuzione, poiché i dati da analizzare sono meno, che il risultato finale, che sarà più aderente alle esigenze.

Infine, si vuole sottolineare che alla decisione finale contribuiscono sia l'output che il decision maker; questo è dovuto al fatto che gli SSD, diversamente dalla ricerca operativa classica, non forniscono il risultato ottimo ma, spesso, solo un sub-ottimo, rendendo quindi necessaria una sinergia fra utente e sistema per ottenere la soluzione finale (40).

In conclusione, ripercorrendo le metodologie di analisi di incidentalità descritte fino ad ora, tra le analisi presentate quella aggregata è la più adatta a diventare la metodologia all'interno del sistema creato per questo studio. Infatti, ciò che risulta interessante è proprio fornire alle amministrazioni comunali e a chi è interessato a queste tematiche uno strumento che indichi, tramite un processo automatizzato, quali sono i punti critici per l'incidentalità stradale in un determinato territorio.

I dati di ingresso, in questo caso, saranno quelli sugli incidenti e sulla rete stradale di interesse, così come l'output potrebbe essere fornito tramite l'ausilio di un GIS, che assolve a quel criterio di facile e immediata comprensione che l'output di un SSD deve avere.

2.5 SINTESI DEL CAPITOLO

In questo capitolo sono stati presentati i principali dati utili per eseguire una panoramica generale sul fenomeno dell'incidentalità a differenti scale geografiche; insieme a questo si è descritto il processo di creazione e successiva elaborazione del dato rappresentante il sinistro. L'obiettivo era quello di evidenziare le criticità, per proporre delle migliorie, e le idee più interessanti, per sfruttarle nella progettazione del sistema di supporto alle decisioni.

Tramite l'elenco seguente si vuole ripercorrere il capitolo:

- **DATI SUGLI INCIDENTI:** la disponibilità dei dati incidentali è notevolmente migliorata, ma la qualità, cioè il numero di campi a disposizione e la loro completezza, è ancora molto variabile. Questo porta ad alcune differenze tra i diversi paesi nella creazione degli indici (come quello sul tipo di lesioni) ma anche sulla tecnica di analisi. Infatti, per utilizzare quelle in cui si considerano i punti come eventi singoli, si deve avere la localizzazione dell'incidente tramite coordinate satellitari, dato che la sola localizzazione tramite numero civico o doppia via perde alcune informazioni sull'esatta posizione (per esempio la corsia di un viale molto largo o il punto esatto di una rotatoria ad ampio raggio).
- **ANALISI DI INCIDENTALITÀ:** da un lato c'è l'analisi aggregata con i suoi criteri, che analizza in modo veloce una grande quantità di dati, dall'altra c'è l'analisi predittiva che tiene in considerazione le caratteristiche dell'infrastruttura rendendo il metodo più complesso e macchinoso. Si tenterà di fondere questi due aspetti positivi in una unica metodologia.
- **GIS:** l'utilizzo di questa tecnologia applicata all'analisi di incidentalità permette di creare risultati facilmente accessibili a tutti. Ci sono comunque degli aspetti da tenere in considerazione, come la necessità di una georeferenziazione precisa se si vuole eseguire un'analisi *event-based* o le difficoltà di suddividere in modo corretto la rete per un'analisi *link-attribute*.

CAPITOLO 3: MODELLO

In questo capitolo viene presentato il modello che è alla base dello strumento di supporto alle decisioni che si intende proporre. Verrà esposto nel dettaglio come si intende sviluppare l'analisi aggregata, con un particolare focus su due parti fondamentali: come viene concepita la rete stradale da analizzare e i criteri utilizzati per la determinazione dei punti neri.

3.1 DESCRIZIONE DEL MODELLO

Per meglio chiarire le relazioni tra gli elementi che verranno presentati si fornisce, di seguito, uno schema del modello (figura 29) che ricalca anche l'ordine con cui saranno spiegate le sue parti nel capitolo.

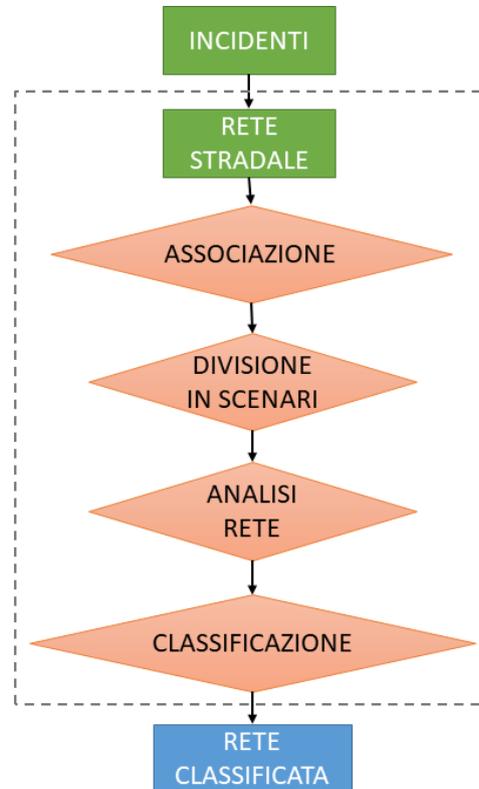


Figura 29: diagramma di flusso del modello del sistema di supporto alle decisioni progettato.

Prima verranno descritti gli elementi di input (rettangoli verdi) del modello che sono il dataset degli incidenti e la rete stradale, che dovrà essere fornita o costruita compatibilmente con il software GIS che si intende utilizzare. È corretto specificare che la rete stradale è all'interno del sistema di supporto alle decisioni (linea tratteggiata) poiché è un dato interno al modello, cioè si modifica nel tempo con una tempistica decisamente superiore a quella degli incidenti (che potrebbe essere aggiornata anche ogni giorno).

Successivamente nel capitolo viene spiegata l'associazione degli incidenti alla rete stradale che è un'operazione fondamentale senza la quale l'analisi proposta (del tipo *link-attribute*) non funzionerebbe.

Poi ci sarà la spiegazione della divisione degli incidenti in scenari e in particolare il perché è interessante utilizzare un dataset di incidenti con solo una parte del totale a disposizione.

I passi conclusivi sono l'analisi aggregata della rete stradale associata che, nel caso in esame, è costituita dalla determinazione dei punti neri tramite tre criteri distinti e la successiva creazione di una classifica che determini un ordine di intervento, per

giungere all'output che è una rete stradale con gli elementi critici classificati (rettangolo azzurro).

3.2 DATI DEGLI INCIDENTI

Per eseguire qualsiasi analisi è necessario avere un dataset incidentale che abbia determinate informazioni, come già evidenziato; bisogna considerare, però, che i dati degli incidenti sono l'unico dato esterno, cioè non costruito dall'utente. I dataset disponibili nel mondo sono molti e con alcune differenze, in questo caso si assumerà quello fornito dall'ISTAT. Per presentare gli attributi necessari per questo elaborato ci si avvale di una tabella (tabella 2) in cui una colonna è dedicata ad una descrizione generale del dato mentre la seconda al campo di riferimento, così come si trovano nel tracciato record ISTAT 2019.

DESCRIZIONE GENERALE	CAMPI ISTAT
Data del sinistro	<ul style="list-style-type: none"> • Data dell'incidente: anno • Data dell'incidente: mese • Data dell'incidente: giorno
Orario	<ul style="list-style-type: none"> • Ora • Minuti
Localizzazione dell'incidente intesa come coordinate satellitari, nome della via e numero civico o seconda via e tipo di elemento in cui è avvenuto (minimo intersezione e rettilineo)	<ul style="list-style-type: none"> • Intersezione o non intersezione: <ul style="list-style-type: none"> ○ 01=Incrocio ○ 02=Rotatoria ○ 03=Intersezione segnalata ○ 04=Intersezione con semaforo o vigile ○ 05=Intersezione non segnalata ○ 06=Passaggio a livello ○ 07=Rettilineo ○ 08=Curva ○ 09=Dosso, strettoia ○ 10=Pendenza ○ 11=Galleria illuminata ○ 12=Galleria non illuminata • Localizzazione dell'incidente: <ul style="list-style-type: none"> ○ 1=Strada urbana ○ 2=Strada provinciale nell'abitato ○ 3=Strada statale nell'abitato ○ 0=Strada regionale entro l'abitato ○ 4=Strada comunale extraurbana ○ 5=Strada provinciale fuori dell'abitato ○ 6=Strada statale fuori dell'abitato ○ 7=Autostrada ○ 8=Altra strada ○ 9=Strada regionale fuori l'abitato • Nome della strada: <ul style="list-style-type: none"> ○ Nome per esteso della strada, dell'eventuale numero civico, chilometro e tronco relativo al campo 12 "denominazione della strada", per tutte le tipologie di strade. Se l'incidente è avvenuto

	<p><i>all'intersezione stradale, indicare il nome di entrambe le strade.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • x e y o latitudine e longitudine
Tipologia dell'incidente	<ul style="list-style-type: none"> • Natura dell'incidente: <ul style="list-style-type: none"> ○ 01=Scontro frontale ○ 02=Scontro frontale-laterale ○ 03=Scontro-laterale ○ 04=Tamponamento ○ 05=Investimento di pedone ○ 06=Urto con veicolo in momentanea ○ 07=Urto con veicolo in sosta ○ 08=Urto con ostacolo accidentale ○ 09=Urto con treno ○ 10=Fuoriuscita ○ 11=Frenata improvvisa ○ 12=Caduta da veicolo
Fattori esterni come eventi metereologici, la luminosità e la visibilità	<ul style="list-style-type: none"> • Condizioni metereologiche: <ul style="list-style-type: none"> ○ 1=Sereno ○ 2=Nebbia ○ 3=Pioggia ○ 4=Grandine ○ 5=Neve ○ 6=Vento forte ○ 7=Altro • Fondo stradale: <ul style="list-style-type: none"> ○ 1=Asciutto ○ 2=Bagnato ○ 3=Sdruciolevole ○ 4=Ghiacciato ○ 5=Innevato
Fattori che hanno determinato l'accaduto imputabili alla strada, al veicolo o all'utente	<ul style="list-style-type: none"> • Circostanza relativa al veicolo A o B per inconvenienti di circolazione, difetti o avarie del veicolo o anormale stato psicofisico (97 voci)
Tipologia dei veicoli	<ul style="list-style-type: none"> • Tipologia di veicolo coinvolto: A, B, C: <ul style="list-style-type: none"> ○ 01=Autovettura privata ○ 02=Autovettura con rimorchio ○ 03=Autovettura pubblica ○ 04=Autovettura di soccorso o di polizia ○ 05=Autobus o filobus in servizio urbano ○ 06=Autobus di linea o non di linea in extraurbana ○ 07=Tram ○ 08=Autocarro ○ 09=Autotreno con rimorchio ○ 10=Autosnodato o autoarticolato ○ 11=Veicolo speciale ○ 12=Trattore stradale o motrice ○ 13=Trattore agricolo ○ 14=Velocipede ○ 15=Ciclomotore ○ 16=Motociclo a solo

	<ul style="list-style-type: none"> ○ 17=Motociclo con passeggero ○ 18=Motocarro o motofurgone ○ 19=Veicolo a trazione animale o a braccia ○ 20=Veicolo datosi alla fuga ○ 21=Quadriciclo
Età delle persone coinvolte	<ul style="list-style-type: none"> ● Età di conducenti, passeggeri e pedoni (tutti i campi disponibili)
Lesioni riportate dai soggetti coinvolti	<ul style="list-style-type: none"> ● Esito di conducente, passeggeri e pedoni (tutti i campi disponibili)

Tabella 2: principali caratteristiche di un incidente

In particolare, per questo modello ci sono dei dati fondamentali, cioè senza i quali lo strumento non produce nessun output, e dei dati facoltativi, che servono solo per migliorare le sue funzionalità. Tra i dati fondamentali c'è la localizzazione (fondamentale per l'associazione) e l'anno e le lesioni riportate dai soggetti coinvolti (per l'analisi), tutti gli altri dati sono facoltativi poiché utilizzati solo per la suddivisione in scenari (operazione non obbligatoria).

3.3 COSTRUZIONE DELLA RETE STRADALE

Questo paragrafo rappresenta la prima fase operativa del modello poiché a differenza dei dati sugli incidenti, la rete stradale di cui si ha bisogno è difficilmente fornita con le caratteristiche necessarie, quindi, bisogna prendere la base di partenza e modificarla agendo sia sulla geometria che sugli attributi. Una rete stradale in formato digitale GIS è costituita da due elementi principali, la geometria che descrive graficamente la posizione degli elementi nello spazio e gli attributi, per usare la terminologia GIS, che rappresentano le caratteristiche di ogni elemento (per esempio il nome o la lunghezza), le quali sono immagazzinate in un database con dei riferimenti ad essi.

La prima difficoltà consiste nel reperimento della rete, infatti, nonostante negli ultimi anni molte amministrazioni di tipo provinciale, regionale ma anche comunale si siano dotate di geoportali la principale cartografia disponibile riguarda le strade di interesse nazionale come le autostrade le tangenziali o le strade statali e provinciali. Inoltre, se si riuscisse a trovare la cartografia adatta (per esempio nel portale opensource OpenStreetMap ci sono anche le strade comunali) è difficile che siano presenti tutti gli attributi necessari, perciò serve una revisione da parte dell'utente.



Figura 30: schema concettuale del paragrafo "costruzione della rete stradale"

Per quanto riguarda l'organizzazione del paragrafo si fa riferimento alla figura 30 quindi, verranno subito descritte le caratteristiche fondamentali della rete per questo progetto poi nei paragrafi successivi si descriverà con precisione la caratterizzazione di archi e nodi con l'utilizzo dei codici per l'identificazione funzionale e strutturale degli elementi.

La rete in formato digitale, che è la base di partenza per redigere l'analisi d'incidentalità, deve avere alcune caratteristiche fondamentali:

1. Deve essere costituita unicamente da due elementi: gli archi e i nodi;
2. Ciascuno degli elementi deve essere identificato in modo univoco;
3. Ciascuno degli elementi deve avere un codice che lo identifichi dal punto di vista delle sue caratteristiche (principalmente strutturali).

Queste caratteristiche servono a garantire l'omogeneità degli elementi, aspetto fondamentale per fare, in fase di analisi, un confronto tra elementi appartenenti ad uno stesso "gruppo", cioè che abbiano le medesime caratteristiche funzionali e strutturali. La caratterizzazione degli elementi è un tema molto discusso in letteratura e che già il rapporto CNR del 13/03/1998 (24) aveva evidenziato come importante. Come affermato nel capitolo precedente, bisogna considerare che il rapporto CNR aveva dato ampio spazio alle caratteristiche dei tronchi stradali e meno a quelle delle intersezioni (dovuto probabilmente alla concezione di una principale applicazione in ambito extraurbano).

Se da una parte non si può rinunciare alle sopracitate caratteristiche della rete dall'altra si può fare a meno in alcuni punti di essere fedeli alla realtà, infatti, si deve tenere a mente che si sta costruendo una rete di calcolo, un modello dell'area in esame, quindi lo scopo non è avere una geometria precisa poiché sono gli attributi poi che la caratterizzano (un esempio potrebbero essere le rotatorie che vengono rappresentate con un punto "eliminando" la corona rotatoria, come mostrato in figura 31).



Figura 31: esempio di come la rete di calcolo non sempre rappresenta la realtà

1. Considerando la prima caratteristica fondamentale, la divisione della rete stradale in archi e nodi (figura 32), si può affermare che è necessaria per la loro profonda diversità. La prima differenza riguarda la geometria infatti, un nodo rappresenta un'intersezione con un punto mentre un arco rappresenta il tratto di strada tra due intersezioni con una linea, la seconda differenza è descritta e approfondita in alcune ricerche, dove viene esposto il concetto che nelle

intersezioni avviene una percentuale considerevole di incidenti (41). In effetti, tramite i più recenti dati ISTAT (2017), si può produrre una tabella (tabella 3) che suddivide gli incidenti attraverso il campo del tracciato record che indica dove è avvenuto l'incidente (si suddivide tra intersezione, in blu, o non intersezione, in giallo):

INTERSEZIONE O NON INTERSEZIONE	PERCENTUALI ISTAT 2017		
INCROCIO	21%	47%	NODI
ROTATORIA	5%		
INTERSEZIONE SEGNALATA	11%		
SEMAFORO	8%		
INTERSEZIONE NON SEGNALATA	2%		
PASSAGGIO A LIVELLO	0%		
RETTILINEO	45%	53%	ARCHI
CURVA	7%		
DOSSO	0%		
PENDENZA	1%		
GALLERIA ILLUMINATA	0%		
GALLERIA NON ILLUMINATA	0%		

Tabella 3: percentuali determinate dall'elaborazione dei dati ISTAT 2017 sugli incidenti stradali, utilizzando come denominatore del rapporto il numero totale di incidenti avvenuti in ambito urbano (130.461).

Nella tabella si vede che il numero degli incidenti occorsi nelle intersezioni è circa la metà del totale. Considerando che l'estensione di un'intersezione (che è approssimabile ad un punto) è minore di quella di un tratto di strada (approssimabile con una linea) vengono giustificate le affermazioni precedenti, cioè che i nodi sono elementi ad alta incidentalità, poiché concentrano un numero uguale di incidenti a quello degli archi ma in un'area minore.

Dunque, analizzare una rete senza questa suddivisione tra nodi ed archi, in accordo con la definizione di punto nero, che definisce un elemento come critico confrontandolo con altri simili (archi e nodi non sono simili), porterebbe, come già dichiarato nel precedente capitolo, all'individuazione di tali elementi solo nelle intersezioni.



Figura 32: esempio di rete stradale. Nell'immagine in alto si denota un'area della città di Brugherio (MB), Italia (fonte Google Maps) mentre in basso la stessa area ma come rete di calcolo con archi (linee blu) e nodi (punti rossi).

2. Per quanto riguarda invece la seconda caratteristica di una rete, citate all'inizio del paragrafo, l'identificazione in modo univoco di un elemento è necessaria per evitare che un incidente venga associato a più elementi a causa di nomi o numeri simili tra loro.

In questo testo si propone di utilizzare un numero identificativo o ID che va da 0 a n (figura 33). Così facendo si sacrifica l'interpretazione immediata dei risultati poiché, soprattutto in città estese, è impossibile associare mentalmente un numero ad ogni intersezione o tratto di strada. Il nome di due o più vie, che è più facilmente memorizzabile, può essere un modo univoco per distinguere i nodi (è impossibile che due o più vie si intersechino più volte nel medesimo territorio) ma non lo è per gli archi, poiché una via può essere suddivisa in diversi segmenti, che avrebbero lo stesso nome. Un'idea che in futuro potrebbe essere usata per migliorare la leggibilità dei risultati è unire al nome della via i numeri civici di inizio e fine tratta (dato che si sta pensando ad un contesto urbano) oppure una progressiva chilometrica.

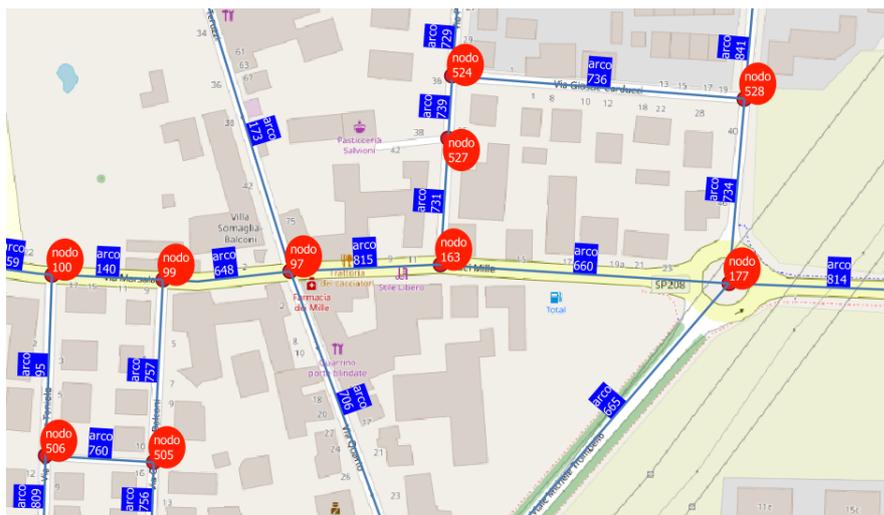


Figura 33: l'area precedentemente mostrata con la suddivisione in archi e nodi a cui si aggiungono anche gli identificativi numerici o ID

3. Il terzo ed ultimo punto fondamentale riguarda il codice, anticipando ciò che verrà trattato nel dettaglio successivamente, si può affermare che il codice identifica in modo funzionale e strutturale l'elemento, permettendo di poter effettuare un confronto con solo elementi simili a quello in esame, cioè quegli elementi che presentano lo stesso codice, è importante, infatti, non confondere il codice, di tipo alfanumerico, con l'ID, di tipo numerico, poiché possono esserci più elementi con lo stesso codice ma non con lo stesso ID. Il codice proposto è di tipo alfanumerico, cioè è composto da una concatenazione di lettere e numeri che in modo ordinato definiscono le caratteristiche dell'elemento (figura 34). Le specifiche di ogni carattere del codice saranno trattate nel dettaglio nei due capitoli che seguono.

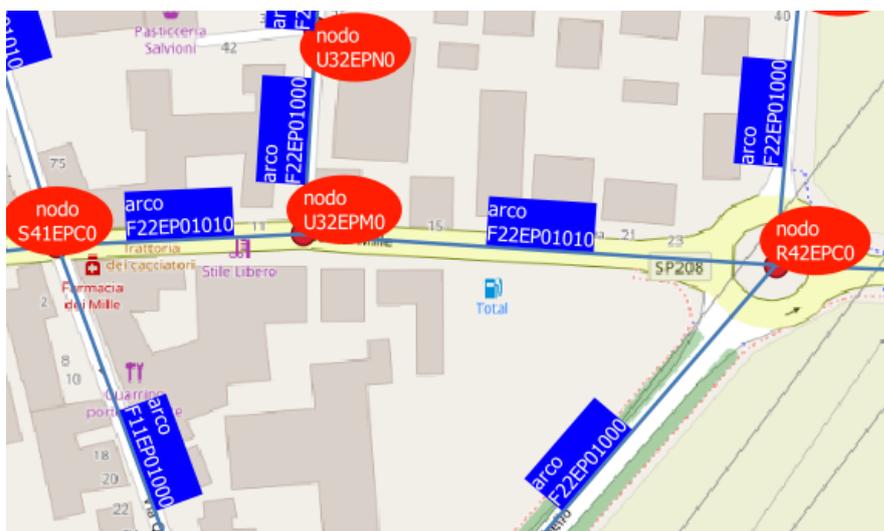


Figura 34: dettaglio della precedente area della città di Brugherio (MB), Italia per evidenziare i codici associati ad ogni elemento.

3.3.1 CARATTERIZZAZIONE DEGLI ARCHI

La definizione che è stata data, dall'autore del testo, per questi elementi è: *qualsiasi parte della rete stradale che non abbia al suo interno alcuna possibilità effettuare cambi di direzione eccetto quelli necessari per entrare o uscire dai passi carrabili o per parcheggiare a lato strada*. Quindi, dal punto di vista geometrico, possiamo definire un arco come un segmento di strada che abbia come punti di estremità due nodi. Inoltre, è doveroso aggiungere che le caratteristiche di un arco devono essere le medesime per tutta la sua lunghezza, altrimenti è bene dividerlo in più parti per ottemperare a quel criterio di omogeneità discusso all'inizio di questo sotto capitolo.

Bisogna precisare che un arco è rappresentato, nella rete di calcolo, da una linea che rappresenta la mezzeria della carreggiata; quindi per strade a più carreggiate saranno presenti tanti archi quante solo le carreggiate (per chiarire si veda figura 36).

Di seguito verranno elencate le caratteristiche di un arco che sono state ritenute particolarmente interessanti per l'analisi sulla sicurezza delle strade effettuata nel modello qui sviluppato, in particolare, verrà anche spiegato ogni singolo valore del codice alfanumerico utilizzato proprio per la caratterizzazione funzionale e strutturale degli elementi:

FUNZIONALITÀ

Seguendo quanto stabilito dal DM del 5 novembre 2001, n. 6792 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade"(42), si individuano sei tipologie di strade suddivise in base alla funzionalità nel territorio, i fattori chiave riguardano il tipo di movimento servito (di transito, di accesso ...), la distanza media percorsa, l'ambito del collegamento (nazionale, regionale ...) e componenti del traffico. Per queste sei tipologie è previsto un codice che ricalca la lettera con cui sono identificate nella normativa.

In più si aggiunge una settima categoria che prende il nome di "strada di servizio" e che comprende una serie di strade che, in ambito urbano, sono molto numerose, e sono per esempio le strade private (che non sono di competenza delle amministrazioni), le strade di accesso ai parcheggi e quelle di circolazione al loro interno e le strade dove è interdetta la circolazione ai veicoli a motore (figura 35).

VALORI	CODICE
• AUTOSTRADA	• A
• STRADA EXTRAURBANA PRINCIPALE	• B
• STRADA EXTRAURBANA SECONDARIA	• C
• STRADA URBANE DI SCORRIMENTO	• D
• STRADA URBNA DI QUARTIERE	• E
• STRADA LOCALE	• F
• STRADA DISERVIZIO	• S

Tabella 4: elenco valori e relativi codici della categoria funzionalità degli archi



Figura 35: esempio di strada etichettata come di servizio (S), Brugherio (MB), Italia; fonte: Google Maps

NUMERO DI CORSIE

Questa caratteristica definisce il numero di corsie in cui è suddivisa l'intera carreggiata stradale. Nella categoria tre corsie vengono incluse anche le strade a più di tre corsie, dal momento che risultano simili a quelle che rientrano in quest'ultima categoria.

VALORI	CODICE
• 1	• 1
• 2	• 2
• ≥ 3	• 3

Tabella 5: elenco valori e relativi codici della categoria "numero di corsie degli archi"

SENSO DI MARCIA

Questo attributo specifica se le corsie precedentemente indicate sono a senso unico o doppio senso, poiché dal punto di vista incidentale è una distinzione importante. Inoltre, questa caratteristica definisce meglio l'impianto strutturale della strada: per esempio un arco a due corsie doppio senso di marcia è una classica strada urbana, mentre due corsie a senso unico potrebbero rappresentare una carreggiata autostradale (figura 36).

VALORI	CODICE
• UNICO	• 1
• DOPPIO	• 2

Tabella 6: elenco valori e relativi codici della categoria senso di marcia degli archi



Figura 36: esempio di rappresentazione degli archi (linea nera) ed esempi di uso della categoria “numero di corsie” e “senso di marcia”. Immagine a) 1 arco con 2 corsie doppio senso, b) 1 arco 1 corsia senso unico, c) 2 archi ciascuno con 2 corsie a senso unico.

VELOCITÀ

I valori di questo attributo rappresentano i limiti di velocità della strada. Secondo l’art. 142 del Nuovo Codice della Strada (decreto legislativo 30 aprile 1992 n. 285 e successive modificazioni) i limiti di velocità delle strade italiane sono 50, 90, 110, 130 Km/h, a cui si aggiunge 30 Km/h per le zone a bassa velocità, che si stanno diffondendo nei centri urbani, e 70 Km/h per le tratte urbane con caratteristiche idonee.

Il codice è una lettera che rappresenta la tipologia di strade con quel limite di velocità secondo la normativa citata precedentemente (42), ad eccezione del 30 Km/h che non rispecchia il limite delle strade di tipo “F” (che è 50 Km/h).

VALORI	CODICE
• 30	• F
• 50	• E
• 70	• D
• 90	• C
• 110	• B
• 130	• A

Tabella 7: elenco valori e relativi codici della categoria velocità degli archi.

PAVIMENTAZIONE

Questa caratteristica categorizza i tipi di pavimentazione che possono essere presenti, anche in questo caso si sono creati dei valori che contengono diverse tipologie di pavimentazione, per evitare di avere troppe possibilità:

- Pavimentata: nella quale rientrano i conglomerati bituminosi, le lastre in calcestruzzo e qualsiasi altra tipologia costituita da un legante e dagli aggregati;

- Ad elementi: sono comprese tutte le pavimentazioni utilizzate, spesso, per abbellire il centro città, troviamo ad esempio quelli in pietra e in masselli autobloccanti;
- Con rotaie: tipologia interessante per quanto riguarda l'incidentalità stradale e che fa riferimento a quei tratti dove è presente un trasporto pubblico locale (TPL) su ferro;
- Non pavimentate, tutte le strade che non rientrano nelle precedenti categorie.

VALORI	CODICE
• PAVIMENTATA	• P
• AD ELEMENTI	• N
• NON PAVIMENTATA	• U
• ROTAIE	• R

Tabella 8: elenco valori e relativi codici della categoria pavimentazione degli archi.



Figura 37: a) pavimentazione in conglomerato bituminoso, categoria PAVIMENTATA, b) pavimentazione in calcestruzzo, categoria PAIMENTATA, c) esempio di categoria AD ELEMENTI, d) strada sterrata, categoria NON PAVIMENTATA, e) esempio di categoria CON ROTATIE. (fonte a,c,e Google Maps, b (43), d (44)).

PISTA CICLABILE

La presenza o meno di una porzione di strada dedicata alla viabilità ciclabile è interessante per lo studio degli incidenti che coinvolgono questa categoria di utenti. Perché il campo sia affermativo, cioè con un codice identificativo pari a "1", la parte ciclabile deve essere segnalata e utilizzabile per tutto lo sviluppo dell'area, non interessa il lato della carreggiata in cui si trova purché vi sia un attraversamento idoneo (figura 38).

VALORI	CODICE
• PRESENTE	• 1
• ASSENTE	• 0

Tabella 9: elenco valori e relativi codici della categoria pista ciclabile degli archi.



Figura 38: esempio di arco (linea nera) con la PRESENZA di una pista ciclabile (linea rossa), essa si trova prima da un lato e poi dall'altro ma c'è un opportuno attraversamento. (fonte: Google Maps)

MARCAPIEDE

Valgono le stesse regole del precedente campo, con la differente destinazione d'uso che in questo caso sono i pedoni.

VALORI	CODICE
<ul style="list-style-type: none"> • PRESENTE 	<ul style="list-style-type: none"> • 1
<ul style="list-style-type: none"> • ASSENTE 	<ul style="list-style-type: none"> • 0

Tabella 10: elenco valori e relativi codici della categoria marciapiede degli archi.



Figura 39: arco (linea nera) con marciapiede (linee gialle) PRESENTE sul lato sinistro e destro. (fonte: Google Maps)

ATTRAVERSAMENTO PEDONALE

Se sono presenti uno o più attraversamenti pedonali nel tratto considerato il valore sarà positivo, cioè con codice identificativo pari a “1”, altrimenti verrà codificato con uno “0”.

VALORI	CODICE
<ul style="list-style-type: none">• PRESENTE	<ul style="list-style-type: none">• 1
<ul style="list-style-type: none">• ASSENTE	<ul style="list-style-type: none">• 0

Tabella 11: elenco valori e relativi codici della categoria attraversamento pedonale degli archi.

SOSTA LATERALE

Si vogliono identificare gli archi dove è consentita la sosta a lato, dove, quindi, si possono verificare manovre conflittuali. Il valore positivo pari a “1” lo si ha anche se in tutto il tratto è presente un solo stallo per la sosta (figura 40).

VALORI	CODICE
<ul style="list-style-type: none">• PRESENTE	<ul style="list-style-type: none">• 1
<ul style="list-style-type: none">• ASSENTE	<ul style="list-style-type: none">• 0

Tabella 12: elenco valori e relativi codici della categoria sosta laterale degli archi.



Figura 40: arco con PRESENZA di sosta laterale (poligono in verde). (fonte: Google Maps)

CORSIA RISERVATA

Indica la presenza di una o più corsie riservate ad alcune particolari categorie di veicoli (generalmente autobus, taxi e veicoli di soccorso).

VALORI	CODICE
<ul style="list-style-type: none">• PRESENTE	<ul style="list-style-type: none">• 1
<ul style="list-style-type: none">• ASSENTE	<ul style="list-style-type: none">• 0

Tabella 13: elenco valori e relativi codici della categoria corsia riservata degli archi.



Figura 41: arco con la PRESENZA della corsia riservata. (fonte:(45)).

FERMATA TPL

Questa caratteristica risulta particolarmente interessante, poiché indica la presenza di una particolare tipologia di veicolo, cioè un mezzo pubblico, che generalmente esegue manovre di arresto e ripartenza o sulla carreggiata stessa (figura 42) o in un'isola di sosta dedicata.

VALORI	CODICE
• PRESENTE	• 1
• ASSENTE	• 0

Tabella 14 elenco valori e relativi codici della categoria fermata tpl degli archi.



Figura 42: arco con la PRESENZA di una fermata del trasporto pubblico (autobus). (fonte: Google Maps)

Di seguito si riporta una tabella (tabella 15) riepilogativa delle caratteristiche, ordinate per come sono state descritte precedentemente, e i relativi codici associati per gli archi. In Figura 43 si illustra un esempio di codice e la relativa spiegazione.

CATEGORIE/ ATTRIBUTI	VALORI	CODICE
FUNZIONALITÀ	<ul style="list-style-type: none"> • AUTOSTRADA • STRADA EXTRAURBANA PRINCIPALE • STRADA EXTRAURBANA SECONDARIA • STRADA URBANE DI SCORRIMENTO • STRADA URBANA DI QUARTIERE • STRADA LOCALE • STRADA DISERVIZIO 	<ul style="list-style-type: none"> • A • B • C • D • E • F • S
NUMERO CORSIE	<ul style="list-style-type: none"> • 1 • 2 • >= 3 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 • 2 • 3
SENSO DI MARCIA	<ul style="list-style-type: none"> • UNICO • DOPPIO 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 • 2
VELOCITÀ	<ul style="list-style-type: none"> • 30 • 50 • 70 • 90 • 110 • 130 	<ul style="list-style-type: none"> • F • E • D • C • B • A
PAVIMENTAZIONE	<ul style="list-style-type: none"> • PAVIMENTATA • IN PIETRA • NON PAVIMENTATA • CON ROTAIE 	<ul style="list-style-type: none"> • P • N • U • R

PISTA CICLABILE	<ul style="list-style-type: none"> • SI • NO 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 • 0
MARCIAPIEDE	<ul style="list-style-type: none"> • SI • NO 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 • 0
ATTRAVERSAMENTO PEDONALE	<ul style="list-style-type: none"> • SI • NO 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 • 0
SOSTA LATERALE	<ul style="list-style-type: none"> • SI • NO 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 • 0
CORSIA RISERVATA	<ul style="list-style-type: none"> • SI • NO 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 • 0
FERMATA TPL	<ul style="list-style-type: none"> • SI • NO 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 • 0

Tabella 15: riassunto di tutte le categorie e tutti i codici, in forma ordinata, che definiscono un arco

Per l'esempio di utilizzo del codice vedere figura 43: l'arco Michele Trombello ha il codice F22EP01000 che viene tradotto in strada locale (F), due corsie (2), doppio senso di marcia (2), 50 km/h (E), pavimentata (P), assenza di pista ciclabile (0), presenza di marciapiede (1), assenza di attraversamenti pedonali, sosta laterale e corsia riservata (000), non è presente la categoria "fermata tpl".



Figura 43: viale Michele Trombello, Brugherio (MB), Italia. (fonte Google Maps).

LUNGHEZZA E TGM

Infine, si presentano altri due attributi degli archi che, però, non essendo dati discreti ma continui, non vengono inseriti nel codice. Essi sono la LUNGHEZZA dell'elemento, che serve per tenere in considerazione che in un elemento lungo c'è una probabilità superiore di avere più incidenti e il TRAFFICO GIORNALIERO MEDIO. Quest'ultimo parametro è importante poiché definisce se il traffico dell'elemento è scarso o sostenuto indicando una minore o maggiore probabilità di accadimento degli incidenti.

3.3.2 CARATTERIZZAZIONE DEI NODI

Anche in questo caso viene data, dall'autore, una definizione funzionale di nodo indicandolo come: *ogni area della rete stradale dove è possibile che si crei un conflitto di traiettorie tra i veicoli*. Questi elementi possono essere anche definiti, geometricamente parlando, come i punti in cui convergono almeno tre archi. Inoltre, devono anche avere le seguenti ulteriori caratteristiche:

- Rimangono esclusi tutti gli innesti creati da passi carrabili.
- Il nodo è generalmente posizionato al centro dell'intersezione.

Per quanto riguarda le caratteristiche proprie dei nodi, si evidenzia che molte di queste derivano dagli archi che vi confluiscono, di seguito saranno descritti i valori e i campi che formano il codice per questi elementi:

CARATTERISTICA DEL NODO

La prima categoria è la definizione della caratteristica principale del nodo, cioè la tipologia di intersezione alla quale appartiene; a tal proposito vengono proposte quattro categorie:

- Rotatoria: intersezione circolare nella quale i veicoli transitano all'interno di un anello, detto corona rotatoria; è regolata dal dare la precedenza a chi viene da sinistra e le svolte possono avvenire solo a destra.
- Intersezione semaforizzata: raggruppa la categoria delle intersezioni dove la circolazione è regolata da lanterne semaforiche o dall'ormai remoto caso di un agente predisposto.
- Intersezione non semaforizzata: racchiude tutte le altre intersezioni che si creano tra due o più archi appartenenti a categorie di strada diverse da quelle di servizio (classificate nel paragrafo archi con "S") e generalmente regolate da stop o precedenza.
- Uscita di servizio: raggruppa tutte le intersezioni che non sono semaforizzate o a rotatoria, hanno solo tre rami e almeno un arco di tipo "S" (figura 44).

VALORI	CODICE
• ROTATORIA	• R
• INTERSEZIONE SEMAFORIZZATA	• S
• INTERSEZIONE NON SEMAFORIZZATA	• U
• USCITA DI SERVIZIO	• E

Tabella 16: elenco dei valori e dei codici della categoria caratteristica della strada dei nodi



Figura 44: esempio di uscita di servizio (E) formata tra due archi F e la strada di uscita da un parcheggio (S).
(fonte Google Maps).

NUMERO DI RAMI CONVERGENTI

Un parametro fondamentale per capire le dimensioni del nodo è rappresentato dal numero di rami che convergono. In questo caso si decide di suddividere i nodi presenti nella rete in categorie, equiparate a codici, quali: due rami, tre rami e quattro o più rami (caso tipico delle intersezioni a rotatoria che comunque non implica un aumento delle dimensioni del nodo stesso).

VALORI	CODICE
2	2
3	3
4+	4

Tabella 17: elenco dei valori e dei codici della categoria numero di rami convergenti dei nodi

NUMERO MEDIO DI CORSIE

Per completare il quadro delle dimensioni del nodo, è utile sapere quante corsie effettivamente “entrano” nell’intersezione; in particolare si vuole capire se convergono mediamente due corsie, o più o meno di due corsie. Per maggiore chiarezza si rimanda

alla Figura 45 dove il nodo rappresentato (la rotatoria) ha come media aritmetica delle corsie afferenti 1,75, quindi, sarà categorizzata con il codice 1.

VALORI	CODICE
< 2	1
2	2
> 2	3

Tabella 18: elenco dei valori e dei codici della categoria numero di rami convergenti dei nodi



Figura 45: esempio di calcolo della media delle corsie. (fonte Google Maps)

VELOCITÀ

Il parametro denominato “velocità” in questo caso non indica il limite di velocità del nodo, ma indica la media dei limiti di velocità degli archi che convergono al nodo. Siccome il valore potrebbe essere un qualsiasi numero reale positivo, si decide di utilizzare la stessa classificazione descritta in precedenza per gli archi, rappresentando il valore ottenuto sempre come pari al limite superiore (per esempio, se la media è di 45 Km/h il valore che verrà utilizzato è 50 Km/h).

VALORI	CODICE
• 30	• F
• 50	• E
• 70	• D
• 90	• C
• 110	• B
• 130	• A

Tabella 19: elenco dei valori e dei codici della categoria velocità dei nodi

PAVIMENTAZIONE

Valgono le indicazioni fornite per il medesimo campo nel sotto capitolo sugli archi. In questo caso si fa riferimento solo all'area dell'intersezione.

VALORI	CODICE
• PAVIMENTATA	• P
• AD ELEMENTI	• N
• NON PAVIMENTATA	• U
• ROTAIE	• R

Tabella 20: elenco dei valori e dei codici della categoria pavimentazione dei nodi

PISTA CICLABILE

Come per il caso precedente, anche questo attributo dipende da quello degli archi. Infatti, se tutti gli archi afferenti al nodo hanno almeno una pista ciclabile, allora il valore sarà positivo (figura 46 a destra), in tutti gli altri casi sarà negativo (figura 46 a sinistra). Questa scelta è data dal fatto che i velocipedisti affrontano le intersezioni in modo diverso: se c'è la pista ciclabile ovunque, è probabile che seguano il percorso indicato dagli appositi attraversamenti mentre negli altri casi è possibile che compiano manovre potenzialmente pericolose.

VALORI	CODICE
• PRESENTE	• 1
• ASSENTE	• 0

Tabella 21: elenco dei valori e dei codici della categoria pista ciclabile dei nodi



Figura 46: esempio di nodo con la PRESENZA di pista ciclabile (a sinistra) e con ASSENZA di pista ciclabile (a destra). (fonte Google Maps)

ATTRAVERSAMENTO PEDONALE

Il primo passo per definire il codice relativo a questa categoria è capire se un attraversamento pedonale può considerarsi di competenza di un nodo. Secondo le “Linee guida per la progettazione degli attraversamenti pedonali” di ACI del 2011 (46), l’attraversamento dovrebbe iniziare al massimo 5 metri dopo la fine dell’area dell’intersezione (come in figura 47) e dato che poi si assume una larghezza ipotetica delle strisce pedonali pari a 5 m, un attraversamento pedonale si può considerare all’interno del nodo se si trova entro 10 m dalla fine dell’arco in cui è posto. Quindi, il criterio da utilizzare in una città per capire se un nodo possiede attraversamenti è quello di fissare un raggio pari al raggio dell’intersezione più grande, del territorio, più 10 m partendo dal centro dell’intersezione, come evidenziato nella figura 48A (centro dell’intersezione o nodo in arancione e raggio ipotetico in nero).

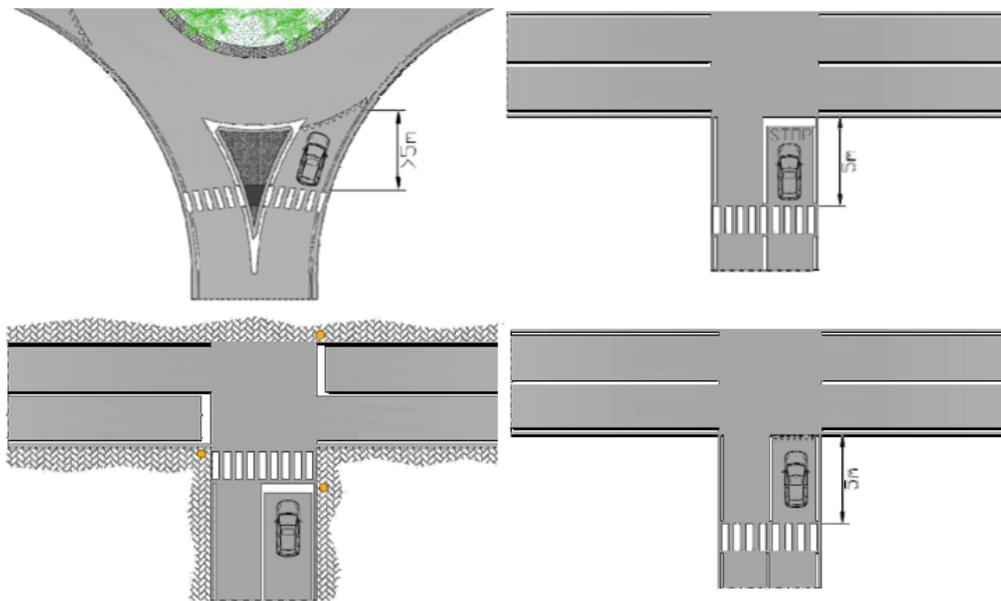


Figura 47: esempi di posizionamento degli attraversamenti pedonali secondo le linee guida ACI citate.

Una volta stabilito quanti sono gli attraversamenti appartenenti al nodo, è possibile confrontare questo numero con quello di rami per determinare se l’attraversamento è **COMPLETO** (numero attraversamenti \geq numero rami), **NON COMPLETO** (numero attraversamenti $<$ numero rami) o **NON PRESENTE** (numero attraversamenti = 0), esempi in figura 48. L’attraversamento pedonale è considerato come unico anche se diviso in due o più parti da isole salvagente.

VALORI	CODICE
• COMPLETO	• C
• NON COMPLETO	• M
• NON PRESENTE	• N

Tabella 22: elenco dei valori e dei codici della categoria numero di attraversamenti pedonali dei nodi



Figura 48: esempio di a) attraversamento completo (C), b) attraversamento non completo (M), e c) attraversamento non presente (N). (fonte Google Maps)

Di seguito viene fornita una tabella riepilogativa delle caratteristiche dei nodi e un esempio di codice in Figura 49.

CATEGORIE/ ATTRIBUTI	VALORI	CODIFICA
CARATTERISTICA DEL NODO	<ul style="list-style-type: none"> • ROTATORIA • INTERSEZIONE SEMAFORIZZATA • INTERSEZIONE NON SEMAFORIZZATA • USCITA DI SERVIZIO 	<ul style="list-style-type: none"> • R • S • U • E
NUMERO RAMI CONVERGENTI	<ul style="list-style-type: none"> • 2 • 3 • 4+ 	<ul style="list-style-type: none"> • 2 • 3 • 4
NUMERO MEDIO DI CORSIE	<ul style="list-style-type: none"> • < 2 • 2 • > 2 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 • 2 • 3
VELOCITÀ	<ul style="list-style-type: none"> • 30 • 50 • 70 • 90 • 110 • 130 	<ul style="list-style-type: none"> • F • E • D • C • B • A
PAVIMENTAZIONE	<ul style="list-style-type: none"> • PAVIMENTATA • IN PIETRA • NON PAVIMENTATA • CON ROTAIE 	<ul style="list-style-type: none"> • P • N • U • R
ATTRAVERSAMENTO PEDONALE	<ul style="list-style-type: none"> • COMPLETO • NON COMPLETO • NON PRESENTI 	<ul style="list-style-type: none"> • C • M • N
PISTA CICLABILE	<ul style="list-style-type: none"> • SI • NO 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 • 0

Tabella 23: riassunto di tutte le categorie e tutti i codici, in forma ordinata, che definiscono un nodo.

Il codice del nodo, di figura 49, è R42EPC0 che identifica una rotatoria (R) a quattro rami convergenti (4) con una media di due corsie per ramo (2), la velocità media è 50 km/h (E), è pavimentata (P), ogni ramo ha un attraversamento pedonale (C) e non tutti gli archi hanno la pista ciclabile (0).



Figura 49: intersezione tra via Dei Mille, via Santa Clotilde e viale Michele Trombello, Brugherio (MB), Italia.
(fonte Google Maps)

3.4 ASSOCIAZIONE DEGLI INCIDENTI ALLA RETE STRADALE

Alla fine della costruzione della rete stradale ogni elemento ha il campo con l'identificativo ID (differente per ogni elemento) e quello con il codice (che può essere uguale tra elementi se hanno le stesse caratteristiche strutturali e funzionali). Il paragrafo sarà organizzato in modo da spiegare per primo cosa si intende per associazione, poi come la si vuole realizzare ed infine alcune problematiche che affliggono questa procedura.

L'operazione di associazione di un incidente alla rete stradale si realizza col determinare, per ogni incidente, il nodo o l'arco a cui corrisponde, grazie a questa operazione successivamente si potranno ottenere (tramite delle somme tra le informazioni aggiunte) per ogni elemento della rete delle informazioni sugli eventi incidentali occorsi. La figura seguente (figura 50) mostra quali sono le informazioni degli incidenti da trasportare sugli elementi e quali nuovi campi possono essere realizzati con queste informazioni.

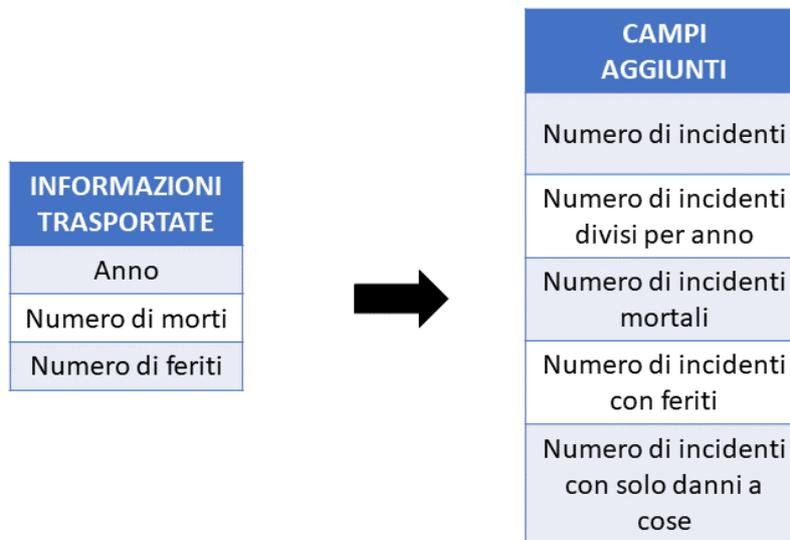


Figura 50: campi trasportati dagli incidenti agli elementi tramite associazione e campi ottenuti tramite rielaborazione delle informazioni aggiunte.

Il primo passaggio di questa operazione consiste nel dividere gli incidenti in due gruppi, il primo gruppo deve contenere tutti quelli avvenuti nelle intersezioni (che saranno associati ai nodi) mentre al secondo gruppo afferiscono gli incidenti avvenuti al di fuori di queste (che saranno associati agli archi).

Si prosegue analizzando i due gruppi separatamente, cioè si assoceranno gli incidenti in due volte, prima quelli ai nodi e poi quelli agli archi (oppure viceversa), ciò permette di eliminare subito una problematica di associazione, quella di scegliere se l'incidente è di competenza del nodo o dell'arco. Infatti, se non ci fosse un campo degli incidenti che fa questa scelta, si dovrebbe adottare un criterio spaziale secondo cui un incidente è associato ad un nodo se è distante da esso non più di una certa distanza e agli archi quelli che non soddisfano questo criterio (come è stato fatto per gli attraversamenti pedonali nel paragrafo precedente).

Ogni incidente verrà associato all'elemento più vicino ma entro certi limiti di tolleranza. Generalmente viene definito un cerchio con centro avente le coordinate dell'incidente e raggio variabile. Il valore del raggio si può definire come la massima distanza tra incidente e nodo o asse della strada; affinché le coordinate di un incidente possano considerarsi corrette, quindi, si può considerare come raggio effettivo quello che corrisponde all'intersezione più grande oppure la larghezza della semi-carreggiata della strada più larga del territorio in esame. A questa misura si dovrà sempre aggiungere una tolleranza relativa all'elemento di rilevazione (che generalmente, anche per un semplice strumento integrato in uno smartphone, sono circa 5 m (47)).

L'ultimo passaggio consiste nel verificare che l'associazione tra elemento della rete e incidente sia avvenuta correttamente. Per fare ciò, si dovrà verificare che il nome della strada o dell'intersezione riportate nel campo apposito della scheda di rilevazione degli incidenti coincida con quello dell'arco o del nodo associato. Questo passaggio è fondamentale, dato che è possibile che risultino situazioni critiche in cui l'algoritmo associa per vicinanza elementi non corretti; nel caso in cui ci siano errori di questo tipo

sarà necessario agire caso per caso per correggere manualmente l'associazione. Di seguito si riporta un esempio (figura 51) che mostra le situazioni di potenziale criticità. Nell'immagine a) si rappresenta il tipico problema di un incidente avvenuto nei pressi di una intersezione ma da associare ad un arco (secondo il rapporto) e l'errore deriva dal fatto che l'incidente risulta più vicino all'arco 641 rispetto a quello corretto il 220. Nell'immagine b) si presenta il problema di un controviale con la stessa denominazione del viale principale in questo caso data la vicinanza tra i due elementi può facilmente accadere un'imprecisione. Nell'immagine c), infine, è raffigurato il problema che si ha quando ci sono due elementi che si sovrappongono ma sono sfalsati altimetricamente fra loro, il problema è simile all'immagine a.



Figura 51: esempi di potenziale criticità durante la fase di associazione.

3.5 SCENARI D'INCIDENTE

Prima di analizzare i dati e, quindi, arrivare al punto chiave del modello, può risultare particolarmente utile filtrare il dataset incidentale tramite la metodologia dello scenario di incidente. Gli scenari di incidente sono ormai un metodo consolidato nell'analisi di incidentalità di tipo disaggregato (26), ma qui vengono utilizzati per una fase preprocessuale. Dal punto di vista delle definizioni, numerose ricerche del settore concordano sul fatto che gli scenari d'incidente sono: *“uno svolgimento prototipale corrispondente a un gruppo di incidenti che presentano una similitudine d'insieme nel concatenamento degli eventi e delle relazioni causali, all'interno delle diverse fasi che conducono alla collisione. (Brenac e Magherbi, 1996); (Fleury e Brenac, 1997)”*(25).

L'utilizzo di scenari che evidenziano incidenti che hanno in comune una particolare caratteristica serve ad evidenziare alcuni punti neri che sono specifici per questo dato e che potrebbero non emergere in un'analisi con il dataset completo, come viene mostrato in qualche ricerca più approfondita sulla tematica (48). Il principale vantaggio che si può trarre da un'analisi fatta sulla base di scenari è quello di poter concentrare le risorse e gli interventi nei punti critici del territorio, con una speciale attenzione per quegli scenari che sono particolarmente rilevanti per i decisori (per

numero o gravità dei sinistri o per il forte impatto sociale di alcune tipologie di incidenti, come quelli che coinvolgono utenti deboli).

Dal punto di vista operativo, la creazione di scenari specifici per ogni caso in esame avviene con una prima fase di analisi approfondito di incidentalità sugli eventi occorsi in una particolare zona in esame. Lo studio può essere effettuato tramite un'analisi classica, per esempio ad indicatori, che permetta di scegliere le principali caratteristiche degli incidenti da utilizzare per il filtraggio del dataset.

Nel caso in cui nel modello pratico non si riesca a garantire la flessibilità descritta sopra o non sia possibile condurre un'analisi preliminare sul dato, in questo elaborato si forniscono degli scenari di base incentrati sulle principali tematiche in materia. Il loro scopo è anche quello di fornire un esempio e un aiuto a chi si trova ad utilizzare un nuovo strumento di lavoro.

Il procedimento con cui sono stati definiti gli scenari di base ha previsto la consultazione dei rapporti sugli incidenti stradali relativi a differenti "scale". A livello mondiale ci sono le osservazioni dell'organizzazione Mondiale della Sanità (1), poi ci sono i piani decennali della sicurezza dell'unione Europea (attualmente è in vigore quello tra il 2011 e il 2020) (3) ed infine i documenti nazionali che per l'Italia si identificano nel Piano Nazionale Sicurezza Stradale (orizzonte 2020) (5) e i rapporti annuali dell'ISTAT (6). In aggiunta a questi si sono tenuti in considerazione anche altri documenti presenti in letteratura (21).

Dall'analisi e dalla sintesi di questi dati, sono stati definiti 12 scenari di incidente che riguardano le caratteristiche proprie di un numero elevato di eventi incidentali, tra cui l'attenzione alle utenze deboli, alcune tra le principali cause presunte d'incidente e determinati fattori esterni o ambientali che contribuiscono al fenomeno. Nella tabella seguente (tabella 24) si riporta il nome dello scenario determinato.

NOME SCENARIO
0. INCIDENTI IN TOTALE
1. SOLO UN VEICOLO
2. SOSTA
3. INVESTIMENTO DI PEDONE
4. VELOCIPEDI
5. VEICOLI A 2 RUOTE MOTORE
6. BAMBINI COINVOLTI
7. VELOCITÀ
8. REGOLE DI CIRCOLAZIONE
9. ORE NOTTURNE
10. FONDO STRADALE NON ASCIUTTO
11. CONDIZIONI CLIMATICHE AVVERSE

Tabella 24: tabella riassuntiva degli scenari di base elaborati.

Di seguito si riporta l'elenco degli scenari definiti con una breve spiegazione di ognuno; si evidenziano in particolare le motivazioni che hanno portato alla scelta di quel particolare scenario.

0 INCIDENTI IN TOTALE

La denominazione di scenario zero è data dal fatto che prevede la non applicazione di filtri; l'analisi è condotta con tutto il campione di dati a disposizione. Questo scenario può essere utilizzato per avere un quadro generale della situazione oppure nei casi in cui non si hanno specifiche criticità.

1 SOLO UN VEICOLO

In questo scenario sono compresi tutti gli incidenti in cui è coinvolto un solo veicolo. Questo scenario è stato evidenziato e utilizzato in particolare in altre nazioni (Austria e Germania) (21). L'aspetto che risulta particolarmente interessante è il fatto che questo scenario può denotare anche problemi infrastrutturali, tra cui un errato tracciamento dell'asse stradale oppure un degrado anomalo della pavimentazione, elementi che possono portare allo svio e/o al danneggiamento di qualche componente del veicolo.

2 SOSTA

Uno scenario molto interessante in ambito urbano è quello legato alle auto in sosta, che può spesso indicare soste non autorizzate o aree di sosta che richiedono manovre particolarmente incompatibili con il flusso di traffico. A questo scenario appartengono gli incidenti in cui è coinvolto almeno un veicolo in movimento e uno in sosta. Anche questo scenario viene utilizzato spesso in altre nazioni (Austria e Germania) (21).

3 INVESTIMENTO DI PEDONE, 4 VELOCIPEDI, 5 VEICOLI A DUE RUOTE MOTORE

Questi scenari risultano di particolare interesse poiché coinvolgono le utenze deboli della strada, che negli ultimi anni hanno dimostrato di essere una problematica importante in relazione agli incidenti; in particolare, gli investimenti di pedoni presentano un trend sempre in crescita (sia nel 2017 che nel 2018). Si vuole specificare che con il termine veicoli a due ruote motore si intendono i ciclomotori, i motocicli a solo e con passeggero, i motocarri e motofurgoni.

6 BAMBINI

Gli incidenti appartenenti a questo scenario sono quelli in cui è rimasta coinvolta almeno una persona di età compresa tra 0 e 14 anni. Il tema, oltre ad essere di forte impatto sociale, rappresenta anche uno degli obiettivi della sicurezza stradale riportati sia nel piano della Sicurezza Stradale Italiana che in quello Europeo (3, 5).

7 VELOCITÀ, 8 REGOLE DI CIRCOLAZIONE

Dopo la distrazione alla guida, le principali cause d'incidente dipendono dalla velocità non adeguata e dal non rispetto delle regole di circolazione, come il mancato rispetto delle regole di precedenza o stop, delle indicazioni semaforiche o della precedenza a destra. In questo scenario verranno considerati tutti gli incidenti che presentano come circostanze presunte d'incidente i valori di queste due macrocategorie citate.

9 ORE NOTTURNE

Gli incidenti che avvengono nelle ore notturne, se epurati da quelli dovuti ad alterazioni psicofisiche, possono mostrare in ambito urbano un problema di illuminazione pubblica. In questo scenario ricadono quasi tutti gli incidenti che sono avvenuti tra il tramonto e l'alba; si assume, in accordo con le elaborazioni ISTAT, che l'intervallo da considerare come periodo notturno sia tra le 22:01 e le 6:00 (del giorno successivo).

10 FONDO STRADALE NON ASCIUTTO, 11 CONDIZIONI CLIMATICHE AVVERSE

Questi ultimi due scenari tengono in considerazione i fattori meteorologici esterni che presentano determinati impatti sulle strade. Per quanto riguarda il fondo stradale, alcuni eventi climatici possono far variare l'aderenza e i tempi di arresto del veicolo, mentre se si considerano le condizioni climatiche, l'impatto sulla guida riguarda principalmente la possibilità di una riduzione della visibilità (l'effetto dei fattori meteorologici sul fondo stradale dipende anche delle condizioni della pavimentazione). In particolare, nel primo scenario ricadono tutti gli incidenti dove il fondo stradale è non asciutto mentre nel secondo quelli dove il meteo è non sereno.

3.6 ANALISI AGGREGATA DELLA RETE STRADALE ASSOCIATA

Seguendo le fasi del modello elaborato, considerando anche ciò che viene proposto negli articoli tratti dalla letteratura di settore (37), una volta che la rete stradale è completa, cioè associata, bisogna scegliere e descrivere il criterio con cui si individuano i punti neri.

Come ampiamente documentato nel capitolo relativo allo stato dell'arte, esistono numerosi criteri di varie tipologie, che solitamente vengono utilizzati singolarmente. In questo elaborato, invece, si è scelto di basare l'analisi di incidentalità sull'applicazione di quattro indicatori in contemporanea, appartenenti a tre diversi criteri. Lo scopo è quello di non basarsi solo su un unico aspetto dei dati di incidentalità. Infatti, può essere che un elemento della rete stradale, per esempio un nodo, registri un numero di incidenti molto superiore alla media di intersezioni simili; allo stesso tempo però un altro elemento potrebbe presentare meno incidenti ma con un livello di gravità maggiore. Proprio per evitare di escludere casistiche che risultano comunque importanti, si è deciso di utilizzare più di un criterio, in modo da comprendere un numero maggiore di punti critici.

Oltre al criterio numerico (che tiene conto del numero di eventi incidentali avvenuti) e al criterio sulle lesioni (che considera il numero di incidenti avvenuti divisi in base alle lesioni riportate dai soggetti coinvolti), si aggiunge il criterio temporale, che analizza la serie storica degli incidenti avvenuti in un elemento della rete stradale, (quindi, per esempio calcolerà se il numero degli eventi sta aumentando o diminuendo negli ultimi anni). Quest'ultimo non presenta riscontri in letteratura per quanto riguarda i metodi di analisi di incidentalità similari a quello sviluppato in questa tesi.

Di seguito, in questo paragrafo verrà riportata una descrizione approfondita e analitica di tutti i criteri necessari alla determinazione dei black-spot, come in figura 52.

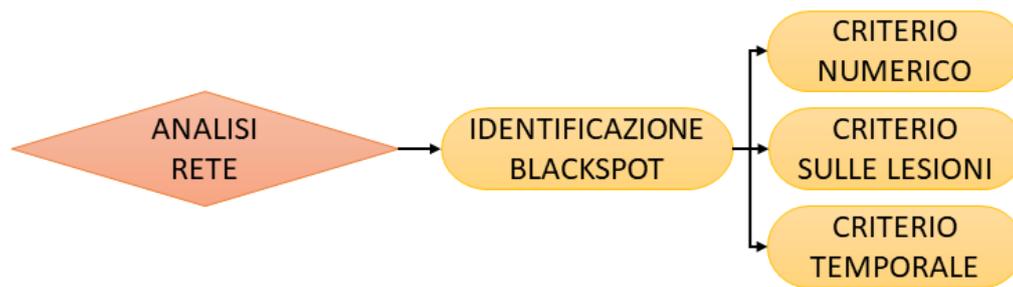


Figura 52: schema concettuale del sotto capitolo “analisi aggregata della rete stradale associata”.

3.6.1 CRITERIO NUMERICO

L'indicatore associato a questo criterio è il numero di incidenti avvenuti in un elemento della rete stradale in un determinato arco temporale di interesse. La soglia (che si ricorda essere quel valore dell'indicatore in esame che se superato dall'indicatore dell'elemento lo fa diventare critico) relativa a questo criterio potrebbe essere definita, per esempio, come il numero medio di sinistri che avvengono nel territorio in oggetto di analisi. Questa scelta, però, porterebbe a considerare ogni tipologia di elemento della rete come se fosse uguale all'altra, quando si è già dimostrato che, in particolare archi e nodi, sono del tutto differenti tra loro. Con questa prima considerazione si può modificare la soglia, ridefinendola come il numero medio di incidenti per ogni tipologia di elemento. Da quest'altra definizione di soglia non viene però considerato il carattere casuale dell'accadimento dei sinistri; infatti, un numero di incidenti superiore alla media non deve essere necessariamente considerato come critico perché bisogna lasciare un certo margine per la casualità.

Per tenere in considerazione tutti gli aspetti precedentemente descritti, si è cercata in letteratura una possibile soluzione. Molti testi sono concordi sull'utilizzo della distribuzione di densità di probabilità secondo Poisson (49) per descrivere l'avvenimento casuale dei sinistri.

Si tratta di un modello probabilistico adoperato per rappresentare il conteggio del numero di occorrenze di certi eventi in una unità di tempo, avendo a disposizione la loro frequenza di accadimento media; la probabilità descritta può essere rappresentata dall'equazione ... e utilizzata come soglia:

$$P\{X = x\} = \frac{e^{-\lambda} \cdot \lambda^x}{x!}$$

Equazione 15: probabilità secondo Poisson

Dove:

- X = insieme dei possibili valori che può assumere x , cioè qualsiasi numero intero non negativo
- x = variabile casuale di Poisson, che, in questo caso, rappresenta il numero degli incidenti che sono avvenuti in uno scenario in un determinato elemento
- λ = valore medio del numero di incidenti che avvengono in elementi simili a quello in esame

- P = probabilità che il numero di incidenti in analisi (x) accada proprio in quell'elemento con quel valore medio (λ).

Di seguito verranno descritte le varie componenti della probabilità di Poisson, con un sottoparagrafo dedicato ad ogni parametro rilevante.

VALORE MEDIO DEGLI INCIDENTI λ

In letteratura questo parametro è spesso determinato da esperienze passate; in particolare in questo elaborato si calcolerà, invece, tramite i dati disponibili, cioè i dati storici sugli incidenti che vengono utilizzati per l'intera analisi aggregata.

Come già accennato, il parametro λ rappresenta il valore medio degli incidenti che avvengono in una determinata circostanza. Questa circostanza è rappresentata dall'elemento e dallo scenario in esame.

Il valore medio degli incidenti λ è stato ottenuto moltiplicando tre fattori, il numero medio degli incidenti, il coefficiente del traffico e il coefficiente della lunghezza (i quali saranno spiegati a breve) e si può riassumere tramite l'equazione 16 che è stata realizzata appositamente per il modello:

$$\lambda_i = NMI_i \cdot CT_i \cdot CL_i$$

Equazione 16: valore medio degli incidenti

Dove:

- λ_i = valore medio degli incidenti dell'i-esimo elemento in esame.
- NMI_i = numero medio di incidenti dell'elemento in esame;
- $CT_i/(CL_i)$ = coefficiente del traffico giornaliero medio (/lunghezza) dell'i-esimo elemento in esame;

Il primo fattore che si considera per il calcolo di λ risulta essere il numero medio di incidenti (NMI) dell'elemento in analisi, calcolato come il rapporto tra la somma del numero di incidenti che sono avvenuti in elementi simili nell'intera rete stradale e il numero totale di questi elementi.

Si precisa che due elementi di una rete si possono considerare come "simili" tra loro se hanno in comune sia le caratteristiche geometriche che quelle funzionali. Le caratteristiche in questione sono le stesse che nel sotto capitolo "costruzione della rete stradale" definivano gli archi, i nodi e i loro codici. Si può assumere, quindi, che gli elementi simili tra loro sono quelli che hanno lo stesso codice.

La formulazione analitica per il calcolo di NMI è la seguente (equazione 17) ed è stata pensata appositamente per questo modello:

$$NMI_i = \frac{\sum_{j=0}^m \text{numero incidenti}_j}{\sum_{j=0}^m j}$$

Equazione 17: numero medio di incidenti

Dove:

- NMI_i = numero medio degli incidenti dell'i-esimo elemento (quello in esame)
- j = sono gli elementi dell'insieme I (= tutti gli elementi della rete stradale) che hanno lo stesso codice dell'elemento i-esimo
- m = numero degli elementi con lo stesso codice dell'elemento i-esimo

Successivamente, dato che nel codice non si è potuto tenere in considerazione la lunghezza dell'elemento della rete (L) e il traffico giornaliero medio (TGM) (poiché questi due parametri sono valori continui e non discreti) che sono due attributi estremamente variabili e caratterizzanti l'elemento per ottenere l'omogeneità totale, bisogna introdurre due coefficienti. Questi coefficienti, che potremmo definire di omogeneizzazione, confrontano il valore di questi due attributi con quello medio degli elementi simili tramite un rapporto che fornisce un risultato maggiore minore o uguale ad uno. Per esempio, se un elemento è più corto degli elementi simili è giusto che il suo valore medio sia minore degli altri poiché in proporzione c'è meno probabilità che si verifichino gli incidenti e, infatti, il coefficiente sarà < 1 .

Le formule dei due coefficienti sono state realizzate esclusivamente per il modello di progetto e vengono presentate di seguito:

- il COEFFICIENTE DEL TRAFFICO (CT) è il rapporto tra il traffico giornaliero medio dell'elemento in esame e la media dei traffici giornalieri medi degli elementi della rete stradale simili a quello in esame (equazione 18):

$$CT_i = \frac{TGM_i}{\frac{\sum_{j=0}^m TGM_j}{\sum_{j=0}^m j}}$$

Equazione 18: coefficiente di omogeneizzazione del traffico giornaliero medio

Dove:

CT_i = coefficiente del traffico dell'i-esimo elemento in analisi;

TGM_i = traffico giornaliero medio dell'i-esimo elemento in analisi;

$\frac{\sum_{j=0}^m TGM_j}{\sum_{j=0}^m j}$ = media dei traffici giornalieri medi dei j-esimi elementi simili all'i-esimo in analisi.

- il COEFFICIENTE DELLA LUNGHEZZA (CL) è il rapporto tra la lunghezza dell'elemento in esame e la media delle lunghezze degli elementi della rete stradale simili a quello in esame (equazione 19). Questo coefficiente è utilizzato solo per gli archi, per i nodi è sufficiente ometterlo.

$$CL_i = \frac{L_i}{\frac{\sum_{j=0}^m L_j}{\sum_{j=0}^m j}}$$

Equazione 19: coefficiente di omogeneizzazione della lunghezza

Dove:

CL_i = coefficiente della lunghezza dell'i-esimo elemento in analisi;

L_i = Lunghezza in metri dell'i-esimo elemento in analisi;

$\frac{\sum_{j=0}^m L_j}{\sum_{j=0}^m j}$ = media delle lunghezze dei j-esimi elementi simili all'i-esimo in analisi.

N.B.: la formulazione proposta è valida solo se tutti gli elementi hanno i campi numero incidenti, traffico giornaliero medio e lunghezza compilati.

PROBABILITÀ P E SOGLIA DEL CRITERIO NUMERICO (Scn)

Una volta che per ogni elemento della rete è stata calcolata la probabilità con l'equazione 15, bisogna definire la soglia. Considerando che:

- Un punto critico, secondo la definizione, è un elemento dove l'indicatore (in questo caso il numero di incidenti) assume un valore statisticamente improbabile (22) e
- Una probabilità bassa indica, per come è costruita la funzione, che il numero di incidenti (x) avvenuti nell'elemento in esame, risulta improbabile per le caratteristiche del sito;

la soglia dovrà essere un valore di probabilità sotto il quale l'elemento sarà definito critico. Anche il valore della probabilità, quindi, che può oscillare tra lo 0 e l'1 non dovrà essere troppo elevato; in letteratura, infatti, vengono utilizzati come soglie valori tra lo 0.001 (0.1%) e lo 0.1 (10%) (22, 23). La scelta di un valore molto restrittivo, prossimo allo 0, porta ad individuare i punti maggiormente critici mentre un valore prossimo all'unità implica l'inclusione di un maggior numero di elementi, tra cui anche quelli meno critici.

Uno dei punti di forza del modello sviluppato in questo elaborato, quindi, è proprio la flessibilità dello strumento che si vuole mettere a disposizione. La possibilità di scegliere la soglia di tolleranza di questo criterio che permetta di individuare le criticità rappresenta un elemento di particolare interesse per i decisori e difficilmente reperibile in altri strumenti.

Come accennato, al decisore spetta la scelta della soglia da stabilire in funzione degli obiettivi prefissati; nel caso studio analizzato è stato utilizzato un valore pari a 0.05 (5%), che viene particolarmente consigliato dato che oltre ad essere una media è anche quello più utilizzato nelle ricerche di settore (22, 23).

ASPETTI COMPLESSI DEL CRITERIO

Si porta, ora, l'attenzione ad alcuni aspetti complessi che possono generare delle problematiche durante l'analisi con l'utilizzo del criterio numerico descritto in questo paragrafo.

Il primo problema si verifica quando un elemento è unico, cioè non ci sono altri elementi con il suo stesso codice nella rete stradale in analisi. In quel caso il valore medio calcolato sarà pari al numero di incidenti avvenuti nell'elemento, poiché non ci

sono altri elementi paragonabili con cui calcolare le medie. A quel punto non ha senso calcolare la probabilità così come descritta dalla formulazione di Poisson. Una possibile risoluzione è data dall'utilizzo di un indicatore meno raffinato come il numero di incidenti, dove la soglia sarebbe una percentuale degli incidenti avvenuti sul territorio. Anche in questo caso la soglia utilizzata nel caso in analisi può essere stabilita da un decisore, ma l'idea iniziale può essere il 3% del numero totale di incidenti avvenuti nel periodo in considerazione (valore proposto dal rapporto EUPOLIS Lombardia "Modelli per l'analisi dell'incidentalità stradale in ambito urbano con particolare riferimento all'utenza vulnerabile della strada." (29) e che nel modello si chiamerà Scn_2).

Il secondo problema è dovuto all'aspetto simmetrico dell'equazione 15. Può capitare, infatti, che la probabilità ottenuta sia sotto la soglia anche quando il numero di incidenti registrati è molto inferiore al valore medio, poiché è comunque molto improbabile. Nell'immagine 53 sotto riportata si può notare, infatti, che sia con un numero di incidenti osservati pari a 9 o a 1 il valore della probabilità con valore medio $\lambda = 5$ (linea blu) risulta inferiore ad una ipotetica soglia posta a 0.05 (linea arancione). Per evitare di etichettare come punti neri anche questi casi, si può aggiungere il vincolo che il numero di incidenti debba essere maggiore del valore medio (λ).

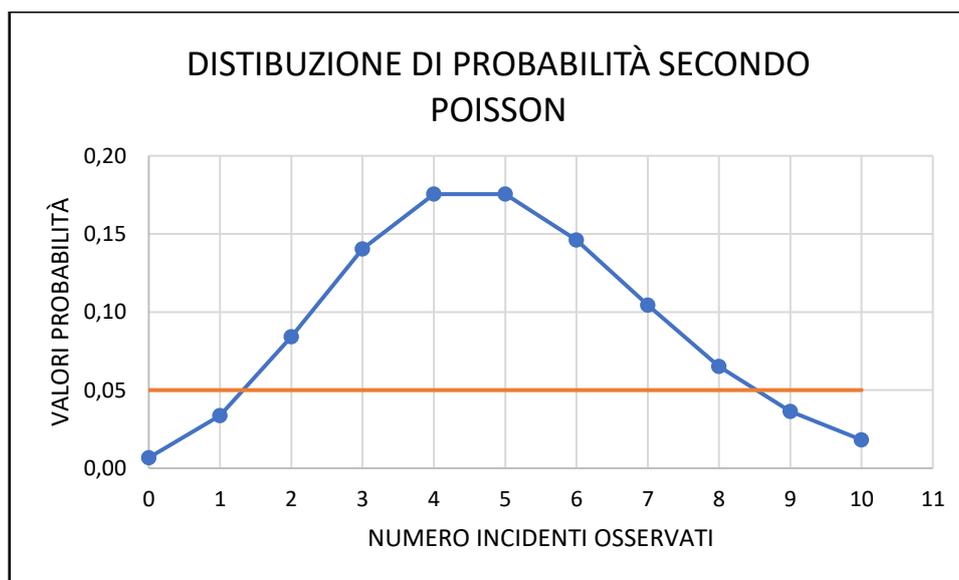


Figura 53: grafico della distribuzione di probabilità secondo Poisson con $\lambda=5$ (linea blu) e soglia posta a 0.05 (linea arancione).

Si propone, in conclusione, un esempio per chiarificare i concetti e le formule espresse. L'esempio è inventato ed è stata immaginata una rete composta da 6 elementi (chiamati con le lettere dell'alfabeto da A ad F) nella tabella 25 sono presentati i dati base come il codice, che non ha alcun riscontro con quello presentato in precedenza ma serve solo per far capire quali elementi tra loro sono simili (A, B, C e D, E sono simili tra loro), poi c'è il numero di incidenti rilevati in un certo periodo, la lunghezza e il traffico giornaliero medio.

ELEMENTO	CODICE	N°INCIDENTI	L [m]	TGM [vei/h]
A	a1	1	100	5000
B	a1	6	80	5000
C	a1	3	90	6000
D	b2	3	70	4000
E	b2	2	80	5000
F	c3	4	80	6000

Tabella 25: dati di base per la realizzazione dell'esempio

Nella tabella 26 vengono calcolati con le formule precedenti il numero medio degli incidenti (NMI con l'equazione 17) il coefficiente del traffico (CT con l'equazione 18), il coefficiente della lunghezza (CL con l'equazione 19), il valore medio degli incidenti (λ con l'equazione 16) e la probabilità (P con l'equazione 15). La soglia per l'elemento A, B, C, D ed E è impostata al 5% di probabilità mentre per l'elemento F, dato che non è simile a nessun altro elemento, la sua soglia è il 3% del totale degli incidenti (19) pari a 0,57 incidenti, infatti, in questo caso l'indicatore passa dal valore di probabilità al numero di incidenti. Infine, nella colonna black-spot viene riportato SI se la probabilità (P) è minore della soglia (elemento B) o, solo per F, se il suo numero di incidenti supera la soglia, negli altri casi compare la scritta NO.

NMI	CT	CL	λ	P	SOGLIA	BLACK-SPOT?
3,3	0,9	1,1	3,47	0,11	0,05	NO
3,3	0,9	0,9	2,78	0,04	0,05	SI
3,3	1,1	1,0	3,75	0,21	0,05	NO
2,5	0,9	0,9	2,07	0,19	0,05	NO
2,5	1,1	1,1	2,96	0,23	0,05	NO
4,0	1,0	1,0	4,00	0,20	0,57	SI

Tabella 26: elaborazione della precedente tabella per il calcolo dei black-spot secondo il criterio numerico

3.6.2 CRITERIO SULLE LESIONI

Il secondo criterio presentato serve per dare peso alla gravità degli incidenti avvenuti in funzione delle lesioni riportate dagli utenti coinvolti. Come già evidenziato, un numero elevato di incidenti non può essere l'unico parametro in gioco, poiché ci possono essere incidenti più rilevanti di altri come, ad esempio, quelli in cui si registra almeno una vittima.

In letteratura vengono proposte principalmente due metodologie con cui è possibile tenere in considerazione questa caratteristica:

- La prima consiste nell'utilizzare semplicemente **IL NUMERO DI DECEDUTI** in incidenti stradali. In questo caso, per definire la soglia ci si deve affidare all'esperienza di chi ha già eseguito studi di questo tipo: in particolare si trovano riferimenti nel già citato rapporto EUPOLIS Lombardia (29), dove un punto nero può essere definito un luogo in cui è avvenuto almeno

1 incidente mortale, oppure nelle norme Svizzere (21), dove si propone una soglia a 2 vittime per qualsiasi tipo di strada.

- La seconda metodologia, invece, si basa sugli **INDICI DI GRAVITÀ**, che forniscono un numero equivalente di deceduti o feriti associando pesi differenti al numero di incidenti specifico in funzione della gravità delle lesioni subite. Anche in questo caso la soglia è basata sulle esperienze descritte in studi da letteratura (21) ma il criterio generale è dato dalla sensibilità nazionale, cioè da quale lesione viene considerata la massima accettabile.

In questo documento si sceglie di adottare la seconda metodologia, poiché più precisa e dettagliata. L'indice di gravità (IG) (equazione 20) che si propone e che verrà utilizzato per la definizione di una seconda soglia di criticità dei punti, ha la seguente formulazione che è stata pensata per il modello di progetto:

$$IG = \frac{a \cdot (n^{\circ} \text{ incidenti mortali}) + b \cdot (n^{\circ} \text{ incidenti gravi}) + PDO}{n^{\circ} \text{ incidenti}}$$

Equazione 20: forma base dell'indice di gravità

Dove:

- a, b = sono i coefficienti che evidenziano la diversità tra gli incidenti in funzione della tipologia delle lesioni avvenute e di conseguenza anche il peso che si vuole dare a questi tipi di incidente, ovviamente devono essere calcolati oppure ricavati da precedenti calibrazioni su dati storici;
- n° incidenti mortali = definito come il numero degli incidenti dove si è registrato almeno un decesso;
- n° incidenti gravi = definito come il numero degli incidenti dove si è registrato almeno un ferito;
- PDO = (property damage only) acronimo anglosassone per identificare gli incidenti in cui non ci sono né feriti né deceduti ma solo danni alle cose.

L'indicatore proposto, quindi, determina il numero di incidenti equivalenti a quelli dove non sono state riportate lesioni a persone, che è il motivo per cui PDO non ha coefficiente (o, per meglio dire, ha coefficiente pari ad 1). Il tutto è rapportato al numero di incidenti avvenuti in un qualsiasi periodo temporale purché sia lo stesso sul quale si basa anche il conteggio degli incidenti con decessi, feriti e solo danni a cose, il che permette di ottenere un più agevole calcolo della soglia, come sarà descritto a fine paragrafo.

In alcune formulazioni più recenti si trova la distinzione tra diverse tipologie di ferite. In generale, dal 2015, nell'Unione Europea, si definisce un ferito come grave se le ferite riportate sono superiori o uguali al grado 3 della INTERNATIONAL MAIS TRAUMA SCALE (50) mentre nel glossario delle variabili del database europeo dell'incidentalità CARE/CADAS un ferito grave è ancora considerato una persona con ricovero in ospedale per più di 24h. Molti paesi europei, anche per questa indecisione, utilizzano altri criteri, riportati in tabella 27 (51). L'altra casistica è rappresentata dal ferito lieve che è una persona con lesioni minori del grado 3 della scala riportata o

ospedalizzato per meno di 24h. Si ricorda, infine, che in Italia non esiste questa distinzione, e che, quindi, non verrà considerata in questo elaborato.

<i>Stato membro</i>	<i>Definizione adottata</i>
Francia	Ospedalizzato almeno per 6 giorni
Belgio, Germania, Spagna, Grecia, Lussemburgo, Portogallo	Ospedalizzato almeno per 24 ore
Danimarca, Olanda	Ospedalizzato, indipendentemente dalla lunghezza del periodo di ricovero
Danimarca, Gran Bretagna, Irlanda	Gravità valutata in base al tipo di lesione accertata (ad es. in caso di fratture, tagli, lacerazioni...) indipendentemente dal fatto che sia ospedalizzato o meno
Austria, Svezia	Gravità stabilita senza un riferimento all'ospedalizzazione (ad es. in Austria si parla di lesione grave quando comporta un peggioramento delle condizioni di salute e l'incapacità di lavorare per più di 24 giorni)

Tabella 27: definizione di un ferito grave in alcuni stati europei (51)

CALCOLO DEI COEFFICIENTI a, b, c

Secondo il manuale americano Highway Safety Manual (HSM) i coefficienti possono essere calcolati rapportando il costo sociale di un incidente con decessi o con feriti a quello di un incidente con solo danni a beni materiali.

“I costi sociali degli incidenti stradali costituiscono una stima del danno economico subito dalla società a causa di tali eventi” (52) , cioè gli oneri che gravano sulla società, essi vengono utilizzati principalmente per la distinzione delle tipologie di incidente (53).

Dopo un'accurata ricerca bibliografica, si è riscontrato che i valori più recenti di questi costi sociali in Italia sono relativi all'anno 2010, calcolati dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti e pubblicati nel rapporto *“Studio di valutazione dei Costi Sociali dell'incidentalità stradale”* (51). In questo rapporto, che verrà brevemente illustrato, viene utilizzata la differenza tra feriti gravi e lievi, che, però, viene ricavata da studi condotti dall'Unione Europea e da alcune regioni Italiane, dato che, come affermato, in Italia la suddivisione non sussiste.

Il primo aspetto consiste nel calcolare il costo umano (tabella 28, 29 e 30), cioè i costi veri e propri dati dai danni come conseguenza delle lesioni riportate in un incidente stradale. In genere si considerano tre voci sia per i feriti che per le vittime:

- **MANCATA PRODUTTIVITÀ:** fa parte del costo medio della vita e si può tradurre come la perdita di capacità produttiva di un individuo basata sul numero di anni in cui avrebbe potuto lavorare.
- **DANNO NON PATRIMONIALE:** fa parte del costo medio della vita e si tratta del danno morale arrecato ai congiunti del deceduto o del ferito.
- **COSTO SANITARIO:** è una media di tutte le prestazioni mediche necessarie per la cura delle lesioni riportate a causa del sinistro.

	<i>Valori in €</i>
Costo medio della vita umana	1.502.025
• Mancata produttività media	940.291
• Danni non patrimoniali medi	561.734
Costo medio sanitario	1.965
Costi medio umano per decesso (CM)	1.503.990

Tabella 28: costo medio umano per decesso (51).

<i>Costi sociali</i>	<i>Formula utilizzata</i>	<i>Valori (€)</i>
Costo medio per ferito grave (Cfg)	$Cfg = CVu * 0,13 + CS$	197.228
• 13% Costo della vita umana	$CVu * 0,13$	195.263
• Costi sanitari medi	CS	1.965
Costo medio per ferito lieve (Cfl)	$Cfl = CVu * 0,01 + CS$	16.985
• 1% Costo della vita umana	$CVu * 0,01$	15.020
• Costi sanitari medi	CS	1.965

Tabella 29: costo medio umano per ferito grave e lieve (51).

<i>Costi sociali</i>	<i>Formula utilizzata</i>	<i>Valori (€)</i>
• 14% del Costo medio per ferito grave	$Cfg * 0,14$	27.611
• 86% del Costo medio per ferito lieve	$Cfl * 0,86$	14.607
Costo medio di un ferito (CF)	$CF = Cfg * 0,14 + Cfl * 0,86$	42.219

Tabella 30: costo medio umano per ferito (51).

Successivamente si procede col calcolare i costi generali medi per incidente (tabella 33), che oltre al costo precedentemente determinato, tengono in conto di ulteriori aspetti come:

- Il DANNO PATRIMONIALE ossia i danni riportati dai veicoli o da altri beni (anche pubblici) (tabella 31);
- I COSTI AMMINISTRATIVI ossia il costo dell'assicurazione RC AUTO, le spese per la rilevazione del sinistro e gli oneri giudiziari (tabella 32)

	<i>Valori</i>
Costo medio per sinistro (€)	4.117
Numero di veicoli coinvolti per incidente	1,867
Danno patrimoniale medio per incidente (€)	7.686

Tabella 31: dettaglio del danno patrimoniale (51).

	<i>Valori (€)</i>
Spese per assicurazione RC Auto per incidente	1.727
Spese per rilievi incidenti e costi giudiziari	1.573
Costi amministrativi medi per incidente	3.300

Tabella 32: dettaglio dei costi amministrativi (51).

	<i>Valori (€)</i>
Danno patrimoniale medio per incidente	7.686
Costi amministrativi medi per incidente	3.300
Costi Generali medi per incidente	10.986

Tabella 33: costi generali medi per incidente (51).

A questo punto per trovare i costi medi sociali per le tre tipologie di incidente (mortale, con feriti e con solo danni a cose) basta sommare in modo corretto tutte le voci.

Per quanto riguarda il costo medio sociale di un incidente senza conseguenze alle persone (PDO), è necessario fare una precisazione. Il costo sociale medio per incidente PDO (tabella 34), infatti, risulta pari alla somma di due soli parametri, cioè il danno patrimoniale medio e le spese per l'assicurazione RC Auto, escludendo la rilevazione da parte degli organi predisposti e la spesa giudiziaria (che in questi casi non avviene).

	<i>Valori (€)</i>
Danno patrimoniale medio per incidente	7.686
Spese per assicurazione RC Auto per incidente	1.727
Costo medio sociale per PDO	9.413

Tabella 34: costo medio sociale per incidenti PDO.

Infine, si riportano anche i dettagli del calcolo finale del costo sociale medio per incidente mortale (Tabella 35) e del costo sociale medio per incidente grave (Tabella 36).

<i>Costi sociali</i>	<i>Formula utilizzata</i>	<i>Valori</i>
Costo medio per incidente	NM * CM	€ 1.598.741
• Numero medio di morti per incidente mortale (NM)	NM	1,063
• Costo medio per decesso (CM)	CM	€ 1.503.990
Costo medio dei feriti per incidente	NFim * CF	€ 32.509
• Numero medio di feriti in incidenti mortali (NFim)	NFim	0,770
• Costo medio dei feriti (CF)	CF	€ 42.219
Costi Generali medi per incidente (CG)	CG	€ 10.986
COSTO SOCIALE MEDIO PER INCIDENTE MORTALE (€)	CMim = NM * CM + NFim * CF + CG	€1.642.236

Tabella 35: costo sociale medio per incidente mortale (51).

<i>Costi sociali</i>	<i>Formula Utilizzata</i>	<i>Valori</i>
Costo medio ferito grave per incidente	Nfg * Cfg	€ 277.697
• Numero medio di feriti gravi (Nfg)	Nfg	1,408
• Costo medio per ferito grave (Cfg)	Cfg	€ 197.228
Costo medio ferito lieve per incidente	Nfl * Cfl	€ 21.180
• Numero medio di feriti lievi (Nfl)	Nfl	1,247
• Costo medio per un ferito lieve (Cfl)	Cfl	€ 16.985
Costi Generali medi per incidente (CG)	CG	€ 10.986
COSTO SOCIALE MEDIO PER INCIDENTE GRAVE	CMig = Nfg * Cfg + Nfl * Cfl + CG	€ 309.863

Tabella 36: costo sociale medio per incidente grave (51).

Come spiegato all'inizio del paragrafo, i costi sociali descritti fino ad ora sono le componenti principali del calcolo dei coefficienti a, b, c, a loro volta parametri dell'equazione dell'indice di gravità. Di seguito si riporta il calcolo dei coefficienti, con l'utilizzo dei valori forniti nel documento citato (51):

$$a = \frac{\text{costo sociale medio di un decesso}}{\text{costo sociale medio per un danno solo alle proprietà}} = \frac{1.642.236 \text{ €}}{9.413 \text{ €}} = 174$$

Equazione 21: calcolo del coefficiente per gli incidenti mortali.

$$b = \frac{\text{costo sociale medio di un ferito}}{\text{costo sociale medio per un danno solo alle proprietà}} = \frac{309.863 \text{ €}}{9.413 \text{ €}} = 33$$

Equazione 22: calcolo del coefficiente per gli incidenti gravi

Quindi, l'indice di gravità sarà scritto come segue:

$$IG = \frac{174 \cdot (n^{\circ} \text{ incidenti mortali}) + 33 \cdot (n^{\circ} \text{ incidenti gravi}) + PDO}{n^{\circ} \text{ incidenti}}$$

Equazione 23: indice di gravità.

In conclusione, come descritto anche per il criterio numerico, è necessario definire il valore o la formulazione per la definizione della soglia da utilizzare nel modello (Scl soglia del criterio delle lesioni). Come per la soglia del criterio numerico si lascia una certa flessibilità al decisore che dovrà fissare questo valore e, in questo specifico caso, stabilire la lesione più grave ammissibile. In questo elaborato, in particolare nel caso di studio) si propenderà per considerare la lesione mortale come la più grave, scelta che comporta, quindi, una soglia equivalente a:

$$Scl = \frac{174}{n^{\circ} \text{ incidenti}}$$

Equazione 24: soglia per il criterio delle lesioni.

Come si può notare dall'equazione 24, la soglia non è fissa ma viene calcolata in funzione del numero degli incidenti avvenuti in un elemento della rete stradale.

Utilizzando gli stessi dati della tabella 25, si propone un esempio anche per il calcolo del criterio sulle lesioni:

ELEMENTO	N° INCIDENTI	N° MORTALI	N° GRAVI	N° PDO	IG	SOGLIA	BLACK-SPOT?
A	1	0	1	0	33,0	174	NO
B	6	0	2	4	11,7	29	NO
C	3	0	1	2	11,7	58	NO
D	3	0	2	1	22,3	58	NO
E	2	1	1	0	103,5	87	SI
F	4	0	2	2	17,0	44	NO

Tabella 37: sviluppo dell'esempio sul calcolo del criterio sulle lesioni.

Dopo aver ipotizzato una suddivisione degli incidenti in mortali, gravi (o con feriti) e PDO (con solo danni a persone), si calcola con l'equazione 23 l'indice di gravità IG e con l'equazione 24 la soglia. Si evidenzia che la soglia non ha un valore fisso ma dipende dal numero di incidenti avvenuti e che l'elemento con un incidente mortale (E) entra in classifica sempre non solo in questo caso. Infine, nella colonna black-spot c'è la scritta SI se $IG \geq$ soglia (come per l'elemento E)

3.6.3 CRITERIO TEMPORALE

Poter capire come gli incidenti avvenuti in un elemento sono collocati negli anni, soprattutto in quelli più recenti, è interessante per capire l'evoluzione dell'incidentalità stradale.

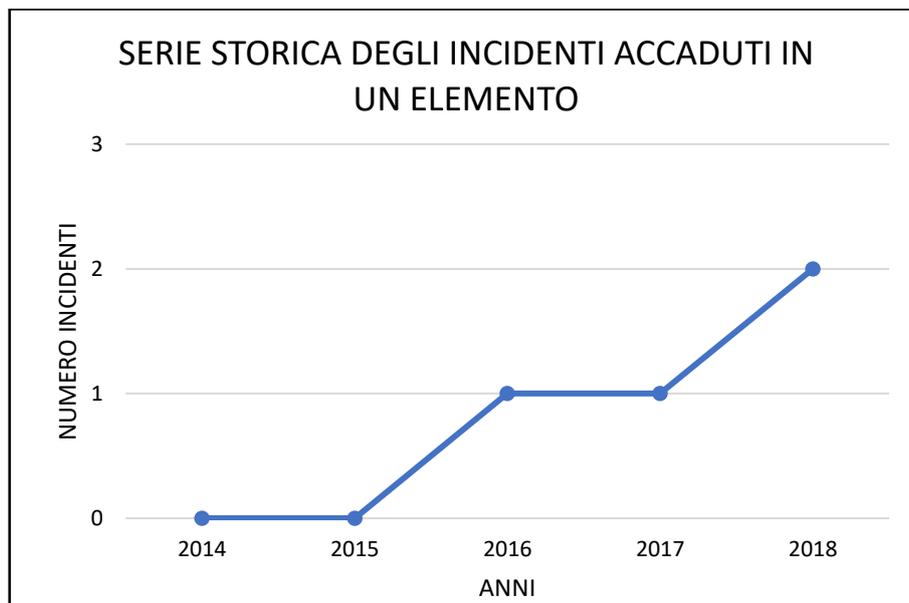


Figura 54: esempio di grafico che rappresenta il numero di incidenti avvenuti nel periodo 2014-2018 in un elemento della rete stradale.

Con un andamento temporale degli eventi incidentali come quello mostrato in figura 54, è facile capire come si presenti la necessità da parte delle amministrazioni di verificare il fenomeno nello specifico elemento della rete stradale a cui fa riferimento l'esempio. Quindi, secondo questo ragionamento, durante l'analisi aggregata l'elemento considerato in questo esempio dovrebbe essere evidenziato come critico.

Per rispondere a questa esigenza, che non viene considerata all'interno dei precedenti criteri descritti, in questa tesi saranno utilizzati anche due criteri temporali: l'analisi dell'andamento dell'incidentalità negli ultimi cinque anni e la ricorsività del fenomeno negli ultimi tre. Per ricorsività si intende in quanti degli anni appartenenti ad un dato periodo in esame è avvenuto almeno un incidente.

Prima di iniziare la spiegazione analitica dei due criteri, bisogna specificare che la condizione necessaria per effettuare questo tipo di analisi è la disponibilità di un dataset che lo permetta, cioè di una rilevazione e archiviazione dei dati degli incidenti per più anni consecutivi (in questo caso sono richiesti almeno cinque anni).

Per quanto riguarda le formulazioni analitiche adottate, si precisa che in letteratura sono presenti diversi metodi per realizzare queste analisi temporali, in particolare il settore di riferimento dal quale si sono prese più informazioni è quello dell'economia.

ANALISI DELLA SERIE STORICA

L'analisi della serie storica si basa sul concetto di *trend*, ossia verificare se la tendenza del fenomeno, in questo caso quello incidentale, è in aumento, in diminuzione oppure stabile nel tempo.

Nell'ambito della sicurezza stradale questo può essere utilizzato per evidenziare l'aumento/diminuzione degli incidenti negli anni in un elemento della rete. In particolare, risulta chiaro come sia di interesse l'aumento del numero di eventi, poiché può indicare la presenza di un nuovo punto critico, con possibili cause da ricercarsi, per esempio, in una modifica peggiorativa della circolazione, nel degrado dell'infrastruttura o della segnaletica.

Generalmente il tipo di trend più utilizzato è quello lineare (54), tipica formulazione propria di analisi standard. Il modello del trend lineare è un polinomio di primo grado, cioè l'equazione di una retta dove sono incogniti sia il coefficiente angolare (m) che l'intercetta all'origine (q) (54):

$$y(t) = m * t + q$$

Equazione 25: equazione del trend (54).

Dove:

- $y(t)$ = numero di incidenti riferiti al tempo t ;
- m = coefficiente angolare della retta;
- t = valore che identifica un periodo della serie storica;
- q = intercetta all'origine.

Per calcolare i parametri incogniti si può utilizzare il metodo dei minimi quadrati ordinario oppure uno con pesi esponenziali (EWLSE), che assegna agli scarti

quadratici medi un peso decrescente con l'allontanarsi dal dato più recente (54). Nonostante anche nel campo degli incidenti stradali si tenda a privilegiare il dato più recente, non si adatterà questo secondo metodo di risoluzione, poiché, per il dato incidentale a disposizione, non si nota una marcata differenza tra le due linee che interpolano il grafico. Per chiarire meglio si utilizza la figura 55 dove è mostrato (tramite linea blu) l'andamento, in un periodo temporale non definito da 1 a 5 (potrebbero essere anni, mesi ma anche giorni), dell'accadimento dei sinistri; insieme a questa sono rappresentate due rette interpolanti la serie storica che rappresentano il trend calcolato con i minimi quadrati classico (in arancione) e pesato (in grigio), come si può notare le due soluzioni sono quasi coincidenti. Si è scelto di procedere utilizzando la soluzione classica.

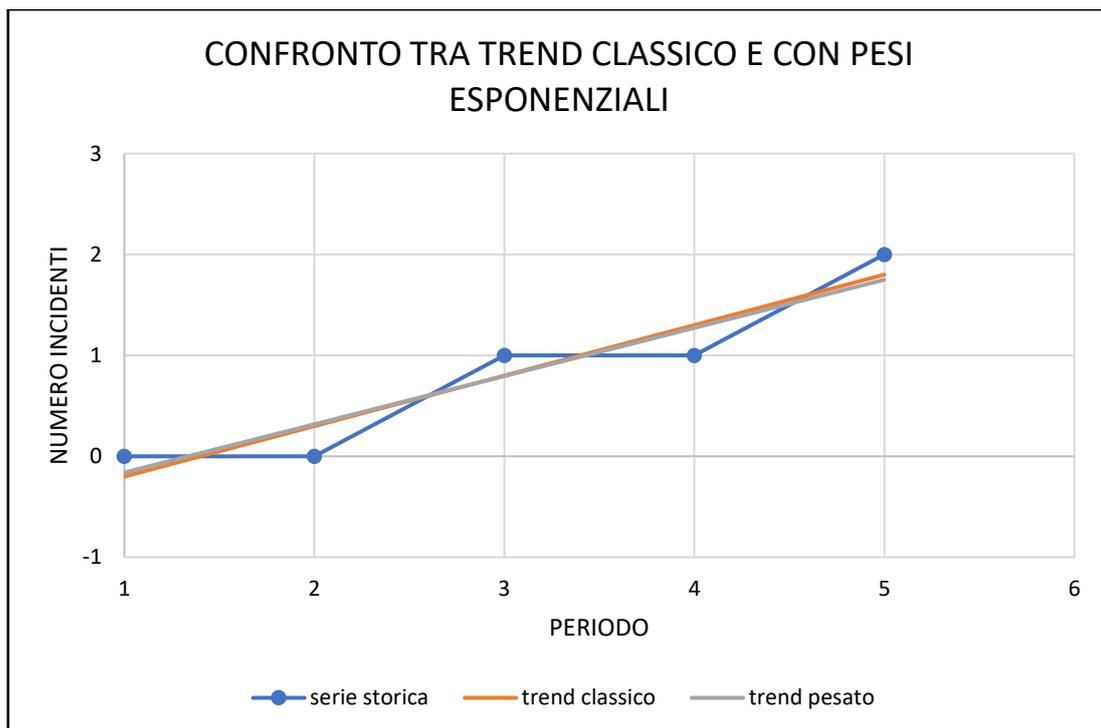


Figura 55: confronto tra trend calcolato con metodo dei minimi quadrati classici e con pesi esponenziali.

Il metodo dei minimi quadrati ordinari è descritto dalla seguente equazione (54):

$$[m; q] = \min \left\{ \sum_{i=1}^k (y(t_i) - mt_i - q)^2 \right\}$$

Equazione 26: equazione per la stima coi minimi quadrati.

Dove:

- k = numero di periodi considerati;
- $y(t_i)$ = numero di incidenti avvenuti nel periodo t nell' i -esimo elemento;
- t_i = periodo in esame dell' i -esimo elemento;
- m = coefficiente angolare e parametro da determinare;
- q = intercetta all'origine e parametro da determinare.

Di seguito come fatto per il criterio numerico verranno descritti i parametri più importanti di questo primo criterio temporale.

1. NUMERO DI PERIODI CONSIDERATI (k)

Il valore di k, ossia i periodi a disposizione, dipende principalmente dai dati sugli incidenti. Per scegliere il valore più corretto per k bisogna considerare due aspetti la numerosità e la tipologia. La numerosità indica il numero di periodi a disposizione e la tipologia se si vogliono considerare gli anni o i mesi come periodo. Di seguito si propongono due scenari per mettere in luce quale sia la scelta corretta di k:

- Utilizzare il numero di incidenti all'anno, avendo a disposizione una lunga serie storica di dati. Il problema che si potrebbe riscontrare è che se, per esempio, si considerano gli eventi avvenuti negli ultimi 10 anni, bisogna anche tenere in conto che in quel lasso di tempo il territorio può aver subito modifiche significative. Si rischierebbe, quindi, di trovare un andamento in diminuzione dovuto, per esempio, ad un intervento di messa in sicurezza dell'elemento (per esempio la costruzione di una rotatoria al posto di una intersezione semaforizzata) che impedisce di osservare il reale *trend* degli ultimi anni. Per comprendere meglio si mostra, in figura 56, l'andamento degli incidenti nei periodi da 1 a 10 (in blu), supponendo che tra il periodo 4 e 6 sia avvenuto un intervento di modifica del territorio che abbia ridotto il numero di sinistri. Si nota che il trend negli ultimi 10 periodi è in diminuzione (la retta arancione ha una pendenza negativa ma che quello degli ultimi 5 è in aumento (la retta grigia ha pendenza positiva).

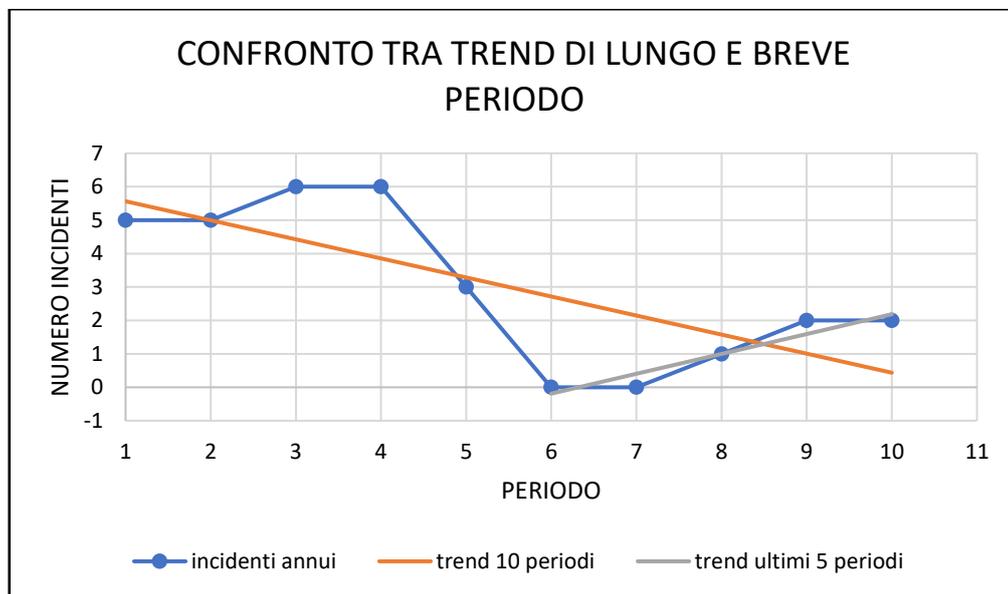


Figura 56: confronto tra trend di lungo e breve periodo.

- Oppure si può utilizzare il numero di incidenti al mese. In tal caso avremmo un numero di periodi corposo anche con pochi anni a disposizione (per esempio 60 con solo 5 anni) ma con il singolo periodo variabile. Infatti, i mesi

hanno una differente durata in termini di giorni e bisogna anche considerare la forte stagionalità del dato incidentale che potrebbe compromettere il risultato.

Quindi, si adotterà un parametro k pari a 5 anni.

2. INDICATORE DEL CRITERIO TEMPORALE TRAMITE ANALISI DELLA SERIE STORICA: COEFFICIENTE ANGOLARE DEL TREND (m)

L'indicatore associato a questa prima parte del criterio numerico è il coefficiente angolare (m) della retta di interpolazione (del trend) del grafico che rappresenta il numero di incidenti avvenuti negli ultimi 5 anni, infatti, esso evidenzia molto bene una tendenza all'aumento o alla diminuzione rispettivamente se il suo valore (di m) è maggiore o minore di zero. Quindi, avendo disposto i dati in ordine cronologico, se, per esempio, la retta interpolante si disponesse dal basso verso l'alto significherebbe che c'è stato un aumento degli incidenti, e, essendo il caso mostrato in figura 57, si può notare che il coefficiente angolare della retta di interpolazione (linea tratteggiata) è maggiore di zero (pari a 0,5).

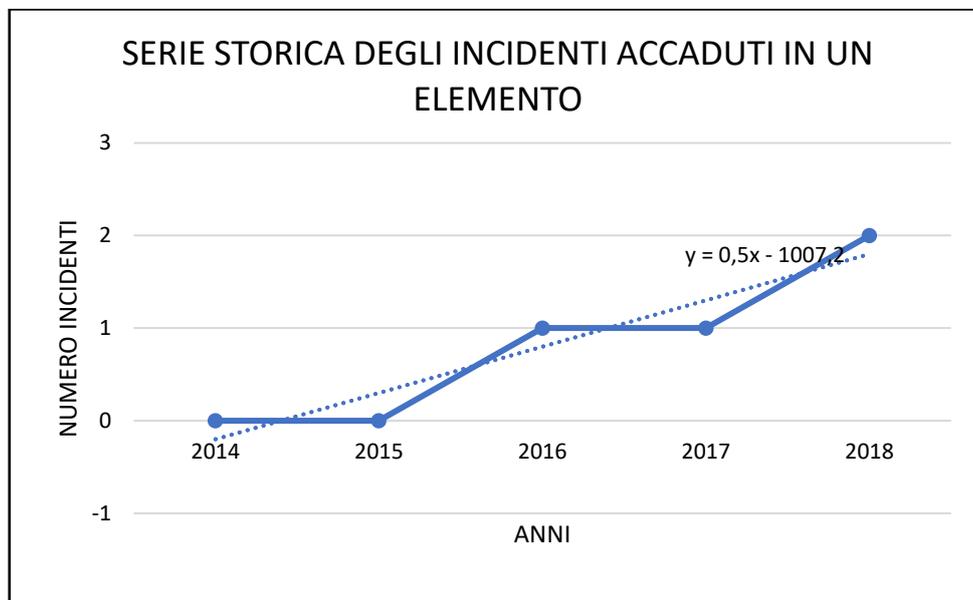


Figura 57: serie storica degli incidenti avvenuti negli ultimi 5 anni in un elemento fittizio con trend (linea tratteggiata).

3. SOGLIA DEL CRITERIO NUMERICO TRAMITE ANALISI DEL TREND (S_{ctt})

Infine, la soglia dovrebbe essere un valore del coefficiente angolare che possa distinguere se c'è un aumento o una diminuzione dei sinistri in un elemento. La proposta che viene suggerita non è il valore 0 ma è il trend dello scenario che si sta analizzando considerando tutto il dataset, cioè tutti gli incidenti avvenuti sul territorio appartenenti a quello scenario. Questo permette di raffinare la soglia e identificare come punti critici solo gli elementi che presentano un coefficiente angolare (m) maggiore di quello del territorio.

$$S_{ctt} = m_{t,s}$$

Equazione 27: soglia del criterio temporale con analisi del trend.

$$m_{i,t,s} > m_{t,s}$$

Equazione 28: condizione per cui gli elementi sono punti neri.

Dove:

- S_{ctt} = soglia del criterio temporale con analisi del trend;
- $m_{i,t,s}$ = coefficiente angolare dell'i-esimo elemento in questione considerando lo scenario s durante il periodo t;
- $m_{t,s}$ = coefficiente angolare del territorio considerando lo scenario s durante il periodo t.

4. PARTICOLARITÀ DEL CRITERIO

In questo caso si vuole evidenziare che gli elementi con un andamento stabile, se sono analizzati all'interno di uno scenario con andamento in diminuzione ($m < 0$), sono considerati dei punti critici. Il problema nasce dal fatto che in questa categoria (trend stabile) rientrano anche quelli senza incidenti, nel periodo considerato, bisogna aggiungere, quindi, il vincolo che il numero di incidenti avvenuti nel periodo in esame sia maggiore di zero.

Per meglio chiarire il criterio appena presentato si fanno i seguenti esempi:

- Nel territorio si rileva, per lo scenario investimento di pedone, un trend in diminuzione ($m = -1,2$), l'elemento della rete stradale denominato "α" ha un trend decrescente anch'esso ma con $m = -0,5$; il modello etichetterà l'elemento α come punto nero, poiché, rispetto a quella del territorio, la diminuzione dell'elemento è minore.
- Nel territorio si rileva per lo scenario con tutti gli incidenti (scenario zero) un trend in aumento ($m = + 1$), l'elemento β ha un trend in aumento con $m = +0,3$; il modello, nonostante nel periodo preso in esame abbia rilevato un aumento dell'incidentalità in β, non lo segnalerà come punto critico poiché l'aumento è minore rispetto a quello generale.

Si propone, di seguito, l'applicazione del criterio temporale qui descritto allo stesso esempio introdotto nel paragrafo dedicato al criterio numerico.

ELEMENTO	N°INC 2014	N°INC 2015	N°INC 2016	N°INC 2017	N°INC 2018	m	SOGLIA	BLACK- SPOT?
A	0	1	0	0	0	-0,1	0,4	NO
B	2	2	1	1	0	-0,5	0,4	NO
C	1	0	0	1	1	0,1	0,4	NO
D	0	0	0	1	2	0,5	0,4	SI
E	0	0	1	0	1	0,2	0,4	NO
F	0	1	1	1	1	0,2	0,4	NO
TOTALE	3	4	3	3	5	0,4	-	-

Tabella 38: esempio di applicazione del criterio temporale tramite analisi del trend.

Nella tabella 38, sempre rispettando il numero di incidenti totali espressi all'inizio nella tabella 25, si è immaginato la distribuzione temporale negli ultimi 5 anni.

La colonna "m" che rappresenta il coefficiente angolare della retta di interpolazione dei dati "N°INC xxxx" di ogni elemento e del "TOTALE" è stata calcolata col metodo dei minimi quadrati classico presentato nel paragrafo. La soglia è il valore di "m" di tutti gli incidenti avvenuti (riga "TOTALE") immaginando di considerare uno scenario che li racchiuda tutti.

Come si può notare solo l'elemento D è considerato critico, nonostante, infatti, ci siano degli aumenti anche negli elementi C-E-F essi sono minori di quello generale e, quindi, sono tollerati.

RICORSIVITÀ

Il secondo criterio temporale che si presenta è la ricorsività negli anni, la quale può essere definita come "il ritorno periodico di un avvenimento a determinati intervalli di tempo" [vocabolario Treccani]. Nello specifico caso della sicurezza stradale, significa che un determinato evento incidentale avviene con una certa frequenza in un determinato elemento della rete stradale analizzata.

Nel già citato rapporto di EUPOLIS Lombardia (29) viene stabilito che un sito è rilevante (cioè è un punto nero) se si verifica la presenza di incidenti in almeno due su tre anni. In questo elaborato si considerano le seguenti informazioni per descrivere questo criterio:

- **INDICATORE:** numero di anni in cui si registra un incidente in un periodo di 3 anni, nello specifico gli ultimi tre in analisi;
- **SOGLIA:** devono verificarsi incidenti in almeno 2 di questi tre anni.

Quindi, se si considera un periodo di osservazione pari agli ultimi tre anni con dati a disposizione, questo criterio completa il precedente, perché permette di evidenziare (considerare critico) un elemento in cui si verifica il perseverare degli incidenti negli ultimi 3 anni, magari anche se si registra un trend in diminuzione.

Come fatto sinora si presenta l'esempio anche per questo criterio:

ELEMENTO	N°INC 2014	N°INC 2015	N°INC 2016	N°INC 2017	N°INC 2018	2 SU 3 ?	BLACK- SPOT?
A	0	1	0	0	0	NO	NO
B	2	2	1	1	0	SI	SI
C	1	0	0	1	1	SI	SI
D	0	0	0	1	2	SI	SI
E	0	0	1	0	1	SI	SI
F	0	1	1	1	1	SI	SI

Tabella 39: esempio di applicazione del criterio temporale basato sulla ricorsività.

I dati necessari sono i medesimi del criterio temporale con analisi del trend (tabella 38), infatti, sono entrambi dei criteri temporali, in realtà sono sufficienti anche solo le colonne “N°INC 2016”, “N°INC 2017” e “N°INC 2018”.

La colonna “2 su 3 ?” è stata calcolata tramite una condizione che se verificava la presenza di incidenti negli ultimi tre anni allora scriveva “SI” altrimenti “NO”, la colonna “black-spot” in questo caso segue pedissequamente la precedente.

3.6.4 FUNZIONE DI DETERMINAZIONE DEI BLACK-SPOT

In conclusione alla presentazione dei criteri per la determinazione dei punti neri sulla rete stradale in analisi, si vuole specificare che affinché un elemento entri nella lista dei *black-spot* è sufficiente che sia verificato almeno uno dei criteri esposti e siano stati rispettati i vincoli. Di seguito un elenco delle condizioni da rispettare e legate tramite l’operatore logico “O”:

- Se il numero degli elementi con lo stesso codice > 1 allora probabilità dell’elemento in esame $\leq Scn$ (criterio numerico);
- Se il numero degli elementi con lo stesso codice $= 1$ allora numero incidenti dell’elemento in esame $\geq Scn_2$ (criterio numerico);
- Indice di gravità (IG) dell’elemento in esame $\geq Sc1$ (criterio sulle lesioni);
- Trend del numero di incidenti negli ultimi 5 anni dell’elemento in esame $\geq Sc_{tt}$ (criterio temporale);
- Accadimento di uno o più incidenti in almeno 2 degli ultimi 3 anni dell’elemento in esame (criterio temporale);

e poi tutti i vincoli da rispettare:

- Numero di incidenti dell’elemento in esame $>$ valore medio incidenti dell’elemento in esame (λ) (criterio numerico);
- Numero di incidenti dell’elemento in esame > 0 (criterio sulle lesioni);
- Numero di incidenti dell’elemento in esame negli ultimi 5 anni > 0 (criterio temporale e solo precisazione dato che viene inglobato dal precedente).

Si riporta una tabella (tabella 40) che sintetizza le colonne “black-spot?” delle precedenti tabelle 26, 37, 38 e 39.

ELEMENTO	BLACK-SPOT? PROBABILITÀ	BLACK-SPOT? LESIONI IG	BLACK-SPOT? TREND m	BLACK-SPOT? RICORSIVITÀ	BLACK-SPOT? TOTALE
A	NO	NO	NO	NO	NO
B	SI	NO	NO	SI	SI
C	NO	NO	NO	SI	SI
D	NO	NO	SI	SI	SI
E	NO	SI	NO	SI	SI
F	SI	NO	NO	SI	SI

Tabella 40: tabella che riassume chi è entrato in classifica come punto nero.

In conclusione, se il modello terminasse in questa fase, l'output sarebbe una lista di elementi della rete stradale che risultano critici sulla base di almeno uno dei criteri di confronto scelti e descritti in precedenza. Questa lista può rappresentare già uno strumento utile per l'analisi di incidentalità, poiché rileva tutte le criticità di un'area scelta ma ne definisce le priorità. Nel capitolo successivo verrà spiegato come è possibile raggiungere un ulteriore grado di precisione.

3.7 PUNTEGGIO E CLASSIFICA

In seguito all'individuazione dei punti neri, il modello procede con una fase successiva, caratterizzata dalla creazione di una classifica che può tenere conto di tutti i criteri oppure di uno soltanto degli stessi punti, in modo da fornire un più preciso ordine di pericolosità dei punti e quindi di priorità degli interventi. La definizione di una classifica risulta anche conforme alla direttiva 2008/96/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio "sulla gestione di sicurezza delle infrastrutture stradali", che nell'articolo 5 comma 1,2 e 3 tratta proprio dell'importanza della classificazione della rete stradale (28).

Ciò che viene proposto in questo elaborato è un'importante implementazione: si tratta della definizione di un criterio per la creazione di una priorità degli interventi necessari per aumentare la sicurezza stradale, cioè uno strumento che possa inserire ai primi posti della lista dei black-spot quelli che risultano più critici.

Per ordinare la lista in questione è necessario avere un parametro unico da considerare per effettuare questa operazione. La scelta è ricaduta su un **indice di pericolosità (IP)**, che tiene conto dei valori di quasi tutti gli indicatori utilizzati, infatti non verrà tenuto conto del valore della ricorsività poiché presenta dei valori discreti e non continui, che risultano incompatibili la metodologia che verrà esposta.

Come già intuibile dal nome, l'indice di pericolosità (IP) definisce come siti più pericolosi quelli che ottengono un punteggio più alto; quindi, la classifica sarà ordinata in modo decrescente.

Questo indice di pericolosità deriva dai criteri descritti nel paragrafo precedente, eccetto l'indicatore sulla ricorsività. In particolare, l'indicatore che verrà utilizzato per ogni criterio risulta pari a:

- **CRITERIO NUMERICO:** l'inverso della probabilità di accadimento calcolata con la formula di Poisson. Questa scelta è data dal fatto che l'elemento più pericoloso deve avere il punteggio più alto mentre la probabilità di un elemento critico è molto bassa. L'inverso della probabilità, denominato come p , è una stima indiretta del numero di incidenti ma molto più indicativa. Una possibilità remota, ma comunque possibile, è che un elemento con una probabilità molto bassa e un numero di incidenti inferiore al valore medio entri nella classifica per uno degli altri tre criteri. In questo caso risulta errato attribuirgli un "punteggio" alto, poiché la sua probabilità è concettualmente differente da una ottenuta con un numero di incidenti superiore al valore medio. Quindi si può definire p con una funzione a tratti:

$$p_i = \begin{cases} p_i & \text{se } n^\circ \text{incidenti}_i \leq \lambda_i \\ 1 - p_i & \text{se } n^\circ \text{incidenti}_i > \lambda_i \end{cases}$$

Equazione 29: funzione per la definizione del punteggio con la probabilità.

Dove:

- p_i = probabilità di Poisson calcolata con l'equazione ...;
- $n^\circ \text{incidenti}_i$ = numero degli incidenti avvenuti in un elemento nel periodo considerato;
- λ_i = valore medio degli incidenti.
- CRITERIO SULLE LESIONI: l'indice di gravità calcolato è utilizzabile senza apportare alcuna modifica;
- CRITERIO TEMPORALE SULL'ANALISI DEL TREND: il coefficiente angolare (m) della retta di interpolazione è anch'esso utilizzabile senza modifiche.

Determinare quali indicatori utilizzare e come modificarli è il primo passo per effettuare la classificazione calcolando l'indice di pericolosità, infatti sommare tra loro questi indici senza alterazioni è sbagliato dato che si basano su scale differenti.

Quindi, lo step successivo consiste nel calcolare per ogni indicatore un punteggio che abbia gli stessi estremi, cioè lo stesso valore minimo e massimo. Per svolgere questo compito ci si basa su una metodologia già sperimentata nel metodo RHRS (Rockfall Hazard Rating System), messo a punto dal dipartimento dei trasporti dell'Oregon (USA). Questo metodo, usato per la caratterizzazione geologica delle strade, definisce un punteggio variabile tra 0 e 100 per ogni valore dei criteri utilizzati nella valutazione geologica delle strade (55).

Similmente la formula, equazione 30, sarà applicata per lo scopo prefissato, con l'unica differenza di un punteggio che varia in modo lineare e non esponenziale.

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - v_{jz}}{V_{jz} - v_{jz}} \cdot 100$$

Equazione 30: formula per la determinazione dei punteggi per ogni criterio.

Dove:

- y_{ij} = punteggio che varia tra 0 e 100 dell'i-esimo punto nero del j-esimo indice;
- x_{ij} = valore del j-esimo indice dell'i-esimo punto nero;
- V_{jz} = valore massimo dell'j-esimo indice per lo scenario z;
- v_{jz} = valore minimo dell'i-esimo indice per lo scenario z.

Quindi, per ogni scenario, si ottiene una diversa classifica dei siti più pericolosi utilizzando come parametro l'indice di pericolosità (equazione 31), calcolato come la somma pesata dei punteggi dei tre indici derivanti dai criteri definiti.

$$IP_i = \alpha \cdot P(p_i) + \beta \cdot P(IG_i) + \gamma \cdot P(m_i)$$

Equazione 31: indice di pericolosità (IP).

Dove:

- α, β, γ = coefficienti dei punteggi utili ai decisori nel caso abbiano la necessità di rendere un criterio prevalente rispetto agli altri;
- IP_i = indice di pericolosità dell'i-esimo elemento critico;
- $P(p_i)$ = punteggio associato al valore della probabilità dell'i-esimo elemento critico;
- $P(IG_i)$ = punteggio associato all'indice di gravità dell'i-esimo elemento critico;
- $P(m_i)$ = punteggio associato al coefficiente angolare della retta di interpolazione dell'i-esimo elemento critico.

Utilizzando i pesi nell'espressione finale che sono variabili tra 0 ed 1 e sono modificabili dall'utente si rende il modello molto flessibile alle necessità dei decisori. Grazie a questi coefficienti, infatti, non è solo possibile variare l'influenza di un criterio rispetto agli altri ma è anche possibile creare una classifica che si riferisce soltanto ad uno dei tre criteri (ponendo 0 come coefficiente degli altri due).

Riassumendo nelle tabelle seguenti (tabella 41 e 42) i precedenti esempi, descritti per ogni criterio e sintetizzati nelle tabelle 25, 26, 37, 38, 39 e 40, si determina anche la classifica senza utilizzare pesi differenti tra i criteri ($\alpha, \beta, \gamma = 1$) e lo scenario che si immagina è sempre quello totale (scenario 0):

ELEMENTO	BLACK-SPOT?	P	IG	m	P per classifica
A	NO	0,11	33,0	-0,1	-
B	SI	0,04	11,7	-0,5	0,96
C	SI	0,21	11,7	0,1	0,21
D	SI	0,19	22,3	0,5	0,81
E	SI	0,23	103,5	0,2	0,23
F	SI	0,20	17,0	0,2	0,20

Tabella 41: tabella che riassume i precedenti valori utili alla definizione dei punteggi.

Nella tabella 41 è descritta la colonna "P per classifica" che determina il valore della probabilità, da utilizzare per i punteggi della classifica, tramite l'equazione 29, si può notare che gli elementi B e D hanno nella colonna citata un valore di probabilità che è il completamento ad 1 di quella calcolata con Poisson (colonna P), infatti sono gli unici che nella tabella 25 e 26 hanno un numero di incidenti superiore a λ .

ELEMENTO	BLACK-SPOT?	PUNTI P	PUNTI IG	PUNTI m	IP	CLASSIFICA
A	NO	-	-	-	-	-
B	SI	100	0	0	100	3
C	SI	1	0	60	61	5
D	SI	81	12	100	192	1
E	SI	4	100	70	174	2
F	SI	0	6	70	76	4

Tabella 42: calcolo dei punteggi e determinazione della classifica.

Nella tabella 42 vengono calcolati i punteggi relativi ad ogni criterio e l'indice di pericolosità IP che come detto in questo esempio presenta i coefficienti tutti pari ad 1, quindi si ottiene semplicemente sommando, per riga, le colonne "PUNTI P", "PUNTI IG" e "PUNTI m". per il calcolo dei punteggi singoli viene applicata l'equazione 30 per esempio nel caso di "PUNTI P" il valore massimo è 0,96 (elemento B) mentre quello minimo è 0,20 (elemento F) e, infatti, questi due elementi hanno ottenuto rispettivamente gli estremi del punteggio 100 e 0. Lo stesso è riscontrabile nelle altre due colonne "PUNTI IG" e "PUNTI m". La colonna classifica viene stilata associando un numero crescente da 1 a n (in questo caso 5 poiché l'elemento A non essendo critico non viene considerato) seguendo in ordine decrescente il punteggio della colonna IP.

ELEMENTO	CLASSIFICA
D	1
E	2
B	3
F	4
C	5
A	-

Tabella 43: elementi ordinati in secondo la classifica o la priorità d'intervento.

L'ultima tabella (tabella 43) rappresenta l'output del modello cioè gli elementi classificati in ordine del punteggio IP.

Infine, si vogliono chiarire due punti fondamentali del modello, come la promiscuità di archi e nodi e la specificità dello scenario.

Il primo punto mette in risalto il fatto che la classifica comprenda archi e nodi insieme, senza distinzione. Questo è possibile grazie agli indicatori utilizzati, che già al loro interno contengono parametri che distinguono le due tipologie. Per esempio, se si considera la probabilità di accadimento, per il suo calcolo occorre sapere il valore medio degli incidenti che è una caratteristica distintiva di archi e nodi.

Il secondo punto è una precisazione in merito agli scenari. Bisogna tenere presente che non è possibile utilizzare l'indice di pericolosità per fare confronti tra scenari, dal momento che questo indice è relativo allo scenario considerato, come specificato nel paragrafo di descrizione della classificazione.

3.8 SINTESI DEL CAPITOLO

Nel presente capitolo è stato descritto il modello sviluppato in questo elaborato di tesi, che si può definire come il contenuto della “scatola nera” del sistema di supporto alle decisioni proposto. Di seguito si riportano i principali elementi che lo caratterizzano:

- La rete stradale è stata suddivisa in elementi che si differenziano tra loro sia dal punto di vista geometrico che funzionale. In particolare, la prima fase è stata la suddivisione tra archi e nodi, elementi che sono stati caratterizzati in una seconda fase attraverso l’attribuzione di un codice alfanumerico.
- Prima di analizzare la rete per trovare i punti neri si può scegliere se utilizzare l’intero dataset degli incidenti oppure affidarsi alla scelta e applicazione di uno o più scenari aderenti alle proprie necessità.
- Per l’analisi d’incidentalità finalizzata alla determinazione dei punti neri, sono stati usati tre criteri distinti che analizzassero gli incidenti sotto differenti aspetti quali quello numerico, quello delle lesioni e, in particolare, quello temporale (utile per verificare l’andamento degli incidenti negli anni).
- Infine, si è creato un indice di pericolosità, che, tenendo in considerazione tutti i criteri, ha permesso di creare una classifica per determinare anche un eventuale ordine d’intervento per la risoluzione dei punti più critici evidenziati dall’analisi.

Prima di concludere si vogliono esprimere due considerazioni. La prima riguarda il modello creato che è di tipo relativo cioè restituisce dei risultati, degli elementi critici, in relazione ai dati e agli elementi della città in esame. Infatti, nel criterio numerico la probabilità si basa su un numero di incidenti che caratterizza gli elementi con un codice uguale in quel territorio, quindi, non è un numero assoluto associato a quel codice. Un secondo esempio può essere la soglia del criterio temporale che si indentifica col trend dello scenario calcolato con gli incidenti del territorio in esame.

La seconda considerazione riguarda l’impostazione del capitolo, infatti, se esso può essere definito la parte teorica di descrizione del modello, il successivo riguarderà la parte pratica, ossia l’implementazione di quanto descritto finora in linguaggio informatico.

CAPITOLO 4: STRUMENTI E PROCEDURE

In questo capitolo si vuole presentare il progetto pratico sviluppato per la realizzazione del modello discusso nel precedente capitolo, con un focus sugli strumenti utilizzati. La struttura del capitolo ricalcherà, nei titoli principali e nell'organizzazione, il precedente capitolo. Per ogni sottocapitolo verranno presentate le funzioni del software utilizzato, le principali problematiche dovute al passaggio dal piano teorico a quello pratico e le possibili soluzioni proposte al fine di giungere alla realizzazione di uno strumento di supporto alle decisioni che mira ad automatizzare il modello proposto.

4.1 STRUMENTO DI LAVORO

Per realizzare fisicamente lo strumento di supporto alle decisioni basato sul modello descritto nel capitolo precedente, si deve utilizzare un software GIS, che permetta elaborazioni cartografiche complesse associate ad un numero elevato di dati. Nel caso specifico di questo elaborato di tesi è stato utilizzato il software QGIS.

Nel mondo esistono diverse tipologie di piattaforme GIS, che sono quasi tutte raggruppabili in software “open source”, cioè con il download gratuito, e in quelli definiti “proprietary”, cioè a pagamento. Un'altra distinzione presente è data da software “desktop”, che hanno la necessità di essere installati sul proprio computer, oppure “web service”, che si basano su normali funzionalità client-server (56).

Nella categoria “desktop GIS proprietari” uno degli strumenti più conosciuti è ArcGIS mentre in quella “webGIS proprietari” ci sono i DAAS (Data as a Service), che forniscono servizi di dati e di contenuti identificabili con le mappe che utilizziamo tutti i giorni per trovare un itinerario, un luogo o una strada (Apple Maps, Google Maps o Microsoft Bing Maps) (56).

Il software desktop QGIS, invece, è di tipo open source e risulta interessante analizzare alcune delle caratteristiche tecniche. Innanzitutto presenta un'interfaccia semplice ed intuitiva, un sistema multipiattaforma (cioè utilizzabile con differenti sistemi operativi come MACOS, LINUX, UNIX o Microsoft Windows), traduzione in molte lingue, minori dimensioni e minore utilizzo di RAM a parità di operazioni e soprattutto, grazie alla licenza GNU, General Public License (GNU GPL o GPL) il suo codice sorgente è liberamente e gratuitamente messo a disposizione, consentendone la riprogrammazione per soddisfare le necessità dell'utente (56, 57).

Date le esposte caratteristiche si sceglie QGIS per le operazioni di costruzione del SSD, in particolare QGIS Desktop versione 3.6.3 “NOOSA” installato su un computer con OS: Windows 8.1 a 64 bit, Intel®Core™i3 – 5005CPU@ 2.00 GHz RAM. 4,00GB.

4.2 FONDAMENTALI DI QGIS

Prima di iniziare la trattazione generale, si vogliono evidenziare alcuni tratti caratteristici del software: prima fra tutte l'interfaccia, i plugin che sono delle estensioni del software, le funzioni di “processing” tra cui il “calcolatore di campi” e le relazioni. Tutti questi formano dei sottocapitoli del paragrafo poiché sono gli aspetti maggiormente utilizzati del software.

INTERFACCIA

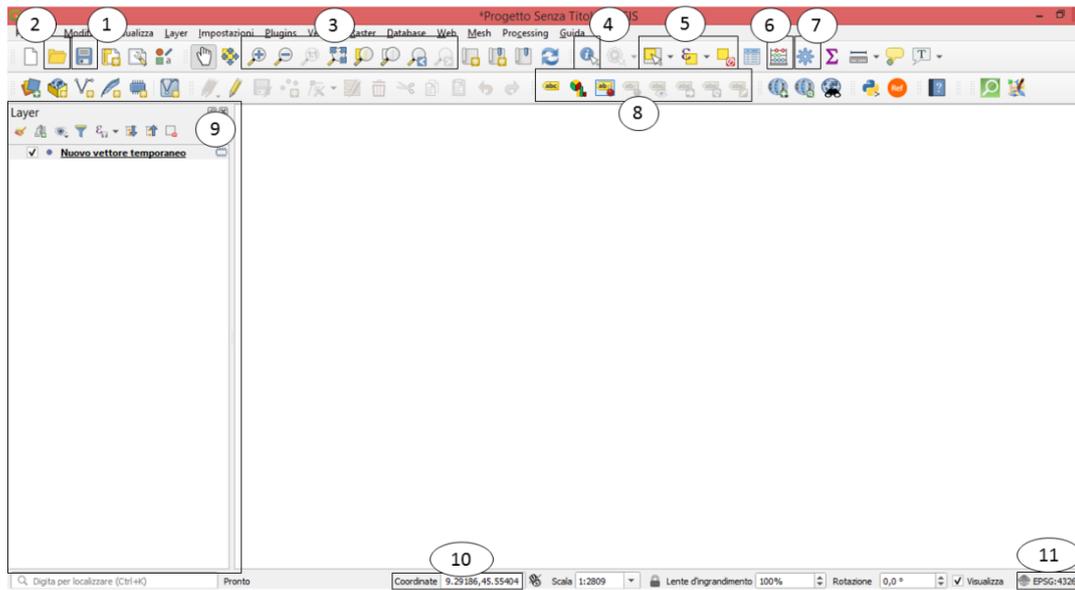


Figura 58: schermata base di QGIS 3.6

Nella parte alta della figura 58 si trova il menù con tutte le funzioni, sotto al quale sono presenti le icone dedicate alle principali funzioni come il salvataggio (1) e l'apertura dei file (2), la definizione della scala della mappa (3), l'interrogazione degli elementi (4), le selezioni (5), l'apertura del "calcolatore di campi" (6) e degli "Strumenti di processing" (7) e la tematizzazione dei layer (8). Nella parte laterale si trova il "Pannello dei layer" (9) dove sono riportati tutti i layer contenuti nella mappa in ordine di visualizzazione (il più alto è quello sovrapposto a tutti). Infine, nella parte bassa troviamo le coordinate del cursore (10) e il sistema di riferimento in cui sono espresse (11).

PLUGIN

I plugin sono delle estensioni del software, cioè funzionalità create non dagli sviluppatori di QGIS ma da altre persone a cui serviva una particolare funzione non disponibile nella versione base. Vista la quantità di plugin presenti in QGIS, essi non risultano preventivamente installati ma è necessario eseguire alcuni semplici passi per installare il plugin desiderato (figura 59).

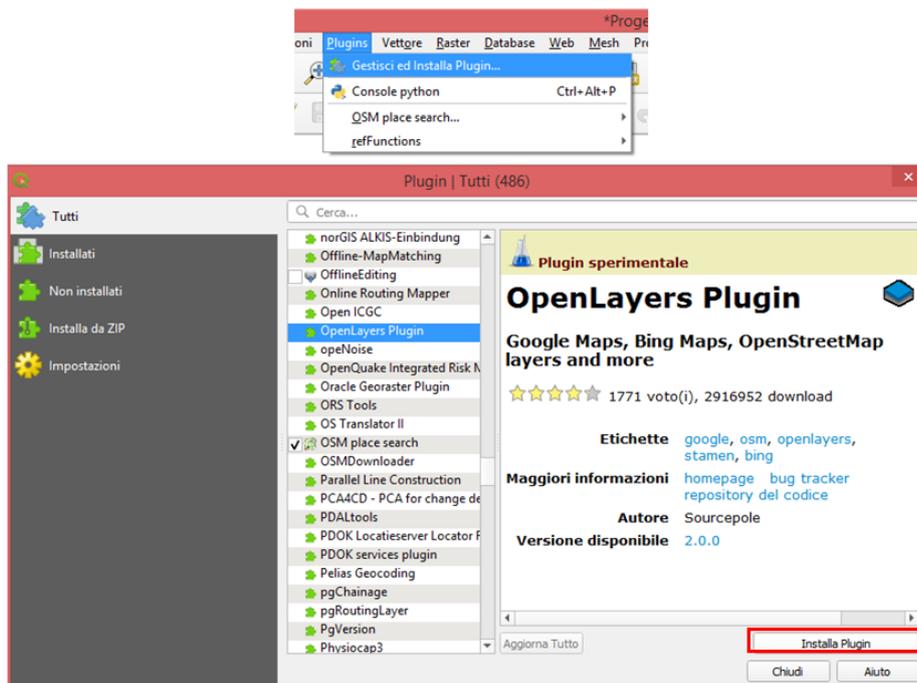


Figura 59: procedura per l'installazione dei plugin.

In questo progetto saranno usati i plugin:

- “OpenLayers Plugins”: permette di importare delle mappe satellitari da usare come sfondo dei progetti;
- “QuickOSM”: serve per importare nel progetto degli elementi dal portale OpenStreetMap;
- “refFunction”: serve per importare alcune funzioni aggiuntive nel “calcolatore di campi” come “geom_nearest” o “geom_distance” che saranno molto utilizzate.

FUNZIONI E LAYER TEMPORANEI

Tutte le principali funzioni di QGIS sono disponibili andando sul menù “Processing” e selezionando l’opzione “Strumenti”. Alcuni strumenti disponibili sono, per esempio:

- “riproietta vettore”: serve per cambiare sistema di riferimento di un layer, utile per passare dalle coordinate satellitari a quelle cartesiane.
- “unisci attributi secondo il valore del campo”: che serve per unire gli attributi di un layer a quelli di un altro sfruttando una corrispondenza di valori fra due campi.
- “aggiungi campo autoincrementale”: che serve ad aggiungere un campo che classifica gli elementi, da un valore iniziale (che può essere 1) ad uno finale, in base ad un altro campo già presente.

Ogni volta che si esegue una determinata funzione, viene creato un nuovo vettore di tipo temporaneo, cioè che non è reale ma conservato solo per la durata della sessione. Questi vettori temporanei devono essere salvati per poter conservare le elaborazioni

eseguite, altrimenti chiudendo il progetto il layer viene eliminato. Di seguito si riporta la procedura per salvare il vettore (figura 60).

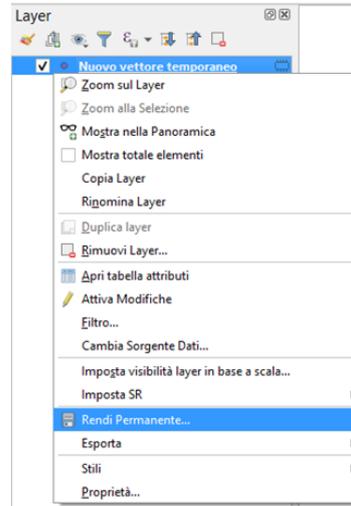


Figura 60: procedura per il salvataggio di layer temporanei.

CALCOLATORE DI CAMPI

Una delle potenzialità di QGIS è sicuramente la funzione “calcolatore di campi”, accessibile dalla “tabella degli attributi” del vettore.

	id	anno	mese	giorno
1	1	14	2	20
2	2	14	2	1
3	3	14	3	30
4	4	14	9	7

Figura 61: esempio di “tabella degli attributi” con quattro elementi e quattro campi. Con un rettangolo nero è evidenziato il tasto per aprire il “calcolatore di campi”.

La “tabella degli attributi” (figura 61) è una matrice dove ogni riga rappresenta un elemento (punto, linea, poligono, ...) mentre le colonne sono i campi, cioè gli attributi di ogni elemento. Questi campi possono essere creati e modificati dall’utente, così come generati da un calcolo importato con il “calcolatore di campi”.

Dal momento che per questo elaborato è stato utilizzato molto spesso questo strumento, si riporterà una descrizione delle sue funzionalità e della sua interfaccia, visibile in figura 62.

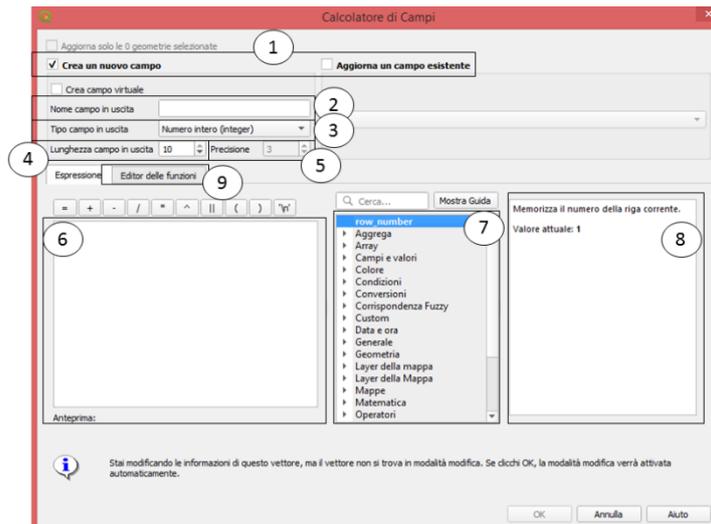


Figura 62: finestra del calcolatore di campi.

Tramite il “calcolatore di campi” (icona del pallottoliere), quindi, si possono creare o aggiornare (scelta che deve essere effettuata nell’area indicata dal numero [1]) i campi tramite delle funzioni/espressioni standard o definite dall’utente. Per creare un campo è necessario definire 5 parametri:

- “NOME CAMPO IN USCITA” (in questo testo abbreviato con N) [2]: massimo 10 caratteri
- “TIPO CAMPO IN USCITA” (abbreviato con T) [3]: si può scegliere se è un numero intero o decimale o se è testuale.
- “LUNGHEZZA CAMPO IN USCITA” (abbreviato con L) [4]: è il numero di caratteri massimo del campo, quindi se devo scrivere 1.000.000 avrò bisogno di 7 come lunghezza (massima lunghezza disponibile 255 caratteri).
- “PRECISIONE” (abbreviato con P) [5]: nel caso di numero decimale, rappresenta la posizione della virgola (esempio: per 10,003 serve P = 3)
- “ESPRESSIONE” (abbreviato con E) [6]: campo in cui vengono inserite le funzioni. Per l’inserimento di quest’ultime è utile consultare il riquadro centrale per delle funzioni suggerite [7] e descritte nella guida presente nel riquadro posto al numero [8].

Per scrivere un’espressione bisogna conoscere delle basi di logica e, per formulazioni più complesse, saper scrivere nel linguaggio di programmazione utilizzato in QGIS, cioè Python.

È possibile, infine, nell’editor delle funzioni [9] scrivere una funzione che non è presente tra quelle proposte e descritte. Nella tesi, per esempio, è stato necessario creare la funzione fattoriale che ha la seguente struttura:

```
from qgis.core import *
from qgis.gui import *

@qgsfunction(args='auto', group='Custom')
```

def fattoriale(n, feature, parent):

f=1

for i in range(2,n+1):

*f=f*i*

return f

Per una descrizione delle funzioni del “calcolatori di campi” usate nel capitolo, si consulti l’appendice B.

RELAZIONI

Una relazione in QGIS è un collegamento virtuale tra due layer; essa è caratterizzata da un layer “Padre” o “Parent” e uno “Figlio” o “Child”, con il vincolo che gli elementi appartenenti al layer “Padre” possono essere collegati con più elementi di layer “Figlio” ma non vale il viceversa (per esempio un incidente può trovarsi in un solo elemento e, quindi, sarà sul layer “Figlio”).

Perché una relazione funzioni, i due layer devono avere un campo in comune. Per creare una relazione bisogna aprire le proprietà del progetto, selezionare l’opzione “Relazioni” e, dopo averla caratterizzata, aggiungere una relazione.

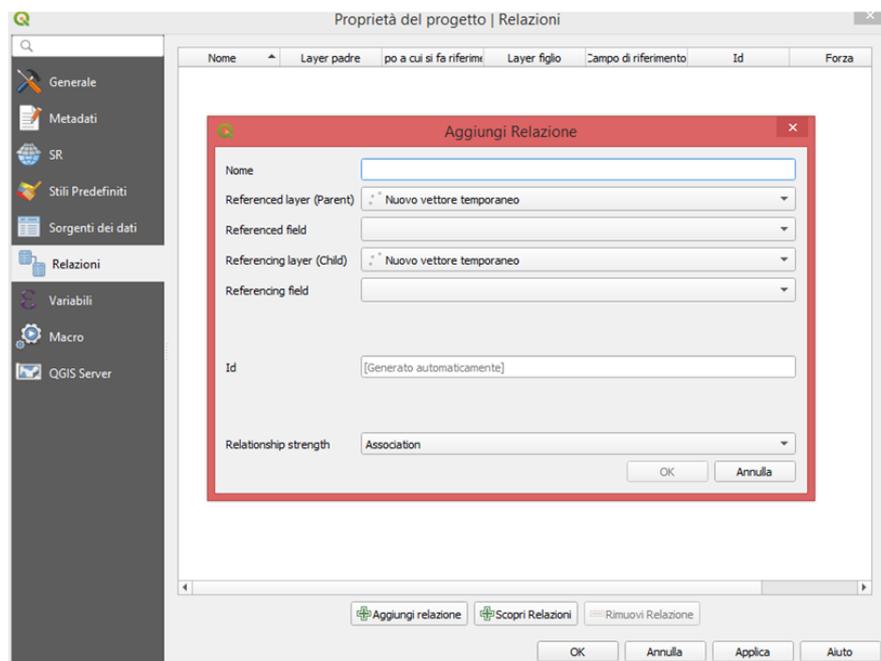


Figura 63: finestra per la realizzazione delle relazioni.

4.3 COSTRUZIONE DELLA RETE STRADALE

Come già evidenziato nel capitolo 3, varie istituzioni a livello nazionale o minore hanno a disposizione dei portali dove offrono dei dati gratuiti e liberamente utilizzabili (“opendata”) che rappresentano il territorio dal punto di vista geografico. Per quanto riguarda quelli utilizzabili in QGIS i formati file più comuni sono lo “shapefile” (estensione “.shp”) e il “geo package” (estensione “.gpkg”).

I dati delle reti stradali italiane sono concentrati su quelle strade di maggiore importanza come le autostrade, le strade statali e quelle regionali, si fa ancora moltissima fatica a reperire (il motivo principale è che non sono ancora state prodotte) quelle a livello comunale.

La base di partenza scelta per questo elaborato, quindi, è rappresentata dalla rete stradale di OpenStreetMap (OSM), un progetto mondiale messo a disposizione di qualsiasi utente gratuitamente, in cui ogni persona può fornire il proprio contributo per inserire informazioni e mappare il territorio, ma la parte più importante è che sono presenti la mappatura di tutte le tipologie di strade anche quelle sterrate (poiché è un’informazione che viene dal “basso”).

Per ottenere i dati (cioè la rete stradale) relativi ad una città di interesse è necessario utilizzare il plugin “Quick OSM” ed eseguire i seguenti passaggi:

1. Installare il plugin “Quick OSM”;
2. Aprire il plugin cliccando sulla relativa icona che compare dopo l’installazione;
3. Nella schermata che appare (figura 64) settare i parametri richiesti, in modo da ottenere gli elementi desiderati per una specifica area di studio (in questo caso “highway” come parametro chiave perché serviva la rete stradale completa e “brugherio” è la città utilizzata come caso studio). Eseguendo questo comando si avvia il download della rete in formato shapefile;

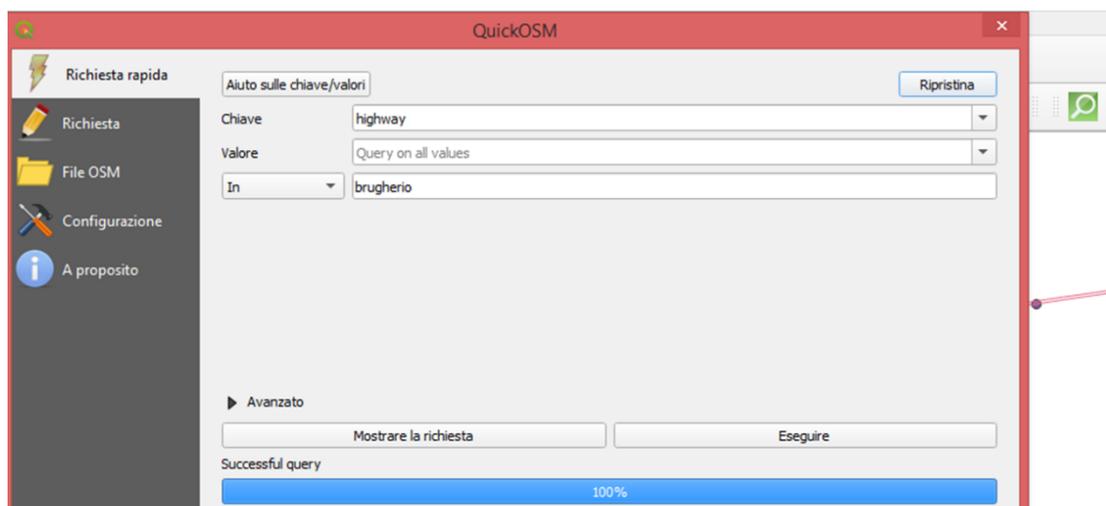


Figura 64: finestra di dialogo con “QuickOSM”.

4. Al termine della procedura nel pannello layer compaiono i seguenti elementi (figura 65):
- un layer poligonale contenente le aree della città selezionata che risultano a traffico limitato, come le piazze o le zone 30;
 - un layer lineare che contiene tutte le strade, i percorsi ciclabili e quelli pedonali dell'area selezionata;
 - un layer puntuale che contiene elementi di arredo urbano, come lampioni, semafori, segnali di precedenza o stop, attraversamenti pedonali o fermate TPL.

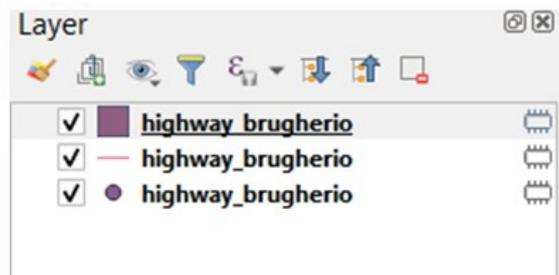


Figura 65: esempio di layer ottenibili con “Quick OSM”.

Prima di ottenere gli archi o i nodi con la codifica così come è stato spiegato nel precedente capitolo, è possibile aggiungere una mappa di sfondo per avere un punto di riferimento visivo. Per fare ciò, è necessario scaricare il plugin “OpenLayers Plugin” e scegliere dal menù a tendina la mappa che si vuole utilizzare, così come mostrato in figura 66.

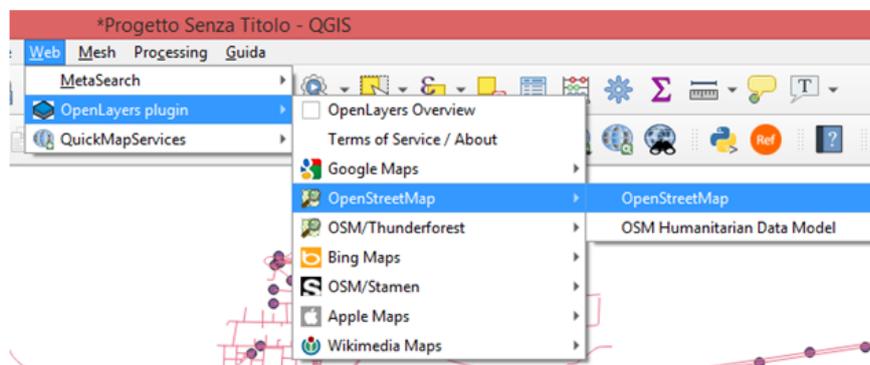


Figura 66: procedura per ottenere una mappa di sfondo.

4.3.1 ARCHI

Qualsiasi elemento mappato in OSM ha delle linee guida che ne definiscono sia il disegno su mappa che gli attributi, cioè gli elementi che lo caratterizzano. Nonostante la comunità dei “mappatori” di OSM sia sparsa per tutto il mondo queste linee guida sono seguite con scrupolo e sono tradotte in molte lingue; il sito di riferimento è (58).

Leggendo i suddetti documenti si realizza che le strade, rappresentate con elementi lineari, si interrompono (cioè diventano una linea spezzata composta da due o più elementi geometrici distinti) quando un qualsiasi attributo cambia il proprio valore (come il nome o la funzionalità, per esempio). Questo principio è in linea con quanto

necessario per realizzare una rete stradale composta da archi e nodi, il problema è che non sempre queste interruzioni corrispondono con i nodi così come descritti nel capitolo precedente (cioè generalmente equivalenti alle intersezioni).

Dato che potrebbe capitare che nel layer lineare siano contenuti elementi che non risultano utili per l'analisi dell'area di interesse, come le linee elettriche, le ferrovie (i passaggi a livello saranno trattati a parte), i percorsi ciclabili e pedonali ma anche le stesse strade che fra loro sono sfalsate altimetricamente, prima di creare la suddivisione tra archi e nodi è necessario pulire il layer dai suddetti elementi. La procedura per ottenere gli archi di interesse è la seguente:

1. Dopo aver selezionato il layer scaricato precedentemente si utilizzi la funzione “Seleziona Elementi con Espressione” immettendo la seguente espressione nel campo indicato con ① della figura 67:
`"highway" = 'motorway_link' OR "highway" = 'trunk_link' "highway" = 'primary' OR "highway" = 'primary_link' OR "highway" = 'secondary' OR "highway" = 'secondary_link' OR "highway" = 'tertiary' OR "highway" = 'tertiary_link' OR "highway" = 'unclassified' OR "highway" = 'residential' OR "highway" = 'living_street' OR "highway" = 'service' OR "highway" = 'construction' OR "highway" = 'pedestrian' OR "highway" = 'track' OR "highway" = 'road'`

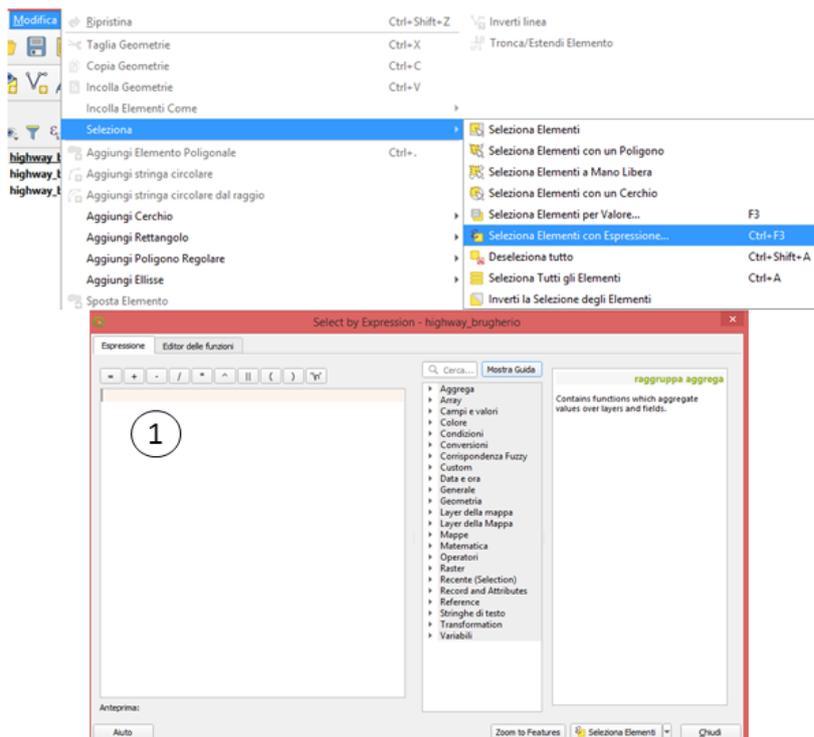


Figura 67: procedura per la selezione degli elementi con espressione.

L'espressione serve a selezionare solo quelle tipologie di strada che possono formare tra loro delle intersezioni a raso, dato che la classificazione non segue il modello italiano (A, B, C, D, E, F) la distinzione che si propone è quella di non considerare le strade con spartitraffico individuate con “motorway” e

- “trunk” ma di tenere i loro “link” poiché rappresentano gli svincoli (che possono formare intersezioni a raso).
2. Salvare gli elementi selezionati.
 3. Tramite lo strumento di “processing” “Dividi con linee” si vogliono creare gli archi. Nella finestra di dialogo con l’utente di questa funzione impostare come “Layer in ingresso” e “Dividi il Layer” il nome del file salvato al punto 2 (figura 68).

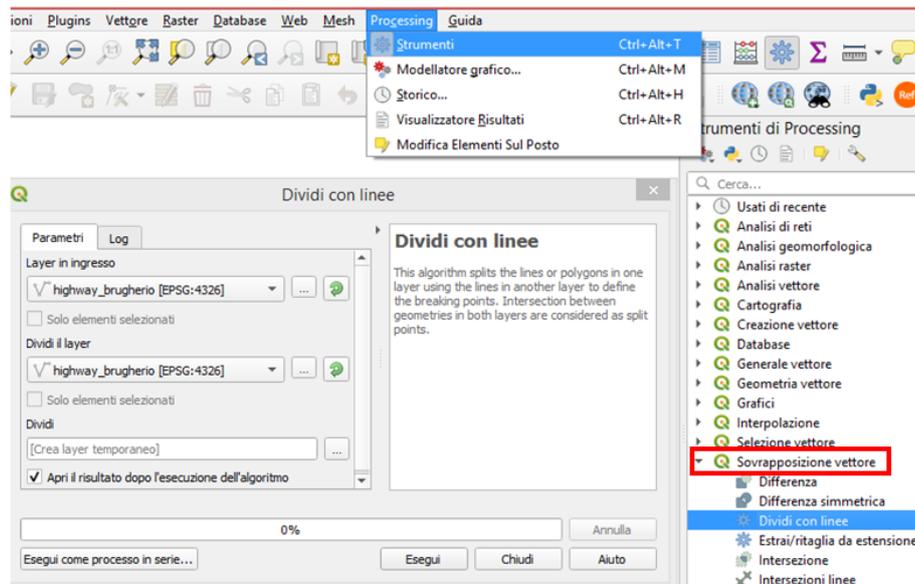


Figura 68: procedura e finestra per l’utilizzo della funzione “dividi con linee”.

A questo punto si ha a disposizione un layer con degli archi che uniscono due intersezioni o che rispettano l’omogeneità degli attributi. Per le future analisi, cioè per lavorare in metri e non in gradi, è possibile riproiettare il vettore tramite apposito comando, per farlo utilizzare lo strumento di “processing” “Riproietta Vettore” utilizzando come parametri i seguenti: per il “layer in ingresso” utilizzare “ARCHI” e per “SR di destinazione” “EPSG:3857 – WGS84/Pseudo – Mercator” (figura 69).

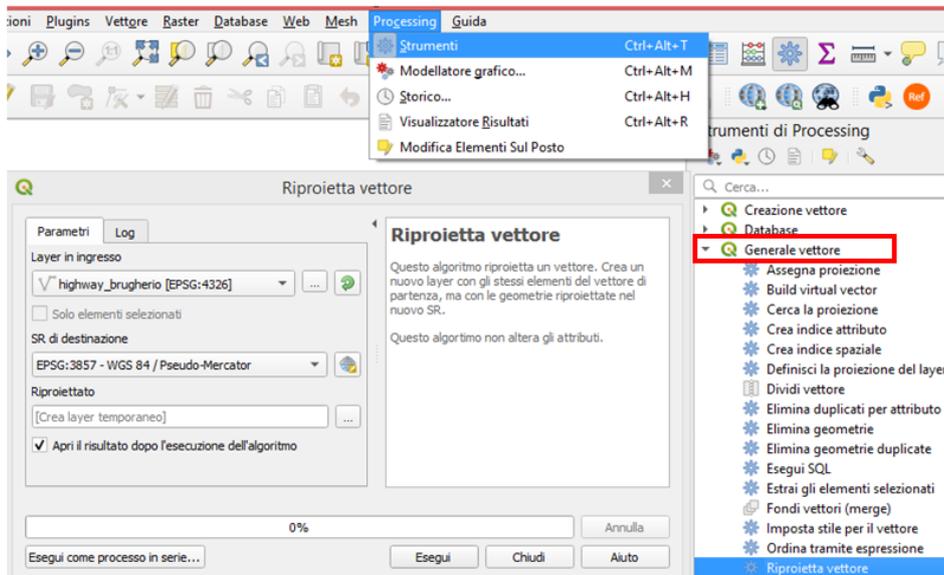


Figura 69: schermata per l'utilizzo della funzione "Riproietta vettore"

4.3.2 NODI

Utilizzando la definizione geometrica di nodo, si possono ottenere i richiesti elementi puntuali utilizzando la funzione di "processing" "Intersezioni linee" e settando come "Layer in ingresso" e "Vettore di intersezione" il layer salvato al punto 2 del sotto capitolo "ARCHI", lasciando poi inalterati tutti gli altri campi (figura 70).

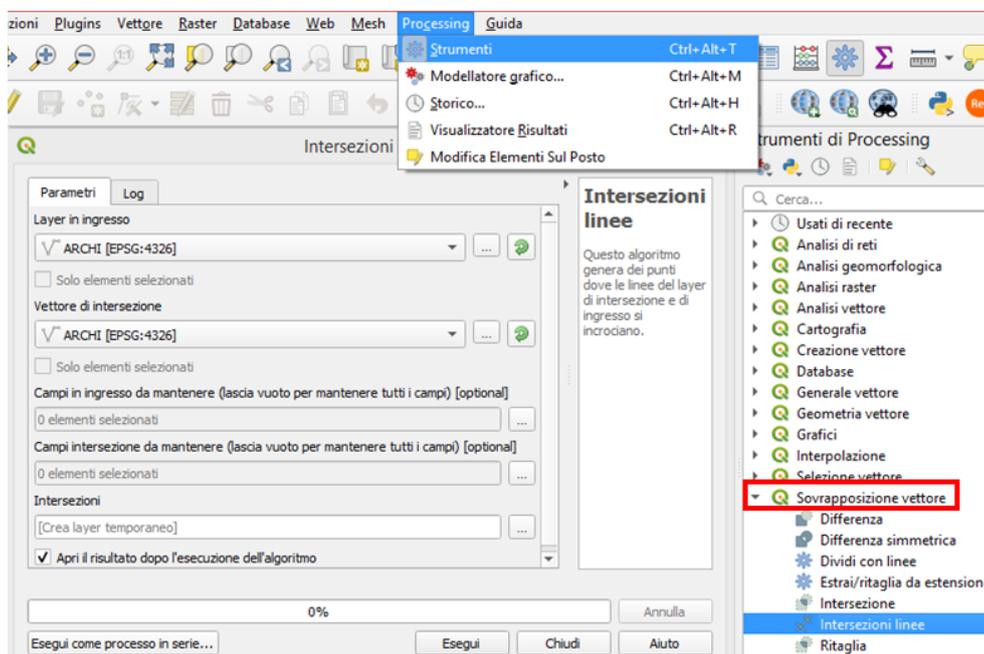


Figura 70: finestra di utilizzo per la funzione "intersezioni linee"

A questo punto si è ottenuto un layer che rappresenta le coppie di archi, infatti, come si può notare dalla figura 71, si creano tanti punti sovrapposti quante sono le possibili

combinazioni a due a due tra gli archi (in figura 71A con 4 archi si creano 12 punti ossia 4×3 e in figura 71B con 3 archi si formano 6 punti).

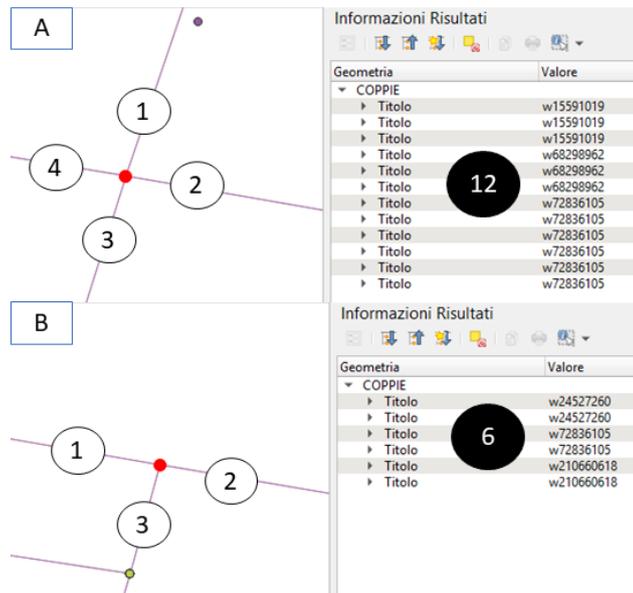


Figura 71: esempio del layer COPPIE_DI_VIE

Per evitare inconvenienti durante le successive elaborazioni, bisogna eliminare ogni punto sovrapposto, cioè si vuole mantenere un solo punto che rappresenti il nodo compreso tra due o più archi. Tramite la “funzione di processing” “Elimina geometrie duplicate”, e impostando nella finestra di dialogo con l’utente come “Vettore in ingresso” quello ottenuto in precedenza (figura 72).

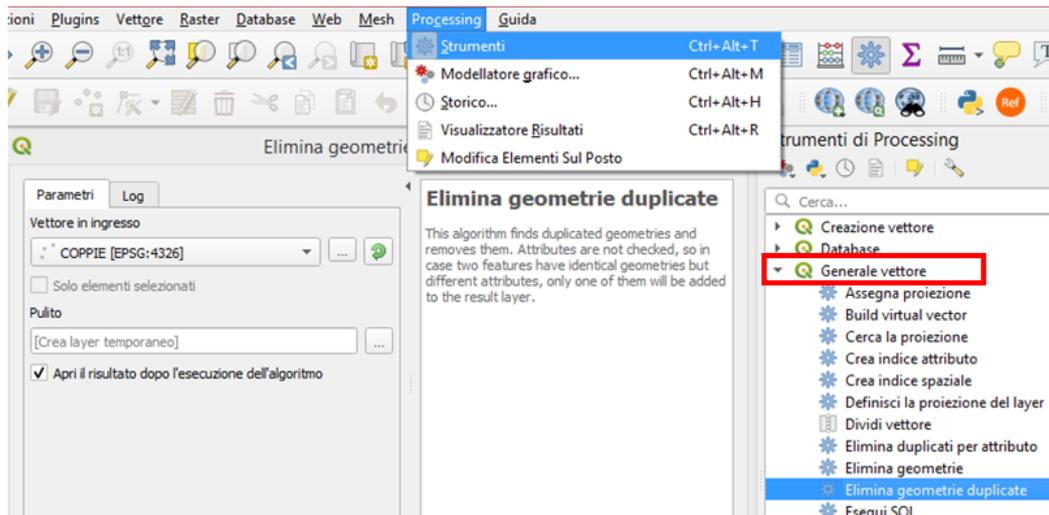


Figura 72: finestra di utilizzo della funzione “Elimina geometrie duplicate”

Come spiegato per gli archi, anche in questo caso può risultare utile riproiettare il vettore seguendo le indicazioni già riportate, ovviamente considerando il layer relativo ai nodi.

LA QUESTIONE DELLE ROTATORIE

Le rotatorie, essendo da considerare come una tipologia di intersezione, sono dei nodi e, quindi, nella rete stradale utilizzata per questo strumento dovrebbero essere rappresentate da un punto (figura 73 in basso). Nello shapefile estrapolato da OpenStreetMap, invece, le rotatorie sono rappresentate nella rete come una linea circolare, che identifica in particolare l'asse della corona giratoria (figura 73 in alto).

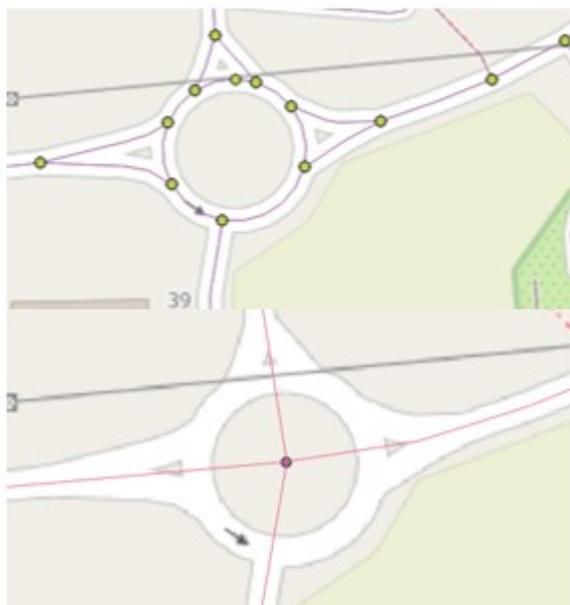


Figura 73: esempio di rotatoria, in alto come viene mappata (prima...), in basso come viene modificata (...dopo).

Per trasformare anche questa tipologia di intersezione in un singolo punto, la procedura che si può utilizzare è o di tipo manuale, andando a cancellare la corona rotatoria e sostituendola con un punto tramite gli strumenti di DIGITALIZZAZIONE AVANZATA (figura 74), oppure con la procedura descritta di seguito.

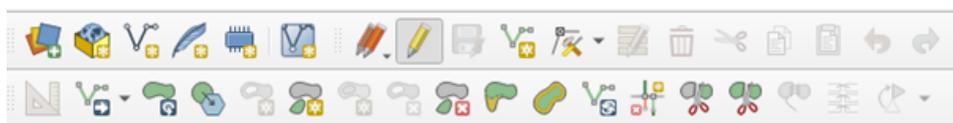


Figura 74: barra degli strumenti di DIGITALIZZAZIONE AVANZATA

Trasformazione rotatorie in nodi:

1. Tramite la funzione “Seleziona geometrie tramite espressione” si selezionano dal layer lineare scaricato da OSM solo le linee che rappresentano la rotatoria con la seguente espressione:
$$“JUNCTION” = ‘roundabout’$$
2. Con la funzione di “processing” “centroidi” si ottengono i punti baricentrali delle geometrie selezionate al punto 1. [come “Layer in ingresso” utilizzare

quello lineare scaricato da OSM senza alcuna modifica con solo la selezione e aggiungere la spunta alla casella “Solo elementi selezionati” (figura 75)].

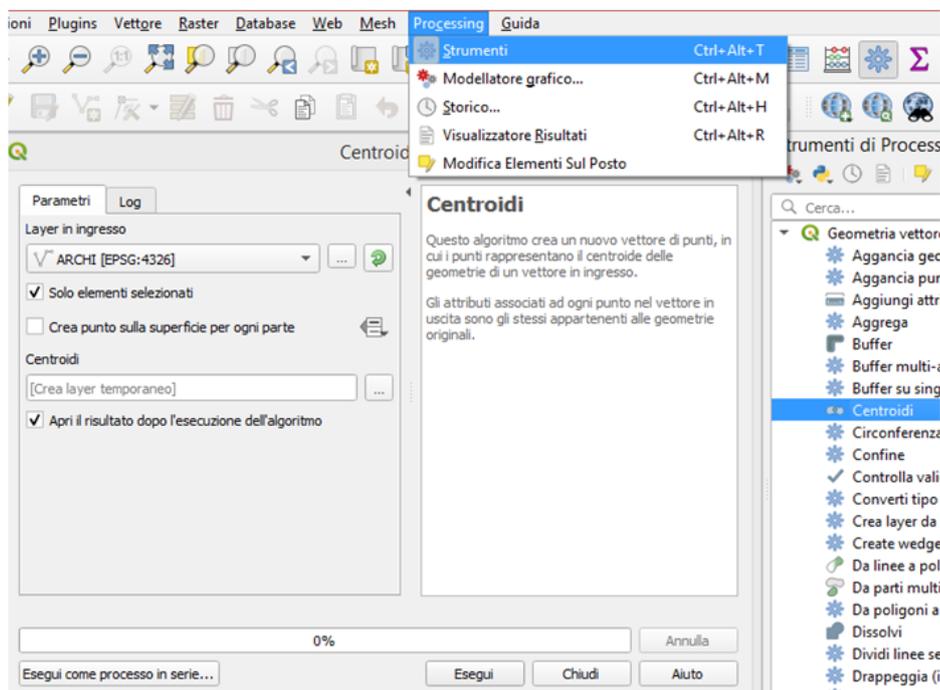


Figura 75: finestra per l'utilizzo della funzione "Centroidi".

4.3.3 ATTRIBUTI DEGLI ARCHI

Con questo paragrafo si vuole andare a costruire il codice degli archi, così come descritto nel capitolo 3, e a determinare gli altri attributi di questa tipologia di elementi necessari per le analisi successive (come la lunghezza o il traffico giornaliero medio). Per farlo ci si baserà sugli attributi che sono forniti da OSM e appartengono alla categoria delle strade (come il numero delle corsie, la larghezza della carreggiata, la presenza della sosta, del marciapiede ...) e su altri dati come la geometria degli elementi (per esempio la lunghezza).

IDENTIFICATION NUMBER o ID

Selezionare il layer degli “ARCHI” e aprire la tabella degli attributi per aggiungere un nuovo campo tramite il “calcolatore di campi” e le seguenti informazioni:

- N: ID
- T: Numero intero (integer)
- L: 10
- P: 0
- E: \$ID

FUNZIONALITÀ

Nel campo “highway” fornito non ci sono, come già evidenziato, delle corrispondenze dirette con la normativa italiana (le categorie italiane delle strade descritte nel capitolo

3 e nella normativa di riferimento non trovano riscontri con quelle del dato di OSM che riprendono una classificazione di stampo americano), quindi, per questo elaborato verrà utilizzata la seguente suddivisione:

- A: “Motorway”, “trunk” e relativi “link”
- B, C, D, E: Nessuna categoria
- F: “Primary”, “Secondary”, “Tertiary”, “Unclassified”, “Residential” e relativi “link”
- S: “living-street”, “service”, “pedestrian”, “track”, “road”, “construction”

Per creare il campo di interesse aprire la tabella degli attributi e utilizzare il “calcolatore di campi” con i seguenti valori:

1. N: FUNZIONAL
2. T: Testo (String)
3. L: 10
4. P: 0
5. E: *CASE WHEN "highway" = 'motorway' OR "highway" = 'motorway_link' OR "highway" = 'trunk' OR "highway" = 'trunk_link' THEN 'A' WHEN "highway" = 'primary' OR "highway" = 'primary_link' OR "highway" = 'secondary' OR "highway" = 'secondary_link' OR "highway" = 'tertiary' OR "highway" = 'tertiary_link' OR "highway" = 'unclassified' OR "highway" = 'residential' THEN 'F' ELSE 'S' END*

SENSO DI MARCIA

Nelle linee guida di OSM viene indicato nel campo col nome “oneway”, che se vi è la dicitura “yes” significa che l’arco è a senso unico, se c’è la voce “no” è a doppio senso, se è lasciato vuoto è sottointeso che è a doppio senso. Quindi, seguendo queste indicazioni, si può aprire la tabella attributi del layer archi e il “calcolatore di campi” per creare un nuovo campo:

- N: SENSO
- T: NUMERO INTERO (integer)
- L: 10
- P: 0
- E: *IF ("oneway" = 'yes', '0', '1')*

NUMERO DI CORSIE

Nella colonna con l’intestazione “lanes” OSM definisce il numero di corsie dell’elemento con la regola che se il campo è vuoto, allora il valore base è 1 per le strade a senso unico e 2 per quelle a doppio senso. Se il numero di corsie è diverso da quello di default allora si riporta il conteggio delle corsie per ogni carreggiata. È necessario ripercorrere il processo già descritto per creare un nuovo campo, inserendo i seguenti valori per il layer archi:

- N: N _ CORSIE
- T: NUMERO INTERO (integer)

- L: 10
- P: 0
- E: *CASE WHEN "lanes" is null THEN IF("SENSO"= 1 , 1,2) WHEN "lanes" < 3 THEN "lanes" ELSE 3 END*

VELOCITÀ

Il campo di riferimento è “maxspeed” dove vengono segnati i limiti di velocità in km/h. Il campo da creare dovrà rispondere alle seguenti indicazioni:

- N: VELOCITA
- T: Testo (String)
- L: 10
- P: 0
- E: *CASE WHEN “maxspeed” <= 30 THEN ‘F’ WHEN “maxspeed” <= 50 AND “maxspeed” > 30 THEN ‘E’ WHEN “maxspeed” <= 70 AND “maxspeed” > 50 THEN ‘D’ WHEN “maxspeed” <= 90 AND “maxspeed” > 70 THEN ‘C’ WHEN “maxspeed” <= 110 AND “maxspeed” > 90 THEN ‘B’ WHEN “maxspeed” <= 130 AND “maxspeed” > 110 THEN ‘A’ END*

PAVIMENTAZIONE

La colonna di riferimento in questo caso è quella denominata “surface”. Ci sono molte tipologie e sono raggruppate in “paved” (pavimentata) e “unpaved” (non pavimentata), il secondo gruppo rappresenta perfettamente la categoria del modello col nome “NON PAVIMENTATA” mentre il primo gruppo deve subire una ulteriore divisione per aderire alle caratteristiche della pavimentazione per come è concepita nel modello:

- “paved”, “asphalt”, “concrete”, “concrete: lanes”, “concrete: plates”, “metal” e “wood” sono classificate come “PAVIMENTATE”
- “paving-stones”, “sett”, “unhewn _ cobblestone” e “cobblestone” rientrano, invece, nella categoria “AD ELEMENTI”

Per determinare, invece, il valore CON ROTAIE, cioè indicare se nell’arco considerato siano presenti o meno delle rotaie, dato che non è un’informazione presente di default nelle caratteristiche fornite da OSM, è necessario procedere prima con i seguenti passaggi:

1. Scaricare i dati OSM della città in esame che riguardano la rappresentazione di una rotaia su strada utilizzando come “chiave”: “railway” e con “Valore”: “Tram” come mostrato in figura 76.

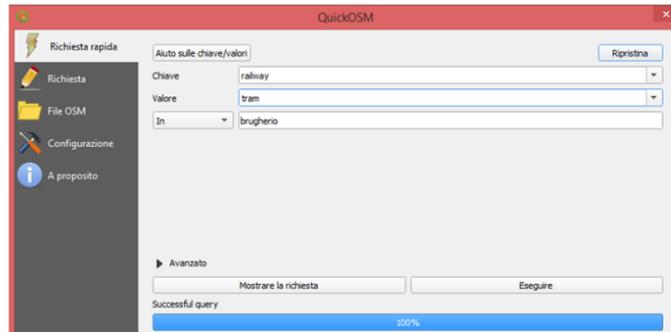


Figura 76: finestra per il download del layer contenente l'ubicazione dei binari in ambito urbano.

2. Salvare il vettore creato con la dicitura voluta (per esempio “ROTAIE”)
3. Riproiettare il vettore “ROTAIE” tramite la funzione di “processing” “Riproietta Vettore” e impostando come “layer in ingresso” “ROTAIE” e per “SR di destinazione” “EPGS:3857 – WGS84/Pseudo – Mercator”;
4. Creare un nuovo campo nella tabella attributi del layer ARCHI con:
 - N: CON_ROT
 - T: TESTO (String)
 - L: 10
 - P: 0
 - E: *IF (geom_distance (“ROTAIE”, \$distance, Rr) > 0, ‘SI’, ‘NO’)*

Questa espressione chiede al programma di calcolare se la distanza tra la linea rappresentante l’arco e quella del binario rientra in un raggio di valore Rr che NON può essere indicato. Il raggio Rr può essere posto pari alla larghezza della semi-carreggiata di larghezza massima della città di studio (nel capitolo 5 si daranno le informazioni utilizzate nel caso di studio).

In conclusione, bisogna creare, nel layer ARCHI, il campo della pavimentazione:

- N: PAVIMENT
- T: Testo (String)
- L: 10
- P: 0
- E: *CASE WHEN “ROTAIE” = ‘SI’ THEN ‘R’ WHEN “surface” = ‘paving-stones’ OR “surface” = ‘sett’ OR “surface” = ‘unhewn_cobblestone’ OR “surface” = ‘cobblestone’ THEN ‘N’ WHEN “surface” = ‘paved OR “surface” = ‘asphalt’ OR “surface” = ‘concrete’ OR “surface” = ‘concrete:lanes’ OR “surface” = ‘concrete:plates’ OR “surface” = ‘metal’ OR “surface” = ‘wood’ THEN ‘P’ ELSE ‘U’ END*

PISTA CICLABILE

Nelle linee guida WIKI - OSM esistono moltissime varianti per segnalare la presenza di una pista ciclabile lato strada. In generale, se la pista non è protetta da nessun dispositivo ma è composta dalla sola segnaletica orizzontale con pavimentazione di colore differente, l’informazione sulla sua presenza si trova tra gli attributi della strada

come “cycleway” = ‘lane’ e alcune varianti “cycleway_r” o “cycleway_l” per indicare la presenza sul lato destro o sinistro. Se, invece, dovesse essere presente una pista ciclabile protetta o su marciapiede, si può trovare come layer a parte. Per ottenere l’informazione descritta nel secondo caso, bisogna scaricare tramite “QUICK-OSM” il dato con “chiave”. “highway” e “valore”: “cycleway” (figura 77).

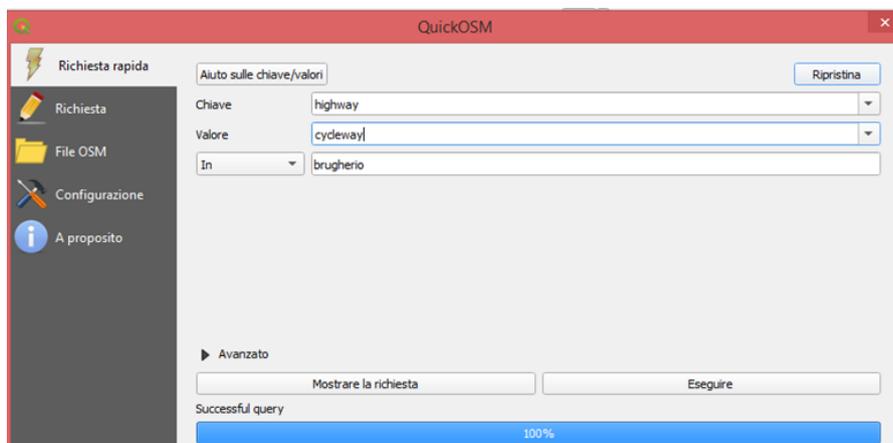


Figura 77: finestra per il download dei percorsi ciclabili tramite "QuickOSM".

Per creare il campo d’interesse seguire i successivi passaggi:

1. Creare nel layer ARCHI un nuovo campo con:
 - N: BICI
 - T: Testo (String)
 - L: 10
 - P: 0
 - E: *IF (geom_distance (“BICI”, \$distance, Rc)>0, ‘SI’, ‘NO’)*

In questo caso Rc segue i valori descritti nel capitolo 3, che poi saranno approfonditi nel capitolo 5;

2. Creare nel medesimo layer un altro campo nuovo:
 - N: PISTA_CIC
 - T: Numero intero (Integer)
 - L: 10
 - P: 0
 - E: *CASE WHEN “cycleway” = ‘lane’ THEN 1 WHEN “BICI” = ‘SI’ THEN 1 ELSE 0 END*

Ovviamente si aggiungono dopo “cycleway” = ‘lane’ tutti i nomi dei campi che si trovano (uniti con “or”).

MARCIAPIEDE

Analogamente a quanto detto per le piste ciclabili, esistono differenti nomi per le colonne relative all’elemento marciapiede, tutte iniziano con “sidewalk:*” e indicano

la presenza di un marciapiede o a destra (*: right) o a sinistra (*: left) o da entrambi i lati (*: both).

Quindi per creare il nuovo campo nel layer ARCHI si definiscono:

- N: MARCIAPIE
- T: Numero intero (Integer)
- L: 10
- P: 0
- E: *CASE WHEN "sidewalk:*" = 'yes' THEN 1 ELSE 0 END*

Al posto di "sidewalk:*'yes'", sostituire tutti i nomi delle colonne che hanno lo stesso prefisso sempre con = 'yes' e uniti da 'OR'.

ATTRAVERSAMENTO PEDONALE

In questo caso la possibilità di determinare questa caratteristica dipende da un layer a parte di OSM, cioè quello chiamato "crossing", il quale contiene tutti gli attraversamenti pedonali mappati come punti.

La procedura che si illustra non è diretta poiché i primi passaggi sono necessari ad evidenziare quelli appartenenti ai nodi, infatti, solo per differenza si può determinare quelli degli archi. Questo è dovuto a come si è impostato il campo nel capitolo 3, infatti, è stato definito un criterio per l'appartenenza degli attraversamenti pedonali ai nodi e non agli archi, quindi, a quest'ultimi sono associati i rimanenti esclusi dalla prima associazione.

1. Scaricare tramite "QUICK_OSM" il layer "crossing" come "chiave" usare "highway", come "valore" usare "crossing" e poi inserire la città (figura 78).

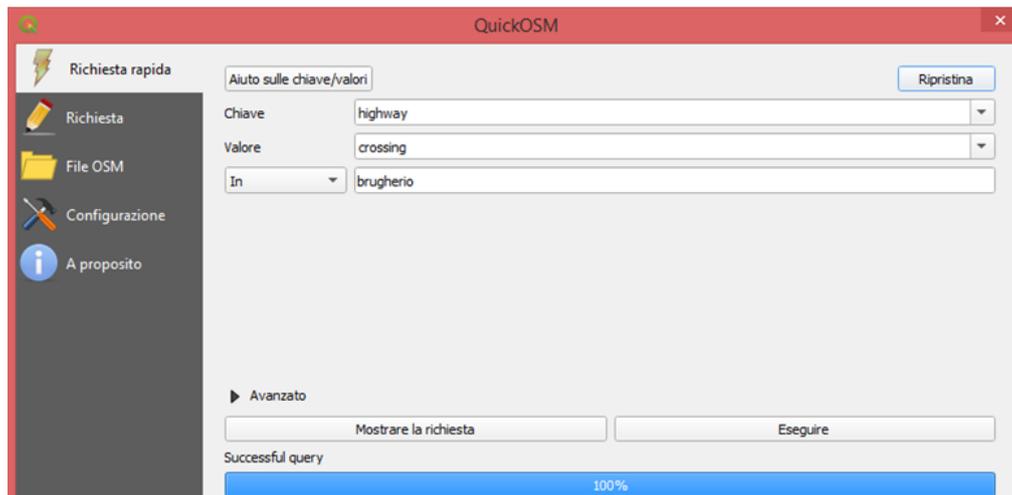


Figura 78: finestra per il download degli attraversamenti pedonali tramite "QuickOSM".

2. Riproiettare il vettore ottenuto nel sistema di riferimento "EPGS 3857: WG84/Pseudo-Mercator" e salvarlo come "crossing", poi aggiungere un nuovo campo:

- N: ID
 - T: Numero intero (Integer)
 - L: 10
 - P: 0
 - E: $\$ID$
3. Ora si vuole spostare tutte le geometrie appartenenti ad un nodo su di esso (come esposto nel capitolo 3 si userà un determinato valore che qui è identificato da Ra), quindi, utilizzare la funzione di “processing” ”Aggancia Geometrie al Vettore” con i parametri della finestra di dialogo con l’utente impostati in questo modo “Vettore in ingresso”: “Crossing”, “layer di riferimento”: “NODI”, “tolleranza”: Ra e “comportamento”: “Preferisci punto più vicino, non aggiungere nuovi vertici” (figura 79).

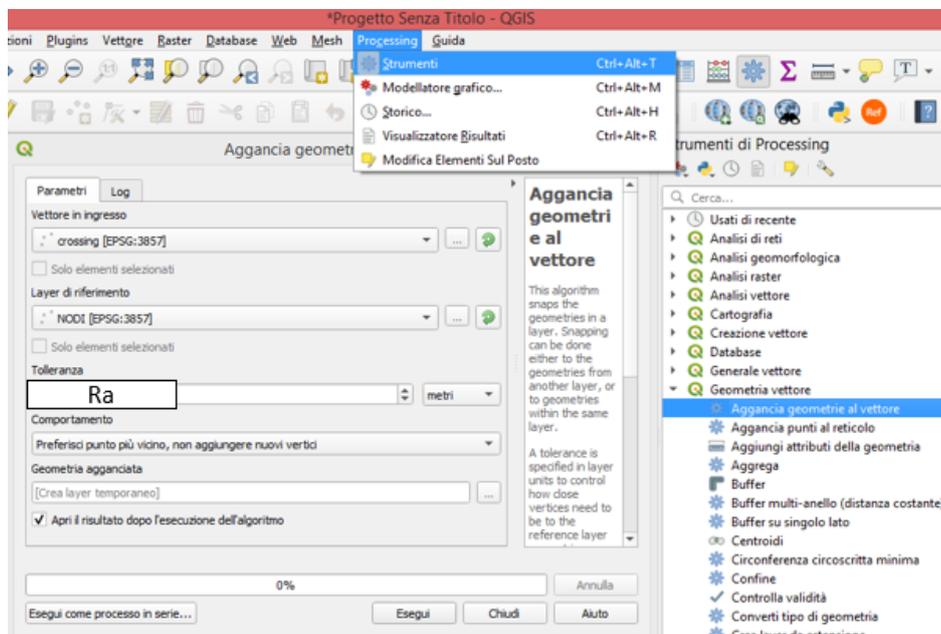


Figura 79: procedura e finestra di utilizzo per la funzione "Aggancia geometrie al vettore".

4. Salvare il layer di uscita per esempio col nome di “crossing_agg”
5. Creare quattro nuovi campi, due nel layer “crossing” e due nel layer “crossing_agg”:
- N: x (o y)
 - T: Numero decimale (Real)
 - L: 10
 - P: 3
 - E: $\$x$ (o $\$y$) a seconda di ciò che si sta calcolando.
6. Successivamente si devono confrontare le coordinate (x e y) di ogni attraversamento pedonale alla ricerca di quelli che si sono spostati (coordinate diverse) e, quindi, sono di appartenenza ad un nodo. Come prima operazione si vuole importare le coordinate (x e y) degli attraversamenti pedonali

agganciati nel layer iniziale tramite la funzione di “processing” “Unisci attributi secondo il valore del campo” con i seguenti valori (figura 80):

- “layer in ingresso”: “crossing”
- “Campo tabella”: “ID”
- “Vettore in ingresso 2”: “crossing_agg”
- “Campo tabella 2”: “ID”
- “Campi del layer 2 da copiare”. Scegliere x e y (creati al punto 5)
- “Tipo di unione”: “(one to one)”
- “Joined field prefix”: j_

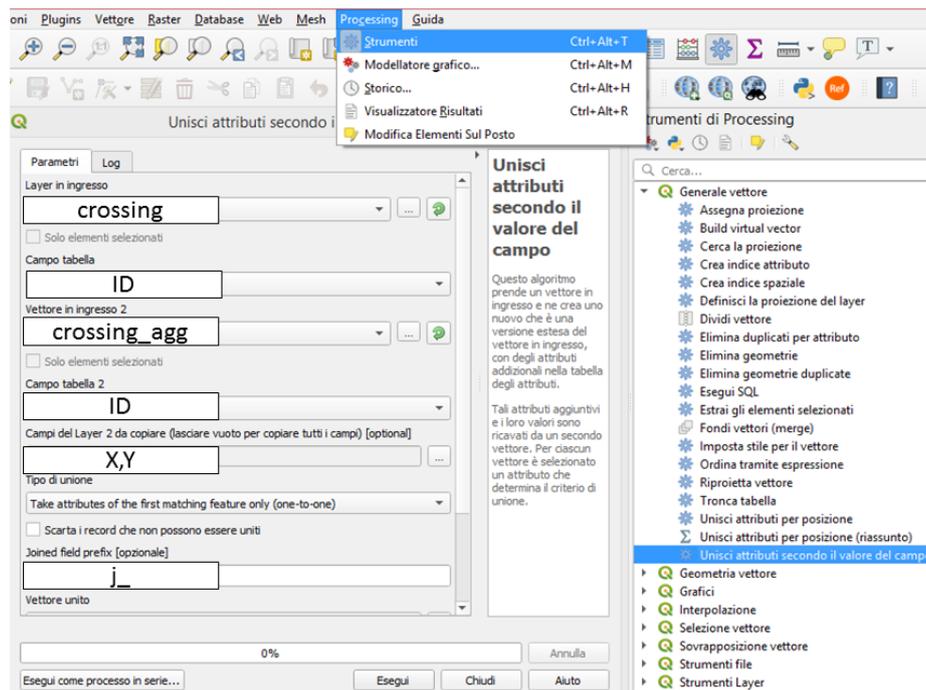


Figura 80: processo e finestra per l'utilizzo della funzione "Unisci attributi secondo il valore del campo".

7. Salvare il vettore in uscita dal punto 6 come “crossing _ def”
8. Creare, nel vettore “crossing _ def”, un nuovo campo per individuare gli attraversamenti pedonali che si sono spostati (cioè che si sono agganciati ad un nodo e, quindi hanno le coordinate x e y differenti da quelle iniziali):
 - N: CONFRONTO
 - T: Testo (String)
 - L: 10
 - P: 0
 - E: $IF ("x" = "j_x", IF ("y" = "y_2", 'FERMO', 'MOSSO'), 'MOSSO')$
9. Eliminare nella tabella attributi le righe con “CONFRONTO” = ‘MOSSO’.
10. Calcolare, infine, un nuovo campo per il layer ARCHI che restituisce il valore 1 se è rimasto un attraversamento pedonale nelle vicinanze dell’arco (il raggio

di ricerca è Raa a cui sarà attribuito un valore, insieme agli altri, nel capitolo 5):

- N: ATT_PED
- T: Numero Intero (Integer)
- L: 10
- P: 0
- E: $IF (geom_distance ("crossing_def", \$distance, Raa) > 1, 1, 0)$

SOSTA LATERALE

Come campo che identifica questa caratteristica troviamo “Parking:lane” nella tabella degli attributi del layer archi. Quindi, è necessario creare l’apposito nuovo campo:

- N: SOSTA
- T: Numero intero (Integer)
- L: 10
- P: 0
- E: $IF ("Parking: lane" = 'yes', 1, 0)$

CORSIA RISERVATA

Esistono due tipi di tag per identificare questa caratteristica: “busway” e “taxiway”; come nel caso precedente bisogna semplicemente creare un nuovo campo del layer ARCHI con caratteristiche pari a:

- N: C_RIS
- T: Numero intero (Integer)
- L: 10
- P: 0
- E: $IF ("busway" = 'yes' or "taxiway" = 'yes', 1, 0)$

FERMATA TPL

Le informazioni sulle fermate del trasporto pubblico possono essere ottenute facendo due tipi di download, sempre con “QUICK_OSM” e: o “chiave”: “highway” e “valore”: “bus-stop” o “chiave”: “public-transport” e “valore”: Vuoto entrambi per la città in esame. Dopo alcuni test si è concluso che la prima modalità contiene un numero più elevato di elementi (figura 81).

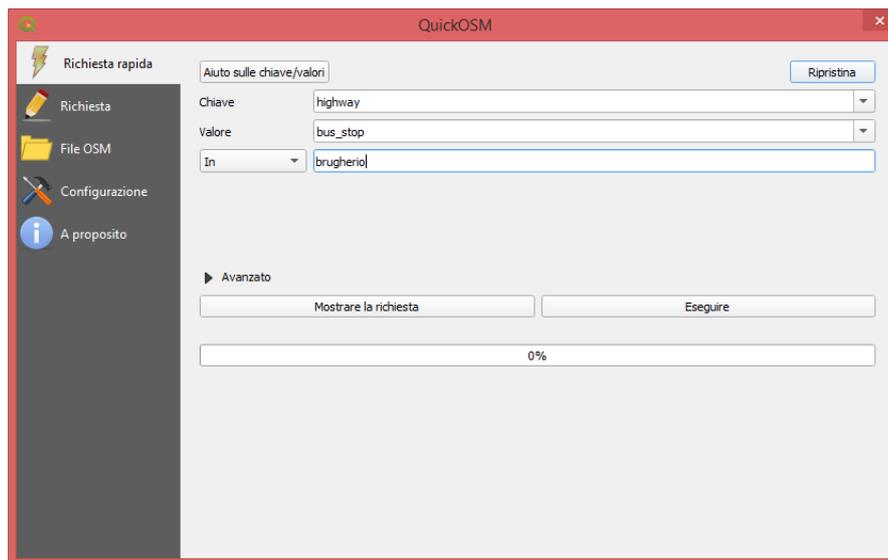


Figura 81: finestra del download delle fermate del trasporto pubblico attraverso "QuickOSM".

Quindi, dopo aver salvato il layer scaricato per esempio come “bus-stop”, si dovrà creare, nel layer ARCHI, un nuovo campo:

- N: FERMATA
- T: Numero Intero (Integer)
- L: 10
- P: 0
- E: $IF (geom_distance("bus-stop", \$distance, Rs) > 0, 1, 0)$

LUNGHEZZA

Questa caratteristica geometrica si può ricavare tramite il calcolatore di campi nel layer ARCHI inserendo le seguenti informazioni:

- N: LUNGHEZZA
- T: Numero decimale (Real)
- L: 10
- P: 3
- E: $\$length$

Per concludere, sono necessarie due ulteriori operazioni, cioè il calcolo del traffico giornaliero medio e l’inserimento del codice degli archi.

TRAFFICO GIORNALIERO MEDIO (TGM)

La prima informazione non è presente nei dati OSM e, di conseguenza, dovrà essere inserita manualmente nei casi in cui si abbiano a disposizione dei documenti con i TGM degli archi (nel caso non sia disponibile bisogna aggiungere comunque il campo, e inserire un valore pari a “1” affinché il modello funzioni correttamente).

CODICE

Per quanto riguarda il CODICE, per la sua creazione sarà sufficiente concatenare tutti i precedenti campi in modo ordinato, inserendoli in un nuovo campo nel layer ARCHI, attraverso la procedura qui descritta:

- N: CODICE
- T: Testo (String)
- L: 11 (o di più a seconda di quanti campi si vorranno aggiungere)
- P: 0
- E: “FUNZIONAL” | “N_CORSIE” | “SENSO” | “VELOCITA” | “PAVIMENT” | “PISTA_CIC” | “MARCIAPIE” | “ATT_PED” | “SOSTA” | “C_RIS” | “FERMATA”

Ciò che si ottiene, alla fine dei procedimenti descritti, è una tabella attributi completa di tutte le informazioni che possono caratterizzare un arco, comprese quelle fondamentali per il modello qui descritto. Un esempio di tabella attributi è presentato in figura 82.

	cod_cor	cod_sen	cod_cic	cod_mar	cod_ped	cod_sos	cod_pav	cod_pre	cod_str	cod_vel	codice
1	2	2	0	1	0	0	P	0	F	E	F22EP01000
2	1	1	0	0	0	1	P	0	F	E	F11EP00010
3	2	2	0	1	0	1	P	0	F	E	F22EP01010
4	2	2	0	0	0	0	P	0	F	E	F22EP00000
5	2	2	0	0	0	0	P	0	F	E	F22EP00000
6	2	2	0	0	0	0	P	0	F	E	F22EP00000
7	2	2	1	1	0	1	P	0	F	E	F22EP11010
8	2	2	0	1	0	1	P	0	F	E	F22EP01010
9	2	2	1	1	1	0	P	0	F	E	F22EP11100
10	2	2	0	1	0	1	P	0	F	E	F22EP01010
11	2	2	0	1	0	0	P	0	F	E	F22EP01000
12	2	2	0	1	0	0	P	0	F	E	F22EP01000
13	2	2	1	1	0	0	P	0	F	E	F22EP11000
14	2	2	0	1	0	0	P	0	F	E	F22EP01000
15	2	2	0	0	0	0	P	0	F	E	F22EP00000
16	2	2	0	0	0	0	P	0	F	E	F22EP00000
17	2	2	0	1	0	0	P	0	F	E	F22EP01000
18	2	2	0	0	0	1	U	0	F	E	F22EU00010
19	2	2	0	1	0	1	P	0	F	E	F22EP01010
20	2	2	0	0	0	0	P	0	F	E	F22EP00000

Figura 82: esempio di tabella attributi contenente alcuni campi per formare il codice e il risultato finale.

4.3.4 ATTRIBUTI DEI NODI

Come evidenziato nel capitolo 3, molte caratteristiche dei nodi dipendono direttamente da quelle proprie degli archi che vi confluiscono. In QGIS si può creare una relazione che leghi gli archi ai relativi nodi connessi. L’operazione si compone dei seguenti passi:

1. Come per gli archi è necessario avere un numero identificativo unico per ogni singolo nodo e quindi si crea il primo campo nel layer NODI:
 - N: ID

- T: Numero intero (Integer)
 - L: 10
 - P: 0
 - E: \$ID
2. Ora si vuole attribuire ad ogni arco il numero identificativo (creato al punto 1) di ogni nodo a cui converge (quello di inizio e quello di fine). Per eseguire questa operazione ci si avvale della funzione di “Processing” “Unisci attributi per posizione” e nella finestra di dialogo con utente usare i parametri seguenti (figura 83):
- “Layer in ingresso”: “ARCHI”
 - “Vettore di join”: “NODI”
 - “Predicato geometrico”: selezionare tutte le voci
 - “Campi da aggiungere”: “ID”
 - “Tipo di unione”: “one – to – many” (poiché per ogni arco ci sono due nodi quello di testa e quello di coda)
 - “Joined field prefix”: “NODO_”

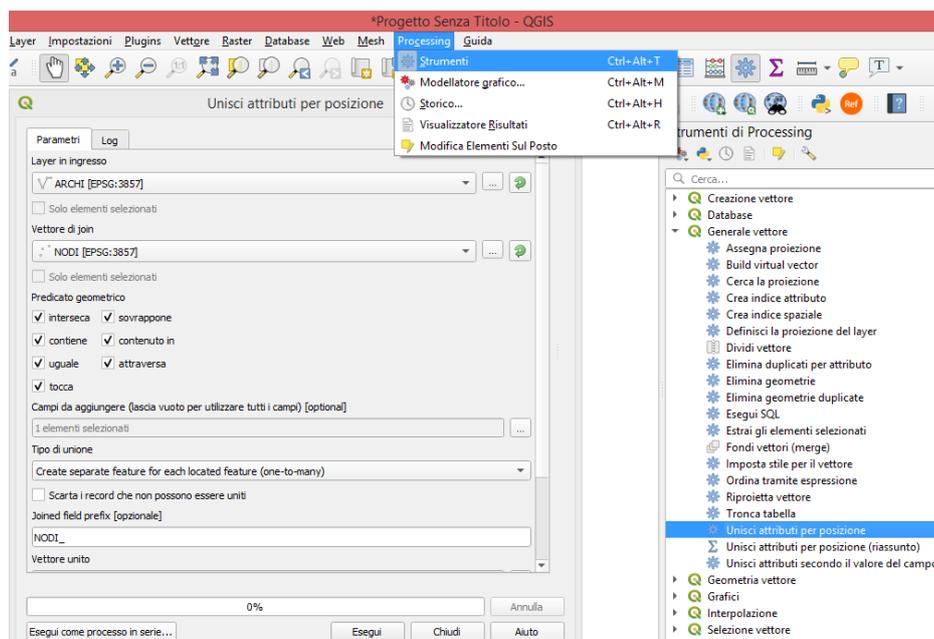


Figura 83: procedura e finestra per l'utilizzo della funzione "Unisci attributi per posizione".

3. Dato che si ha a disposizione un campo con delle corrispondenze tra archi e nodi (cioè il campo con l’ID del nodo) si crea la relazione così come visto nel paragrafo inserendo i seguenti valori nella maschera delle relazioni (figura 84):
- “Nome”: “ARCHI_NODI”
 - Referenced layer (Parent): “NODI”
 - Referenced field: “ID”
 - Referencing layer (Child): “ARCHI”
 - Referencing field: “NODO_ID”

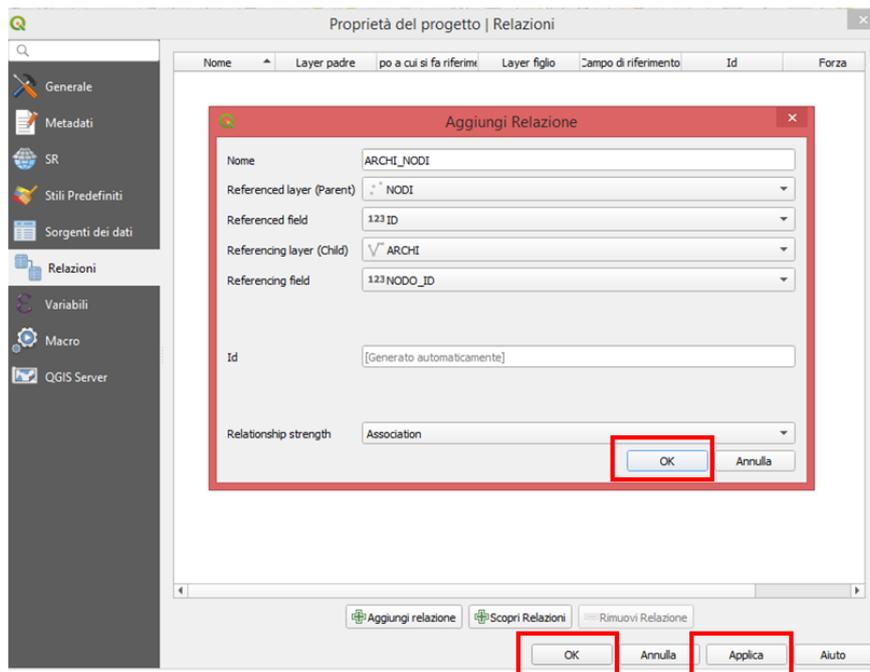


Figura 84: finestra per la creazione di relazioni.

CARATTERISTICA DEL NODO

Per determinare la tipologia del nodo, è necessario verificare alcune condizioni: la presenza di un semaforo, di una rotatoria o di strade di servizio.

1. Scaricare tramite QUICK_OSM i semafori attivi sul territorio utilizzando come “Chiave”: “highway” e come “valore”: “traffic-signals”; successivamente riproiettare il vettore in uscita nel SR “EPGS: 3857 – WGS84/Pseudo-Mercator” (figura 85).

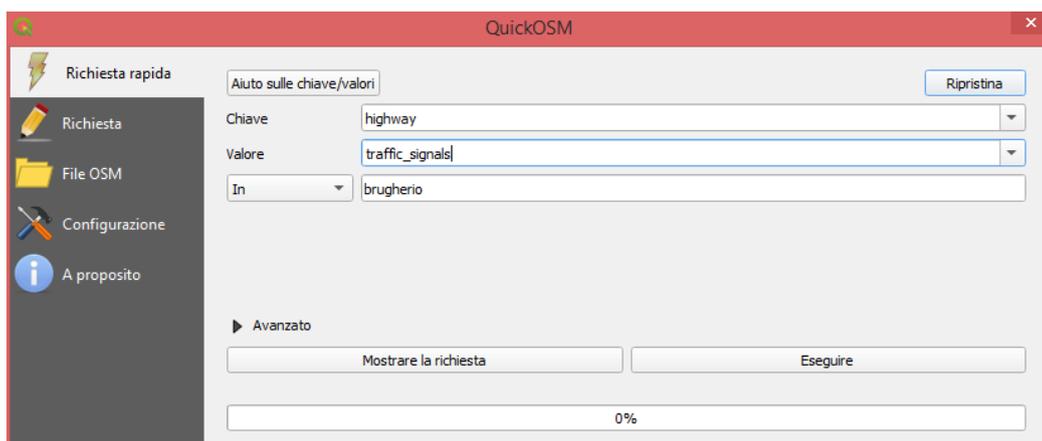


Figura 85: finestra del download della posizione dei semafori attraverso "QuickOSM".

2. Creare il campo nel vettore “NODI” che indica la presenza di un semaforo nelle vicinanze del nodo il raggio di ricerca è R_t e, come per gli altri, il suo valore sarà meglio specificato nel capitolo 5:

- N: SEMAFORO
 - T: Testo (String)
 - L: 10
 - P: 0
 - E: *IF (geom_distance("traffic-signals", \$distance, Rt)>1, 'SI', 'NO')*
3. Determinare se ci sono uno o più archi di servizio convergenti al nodo importando la funzione di tutti gli archi convergenti al nodo in un campo e poi ricercando se in questo campo c'è almeno una lettera "S" che indica la tipologia "di servizio".
- a. Creare un campo nel layer NODI:
- N: C_ARCHI
 - T: Testo (String)
 - L: 250
 - P: 0
 - E: *relation_aggregate('ARCHI_NODI', 'CONCATENATE', 'FUNZIONAL', ';')*
- b. Creare un altro campo:
- N: SERVIZIO
 - T: Testo (String)
 - L: 10
 - P: 0
 - E: *array_contains(string_to_array("C_ARCHI", ';'), 'S')*
4. Infine, si può procedere con il campo finale, ricordando che se un nodo è una rotatoria all'interno dovrebbe avere nella voce "junction" o "junction_2" il valore "roundabout", quindi:
- N: TIPO_INT
 - T: Testo (String)
 - L: 10
 - P: 0
 - E: *CASE WHEN "SEMAFORO" = 'SI' THEN 'S' WHEN "junction" = 'roundabout' or "junction_2" = 'roundabout' THEN 'R' WHEN "SERVIZIO" = 'true' THEN 'E' ELSE 'U' END*

NUMERO RAMI CONVERGENTI

Come descritto nel capitolo 3 si vogliono contare quanti archi convergono ad ogni singolo nodo e in base al numero viene definito il codice. Per farlo bisogna creare il campo nel layer NODI con i seguenti parametri:

- N: N_RAMI
- T: Numero intero (Integer)
- L: 10
- P: 0

- E: *CASE WHEN relation_aggregate('ARCHI_NODI', 'COUNT', "ID")>=4 THEN 4 ELSE relation_aggregate('ARCHI_NODI', 'COUNT', "ID") END*

NUMERO MEDIO DI CORSIE

Si vuole determinare la media delle corsie degli archi che afferiscono al nodo, sommando il numero di corsie e dividendolo per il numero di archi si ottiene il valore desiderato. Il campo da creare ha i seguenti valori:

- N: N_CORSIE
- T: Numero intero (Integer)
- L: 10
- P: 0
- E: *CASE WHEN relation_aggregate('ARCHI_NODI', 'MEAN', 'N_CORSIE') <2 THEN 1 WHEN relation_aggregate('ARCHI_NODI', 'MEAN', 'N_CORSIE') >2 THEN 3 ELSE 2 END*

VELOCITÀ

Il campo relativo alle velocità risulta molto simile a quello degli archi; la velocità associata al nodo è pari al limite più elevato tra quelle dei rami confluenti. L'espressione formale è simile a quella degli archi:

- N: VELOCITA
- T: Testo (String)
- L: 10
- P: 0
- E: Sostituire nell'espressione degli archi: "maxspeed" con *relation_aggregate('ARCHI_NODI', 'MEAN', "VELOCITA")*

PAVIMENTAZIONE

Dato che il nodo non ha caratteristiche proprie in OSM, è necessario fare alcune ipotesi di base per definire il campo relativo alla pavimentazione:

- Se tutti gli archi hanno lo stesso tipo di pavimentazione, allora quella pavimentazione sarà associata anche al nodo;
- Se almeno due archi hanno le rotaie, anche il nodo avrà questa caratteristica;
- Se non c'è un tipo di pavimentazione definito si suppone che il nodo sia pavimentato.

Il campo dovrà avere i seguenti valori:

- N: PAVIMENT
- T: Testo (String)
- L: 10
- P: 0
- E: *CASE WHEN array_length(array_distinct(string_to_array(relation_aggregate('ARCHI_NODI', 'CONCATENATE',*

```

“PAVIMENT”)))) = 1 THEN (array_distinct
(string_to_array(relation_aggregate ('ARCHI_NODI', 'CONCATENATE',
“PAVIMENT”)) WHEN array_cointains (string_to_array
(relation_aggregate ('ARCHI_NODI', 'CONCATENATE', “PAVIMENT”)),
‘R’) = ‘TRUE’ THEN ‘R’ ELSE ‘P’ END

```

ATTRAVERSAMENTO PEDONALE

Il processo è lo stesso descritto per l’attributo “attraversamento pedonale” relativo agli archi, fino al punto 4 si esegue la procedura già descritta per gli archi poi si prosegue con i seguenti passaggi:

5. Aggiungere ad ogni elemento del layer “crossing_agg” l’ID del NODO agganciato tramite un nuovo campo, descritto qui di seguito, nel layer sopracitato:
 - N: N_ID
 - T: Numero intero (integer)
 - L: 10
 - P: 0
 - E: *geom_distance(“NODI”, “ID”,1)*

In questo caso è interessante notare che si è potuto esprimere un valore del raggio di ricerca (pari ad 1) poiché si è interessati solo a quelli nelle immediate vicinanze del nodo, infatti, sono stati agganciati in precedenza.

6. Poi si prosegue col creare la seguente relazione:
 - Nome: “NODI_CROS”
 - Referenced layer (Parent): “NODI”
 - Referenced field: “ID”
 - Referencing layer (Child): “crossing_agg”
 - Referencing field: “N_ID”
7. Infine, si può creare un nuovo campo nel layer NODI che rappresenta l’ultimo passaggio:
 - N: ATT_PED
 - T: Testo (String)
 - L: 10
 - P: 0
 - E: *CASE WHEN relation_aggregate (‘NODI_CROS’, ‘COUNT’, “highway”) =0 THEN ‘N’ WHEN relation_aggregate (‘NODI_CROS’, ‘COUNT’, “highway”) < relation_aggregate (‘ARCHI_NODI’, ‘COUNT’, “ID”) THEN ‘M’ ELSE ‘C’ END*

PISTA CICLABILE

Seguendo le indicazioni fornite nel capitolo 3 si crea il seguente campo che definisce la presenza della pista ciclabile nel nodo solo se è presente in tutti gli archi che vi convergono:

- N: PISTA_CIC
- T: Numero intero (Integer)
- L: 10
- P: 0
- E: *IF (relation_aggregate ('ARCHI_NODI', 'SUM', "PISTA_CIC") = relation_aggregate ('ARCHI_NODI', 'COUNT', "ID"), 1, 0)*

LUNGHEZZA e TGM

Infine, una nota tecnica, i campi relativi al traffico giornaliero medio e alla lunghezza dovranno essere creati anche in questo caso, seguendo la procedura già descritta, ma ogni elemento della tipologia nodo sarà caratterizzato da valori pari a "1" in questi campi. Questo perché il modello non richiede il TGM per i nodi, né tantomeno le informazioni sulla lunghezza (caratteristica propria solo degli archi) ma servono per evitare malfunzionamenti della funzione di analisi.

CODICE

Il passo finale è costituito dalla creazione e compilazione del campo relativo al codice dei nodi, che segue il procedimento qui descritto:

- N: CODICE
 - T: Testo (String)
 - L: 7 (con lo stesso consiglio di quello degli archi)
 - P: 0
- E: "TIPO_INT" | "N_RAMI" | "N_CORSIE" | "VELOCITA" | "PAVIMENT" | "ATT_PED" | "PISTA_CIC"*

Se la procedura è stata eseguita correttamente si dovrebbe ottenere una tabella degli attributi simile a quella di figura 86 con la colonna del codice evidenziata in rosso.

	cod_int	cod_ram	cod_cor	cod_vel	cod_ped	cod_sup	cod_cic	codice
1	R	4	1	E	C	P	0	R41EPC0
2	S	4	2	E	C	P	0	S42EPC0
3	U	3	1	E	M	P	0	U31EPM0
4	R	4	1	E	C	P	0	R41EPC0
5	S	4	2	E	C	P	0	S42EPC0
6	S	4	2	E	C	P	0	S42EPC0
7	S	4	2	E	C	P	0	S42EPC0
8	U	3	2	E	M	P	0	U32EPM0
9	U	3	1	E	N	P	0	U31EPN0
10	S	4	2	E	C	P	0	S42EPC0
11	S	4	2	E	C	P	0	S42EPC0
12	S	4	1	E	M	P	0	S41EPM0
13	U	3	2	E	M	P	0	U32EPM0
14	E	3	2	E	N	P	0	E32EPN0
15	U	3	2	E	C	P	0	U32EPC0
16	U	3	2	E	M	P	0	U32EPM0
17	U	3	1	E	M	P	0	U31EPM0

Figura 86: esempio di tabella attributi con alcuni campi usati per la creazione del codice e il risultato finale.

4.4 ASSOCIAZIONE DEGLI INCIDENTI ALLA RETE

Lo scopo dell'analisi sui dati incidentali in questa fase è quello di ottenere, per ogni incidente a disposizione, l'ID del nodo o dell'arco in cui risulta localizzato. Per svolgere questa operazione esistono due metodologie: la prima si basa sulla presenza di coordinate georeferenziate mentre la seconda, che si attua nel caso non sia abbiano a disposizione le coordinate, prevede di utilizzare le informazioni sulla localizzazione quali numero civico, coppia di vie o progressiva chilometrica.

4.4.1 COORDINATE GEOGRAFICHE

Se si vuole utilizzare questa opzione, i dati che devono essere presenti nel dataset degli incidenti sono le informazioni su latitudine e longitudine, cioè le coordinate geografiche. Dal momento che spesso questa informazione non è disponibile, è possibile utilizzare alcuni tools che trasformano dati come per esempio numero civico e nome delle vie in coordinate.

TOOLS DI GEOREFENZIAZIONE

Il primo strumento che si presenta è il componente aggiuntivo "Geocode by Awesome Table" di "Fogli Google". "Fogli Google" è un foglio di calcolo basato sul web, cioè che non richiede nessuna installazione sul proprio pc (59), tra le possibilità più interessanti c'è quella di poter installare un componente aggiuntivo, cioè un applicazione che permette di estendere le funzionalità di un normale foglio di calcolo (60). La procedura è molto semplice e può essere schematizzata come segue:

1. Aprire Excel e copiare nella prima colonna l'indirizzo degli incidenti da geolocalizzare.

2. Supponendo che il numero civico o la seconda via (nel caso di intersezioni) siano separate dal nome della prima via con una virgola si selezioni la colonna e tramite il tasto “testo in colonne” si divida la colonna in due parti.
3. Nella terza colonna si scriva: “, NOME della CITTÀ (per esempio Milano), NOME della NAZIONE (per esempio Italia)”
4. Nella quarta colonna si digiti la formula: [colonna 1 & ”&” & colonna 2 & colonna 3], per ottenere il campo da utilizzare per richiedere le coordinate geografiche
5. Copiare la colonna 4 nella prima colonna del foglio Google scrivendo nella prima riga il nome “INDIRIZZO” (figura 87).
6. Selezionare tutto il foglio di calcolo e scegliere il formato “testo normale”
7. Infine, avviare il componente aggiuntivo precedentemente installato e iniziare con la geolocalizzazione.

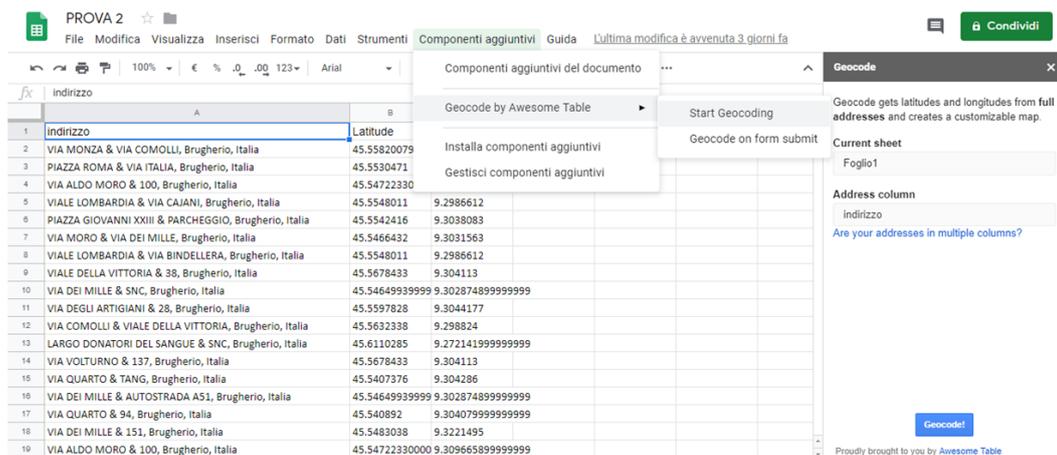


Figura 87: esempio di compilazione e utilizzo di “Fogli Google” e “Geocode by awesome table”.

Il secondo tool che si propone ha un funzionamento molto simile al precedente ma, invece di utilizzare i dati di Google, utilizza quelli di Bing Maps. Lo strumento si chiama “GPS Visualizer” (figura 88) (61). Dato che il testo da inserire, per ottenere la geolocalizzazione è composto da i medesimi caratteri (“&” per unire il numero civico o la seconda via e “,” per separare i campi) si deve seguire la procedura, descritta sopra, fino al punto 4 e poi proseguire con i seguenti ulteriori passaggi:

5. Per il funzionamento del programma è necessario richiedere una “BING-KEY”, cliccando sul tasto “Get a key” e seguendo le istruzioni riportate nella finestra che si apre, la si può ottenere facilmente.
6. Copiare e incollare nella finestra “INPUT” la colonna 4 del foglio di calcolo creata al punto 3.
7. Avviare la geolocalizzazione [“Start Geocoding”].
8. Il risultato è un testo delimitato da virgola che andrà importato nuovamente in Excel e diviso in colonne con la procedura mostrata al punto 2.

GPS Visualizer's Address Locator

Convert multiple addresses to GPS coordinates

NOTE: You'll need to get your own free API key to process a large number of addresses using this page. (Get a key: [Bing](#), [MapQuest](#), [Google](#))

Input:

```
VIA MONZA & VIA COMOLLI, Brughiero, Italia
VIA INCREA & VIA DEI MILLE, Brughiero, Italia
VIA INCREA & 10, Brughiero, Italia
```

Type of data: raw list, 1 address per line | Source: Bing Maps | **Start geocoding**

Field separator in output: comma (,) | Add a color:

Include source+precision info in output

Your Bing Maps API key ([why?](#)): Av-UZfpWf4nkDahVpQduyGV_yUThUASwD65rs-AbRxUm_Zxdkpc ([Get a key](#))

Results as text: (3 of 3 lines processed)

```
latitude,longitude,name,desc,color,source,precision
45.56428,9.38106,"VIA MONZA & VIA COMOLLI, Brughiero, Italia",,"Via Comolli, 20861 Brughiero MB, Italy",,Bing Maps,street
45.5463,9.31268,"VIA INCREA & VIA DEI MILLE, Brughiero, Italia",,"Via Increa & Via dei Mille, 20861 Brughiero MB, Italy",,Bing Maps,intersection
45.5460589,9.3128799,"VIA INCREA & 10, Brughiero, Italia",,"Via Increa, 10, 20861 Brughiero MB, Italy",,Bing Maps,address
```

Figura 88: esempio di geolocalizzazione di alcuni indirizzi tramite il software online "GPS Visualizer".

Tra i due strumenti non si riscontrano grosse differenze in termini di geolocalizzazione, il principale problema rimane la localizzazione dell'intersezione tra due vie quando è presente una rotonda. Per questo elaborato di tesi si è scelto di utilizzare "GPS visualizer" dal momento che offre la possibilità di controllare il risultato ottenuto, cioè di sapere se il punto è stato localizzato correttamente. A questo proposito, dato che è un aspetto importante, si vuole precisare che tra gli output del programma c'è la colonna finale ("precision") che identifica il livello di precisione ottenuto con la geolocalizzazione (se c'è "intersection" o "address" si è raggiunta la precisione desiderata poiché si è determinato il punto preciso dell'intersezione o del numero civico, invece con "street" [strada] o "town" [città] è stata individuata solo la strada o il comune).

In seguito alla verifica, potranno essere utilizzate solo le coordinate dei punti che sono stati localizzati in modo preciso, gli altri dovranno essere localizzati manualmente.

Di seguito sarà descritta la procedura per l'associazione degli incidenti alla rete stradale tramite l'utilizzo di coordinate satellitari.

1. Supponendo di avere un file di testo in cui i campi distintivi degli incidenti sono divisi da tabulazioni, virgole, punti e virgole o altri segni grafici, il primo passo consiste nell'importare il file in QGIS. Per eseguire questa operazione utilizzare la funzione "Aggiungi layer testo delimitato" e utilizzare i seguenti valori per finestra di dialogo:
 - "Nome file": sceglierlo dalla memoria del computer
 - "Formato file": scegliere "delimitatori personalizzati" e poi il carattere in uso per separare i campi.
 - "Opzioni Record e Campi": controllare che ciò che è selezionato coincida con il proprio dato.
 - "Definizione della Geometria": "Coordinate del punto", scegliere per la x → LONGITUDINE e per la y → LATITUDINE e come "SR della geometria" → EPSG 4326/ WGS84 (questo è lo standard ma è da verificare che non siano stati utilizzati altri sistemi di riferimento) (figura 89).

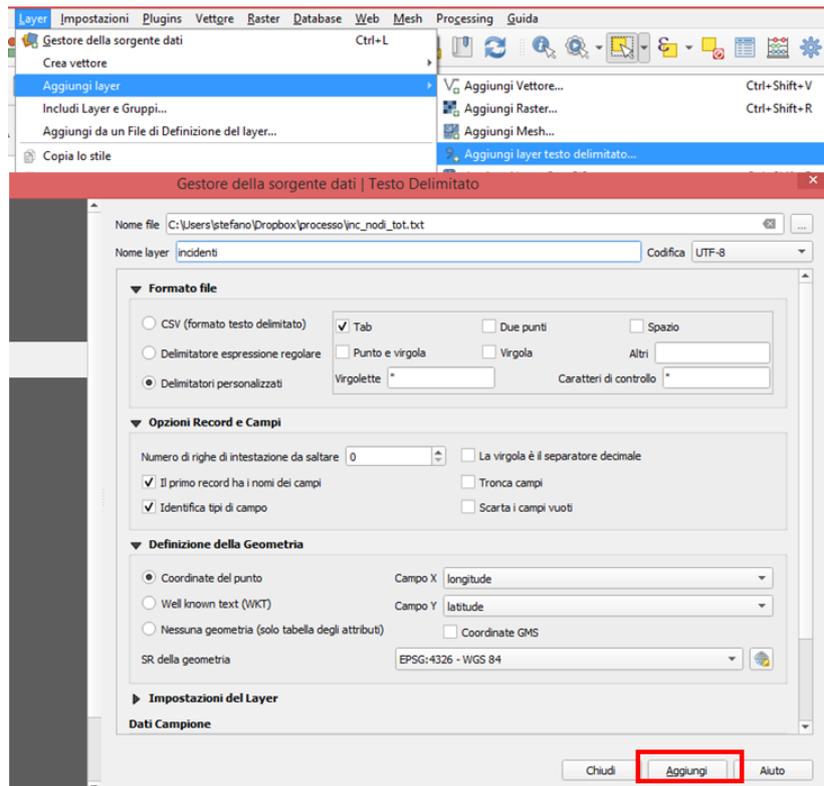


Figura 89: procedura e finestra per l'aggiunta di un layer da testo delimitato.

Infine, riproiettare il vettore nelle coordinate EPSG: 3857 WGS84/ Pseudo-Mercator e poi salvare il risultato come “Incidenti”.

2. Aprire la tabella attributi e creare il campo con l’ID del nodo solo per gli elementi che sono associati ad una intersezione nel campo ISTAT “intersezione o non intersezione” (cioè i valori 1, 2, 3, 4, 5, 6):

- N: ID_NODO
- T: Numero intero (Integer)
- L: 10
- P: 0
- E: *IF (“INTERSEZIO” = 1 OR “INTERSEZIO” = 2 OR “INTERSEZIO” = 3 OR “INTERSEZIO” = 4 OR “INTERSEZIO” = 5 OR “INTERSEZIO” = 6, geom_distance (“NODI”, “ID”, 100))*

E fare lo stesso per gli elementi associati agli archi:

- N: ID_ARCO
- T: Numero intero (Integer)
- L: 10
- P: 0
- E: *IF (“INTERSEZIO” = 7 OR “INTERSEZIO” = 8 OR “INTERSEZIO” = 9 OR “INTERSEZIO” = 10 OR “INTERSEZIO” = 11 OR “INTERSEZIO” = 12, geom_distance (“ARCHI”, “ID”, 100))*

Il raggio di ricerca della funzione è stato impostato a 100 m per escludere solo i punti che non hanno entro questa distanza né un nodo né un arco, che, con molta probabilità, hanno delle coordinate errate.

Questa metodologia ha alcuni difetti tra cui:

- la mancanza di precisione dello strumento riscontrata in alcuni casi;
- alcune problematiche riscontrate per la localizzazione tramite numero civico, che nella mappatura può risultare effettivamente distante dalla carreggiata stradale, portando ad una non corretta associazione;
- i difetti di associazione mostrati nel capitolo 3.

4.4.2 NUMERI CIVICI E COPPIE DI VIE

La seconda possibilità, invece di utilizzare la posizione del punto da localizzare, sfrutta l'identità fra due campi contenenti entrambi lo stesso nome, cioè i nomi delle vie riportati come attributi sia per il dato incidentale che per i nodi/intersezioni oppure il nome della via e del civico nel caso di archi/tratti di strada. Per esempio, l'incidente che riporta nel campo ISTAT "localizzazione" "Via Quarto al n° civico 50" dovrà essere associato alla posizione del punto che sulla rete stradale riporta come nome "Via Quarto, 50".

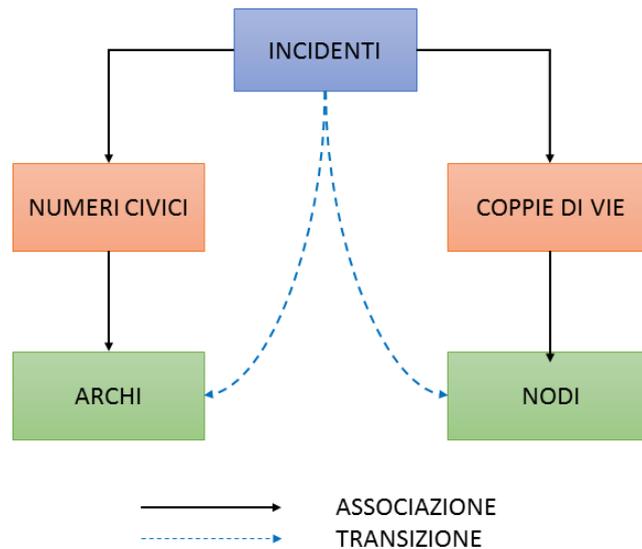


Figura 90: schema dell'associazione tramite campi uguali

La mappa concettuale di figura 90 mostra il procedimento logico con cui deve essere fatta l'associazione con l'unione tra campi. La prima informazione è che gli incidenti non possono essere associati direttamente ai nodi o agli archi poiché non contengono le informazioni del numero civico o della coppia di vie.

La prima fase consisterà, quindi, nel creare due layer che contengano uno la posizione di tutti i numeri civici (con il nome del campo da unire con gli incidenti) due la posizione di tutte le coppie di vie (con il campo del nome da unire), poi questi dovranno essere associati ai nodi o agli archi di riferimento cioè quelli su cui insistono.

Infine, gli incidenti saranno associati o ai numeri civici o alle coppie di vie a seconda di come sono stati localizzati tramite il confronto del campo “localizzazione” e poi, per transizione, verranno copiati, in un nuovo campo degli incidenti, l’ID del nodo o dell’arco del numero civico o della coppia di via a cui sono stati associati.

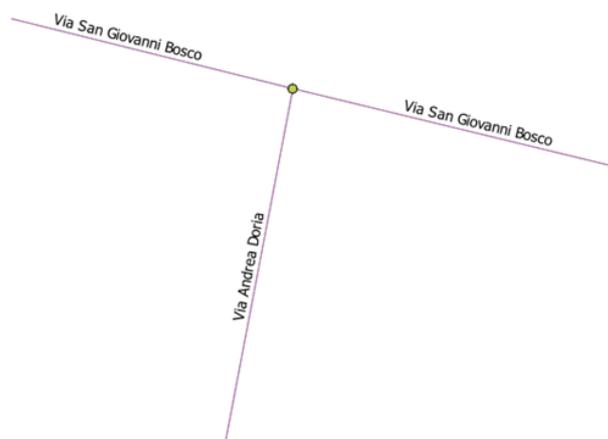
PREPARAZIONE DEL LAYER NUMERI CIVICI

I numeri civici in OSM vengono mappati in un layer a parte col nome “addr:housenumber” e all’interno c’è in campi separati sia il numero che il nome della via di riferimento.

1. Scaricare tramite “QUICK_OSM” i dati relativi ai numeri civici “chiave”: “addr:housenumber”, “valore”: vuoto.
2. Aggiungere a questo layer un nuovo campo che unisca nome della via e n° civico per conseguire il confronto con il campo “localizzazione” degli incidenti:
 - N: UNIONE
 - T: Testo (String)
 - L: 100
 - P: 0
 - E: *UPPER (“addr:street” || ‘,’ || “addr:housenumber”)*
3. Aggiungere il campo che identifica l’arco in cui ricade il numero civico:
 - N: ID_ARCO
 - T: Numero intero (Integer)
 - L: 10
 - P: 0
 - E: *geom_nearest (“ARCHI”, “ID”)* non si usa la funzione “geom_distance” poiché ogni numero civico deve avere un arco a cui riferirsi sia lontano che vicino.

PREPARAZIONE DEL LAYER COPPIE DI VIE

Il layer “coppie di vie” era già stato creato e utilizzato durante la creazione dei NODI. Bisogna tenere presente, però, che presenta alcune problematiche, come per esempio la ripetizione dei nomi delle vie nella stessa posizione (l’esempio in figura 91 mostra che per un’intersezione a 3 rami vengono create 6 coppie, cioè per ogni arco c’è l’unione degli altri due, ma se, come spesso accade, i nomi delle vie non cambiano ad ogni intersezione ecco che si creano dei doppi); questo potrebbe portare all’associazione di un incidente a più coppie, facendo aumentare il numero di incidenti che fanno riferimento a quelle coppie.



ELENCO COPPIE

VIA SAN GIOVANNI BOSCO - VIA SAN GIOVANNI BOSCO

VIA SAN GIOVANNI BOSCO - VIA ANDREA DORIA

VIA SAN GIOVANNI BOSCO - VIA SAN GIOVANNI BOSCO

VIA SAN GIOVANNI BOSCO - VIA ANDREA DORIA

VIA ANDREA DORIA - VIA SAN GIOVANNI BOSCO

VIA ANDREA DORIA - VIA SAN GIOVANNI BOSCO

Figura 91: esempio di ripetizione di nomi nel layer "COPPIE_VIE".

Per risolvere il problema e realizzare il layer “coppie di vie” da usare, si proceda come segue:

1. Riproiettare il vettore nel SR: 3857 WGS84/Pseudo-Marcator
2. Creare il campo dei nomi uniti:
 - N: UNIONE
 - T: Testo (String)
 - L: 10
 - P: 0
 - E: UPPER (“name” || ‘,’ || “name_2”)
3. Creare il campo delle coordinate x,y:
 - N: x (o y)
 - T: Numero decimale (Real)
 - L: 10
 - P: 3
 - E: \$x (o \$y)
4. E per eliminare i doppioni utilizzare la funzione di “Processing” “Elimina duplicati per attributo”, con i valori della finestra di dialogo “Layer in ingresso”: “COPPIE_VIE”, “Field to match duplicates by” scegliere i campi “UNIONE”, “x” e “y”.

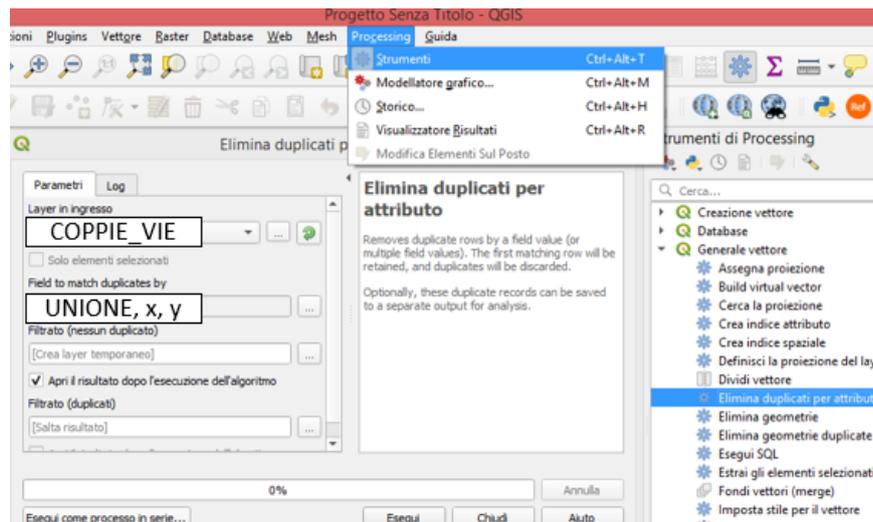


Figura 92: procedura e finestra per l'utilizzo della funzione "Elimina duplicati per attributo".

5. Nel nuovo layer si crei un campo con l'ID del nodo a cui le coppie di vie sono sovrapposte:
 - N: ID_NODO
 - T: Numero intero (Integer)
 - L: 10
 - P: 0
 - E: *geom_nearest* ("NODI", "ID")

ASSOCIAZIONE DEGLI INCIDENTI ALLE COPPIE DI VIE O AI NUMERI CIVICI

A questo punto si possono associare gli incidenti con i layer delle coppie di vie o dei numeri civici, utilizzando la funzione di unione tra layer.

1. Creare con Excel una colonna NOME nel file degli incidenti che rende maiuscola la dicitura del nome della via [il comando è MAIUSC (colonna...)].
2. Aggiungere il file incidenti al progetto di QGIS come semplice tabella, questo è possibile se si ripete la procedura per l'importazione degli incidenti con coordinate ma si sceglie "Nessuna geometria" come "Definizione della Geometria".
3. Utilizzare la funzione di "processing" "Unisci attributi secondo il valore del campo", utilizzando come "Layer in ingresso": "INCIDENTI", "Campo tabella": "NOME", "Vettore in ingresso 2": "NUMERI_CIVICI", "Campo tabella 2": "UNIONE", "Campi del layer 2 da copiare": "ID_ARCO" per realizzare la transizione di cui parlavamo cioè unire alla tabella incidenti il campo con l'ID dell'arco (o del nodo) (figura 93).

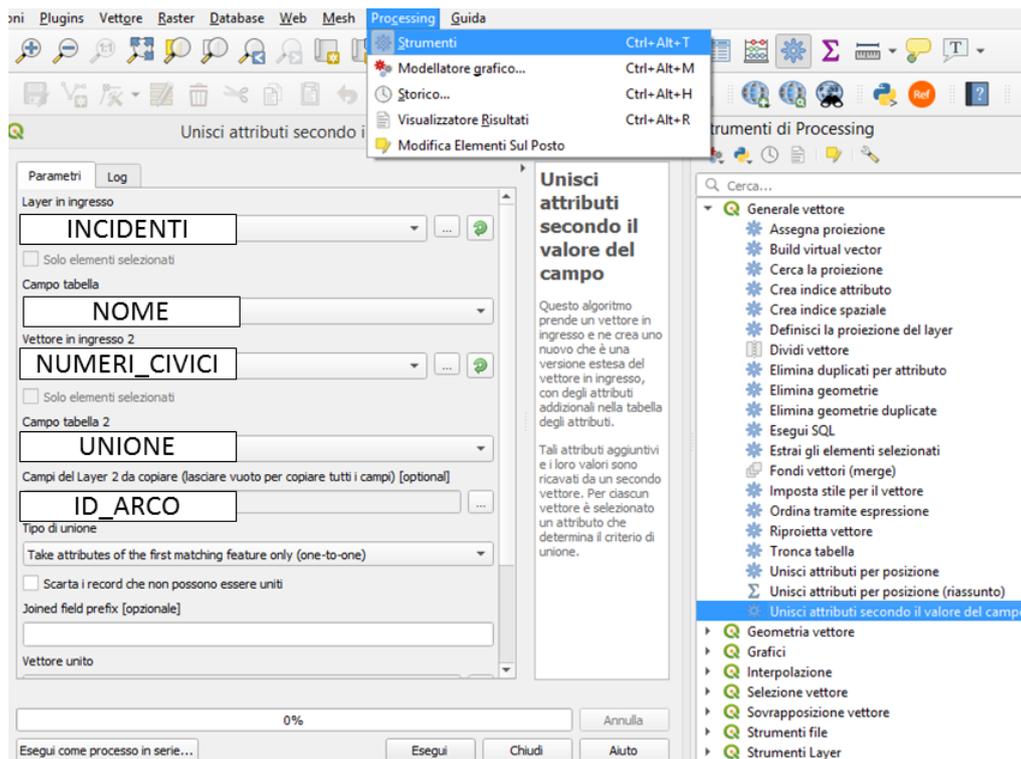


Figura 93: procedure e finestra per l'utilizzo di "Unisci attributi secondo il valore del campo".

4. Per eseguire l'associazione anche degli incidenti avvenuti nelle intersezioni si può ripercorrere la procedura del punto 3 ma utilizzare come "Vettore in ingresso 2": "COPPIE_VIE" e con "Campo del layer 2 da copiare": "ID_NODO"

Dopo che l'associazione è avvenuta, è possibile fare alcune considerazioni, tra le quali ci sono i principali difetti di questa metodologia:

- Il layer contenente i numeri civici si rileva essere di scarsa qualità (il numero civico è un dato scarsamente raccolto per gli eventi incidentali);
- L'unione tra i nomi delle vie raccolti in database diversi è problematica, infatti è facile trovare diversi metodi di scrivere il nome di una via, basta un carattere differente perché l'associazione non avvenga (per esempio si potrebbe avere uno spazio in più nel nome, una strada che è chiamata "via" al posto di "viale", un'abbreviazione "S." al posto di "Santo" o un numero in cifre piuttosto che in lettere).

Per concludere il paragrafo si riassumono le opzioni che si hanno a disposizione per associare gli incidenti alla rete stradale con i loro pregi e difetti (tabella 44):

METODI			
CARATTERISTICHE	COORDINATE	GEOLOCALIZZAZIONE	NUMERO CIVICO O DOPPIA VIA
LOCALIZZAZIONE	Coordinate Satellitari	Numero civico o Doppia via	Numero civico o Doppia via
ASSOCIAZIONE	Spaziale	Spaziale	Confronto campi
PREGI	Possibilità di analisi spaziale e successiva analisi disaggregata	Non necessita delle coordinate	Non ha difetti tipici dell'associazione
DIFETTI	Possibili errori di associazione	<ul style="list-style-type: none"> Possibili errori di associazione Possibili incidenti non localizzati 	<ul style="list-style-type: none"> Precisione nell'indicare i nomi Impossibilità di condurre analisi spaziali

Tabella 44: riepilogo caratteristiche delle metodologie per l'associazione degli incidenti alla rete stradale.

4.5 DIVISIONE DEGLI INCIDENTI IN SCENARI

La suddivisione degli incidenti in scenari può avvenire tramite l'utilizzo di query, cioè espressioni che permettono di selezionare alcuni elementi. In QGIS queste sono realizzabili utilizzando la funzione di "processing" "estrai tramite espressione", il procedimento è identico per tutti gli scenari, quello che cambia è l'espressione da inserire (descritta nella tabella 45). Ovviamente, non è obbligatorio utilizzare uno scenario ma si può realizzare una richiesta personalizzata, è necessario, però, avere una certa confidenza con le espressioni di questo linguaggio di programmazione.

Le espressioni contengono i campi distintivi degli incidenti, definiti in base al dataset che si utilizza, e sono legate anche alla disponibilità e alla tipologia dei dati che sono a disposizione. Di seguito, come mostrato in tabella 45, si farà riferimento sia al nome del campo utilizzato nel tracciato record ISTAT 2019, sia all'espressione da utilizzare in QGIS per estrapolare dati relativi a quel campo.

N°	SCENARIO	CAMPI E VALORI ISTAT 2019 <i>FORMULA QGIS</i>
0	INCIDENTI IN TOTALE	Nessuna azione necessaria
1	SOLO UN VEICOLO	Tipo di veicolo coinvolto: B = nessuno <i>"tipo vei B" is null</i>

2	SOSTA	Natura dell'incidente = 07 (= urto con veicolo in sosta) <i>"natura inc" = 7</i>
3	INVESTIMENTO DI PEDONE	Natura dell'incidente = 05 (= investimento di pedone) <i>"natura inc" = 5</i>
4	VELOCIPEDI	Tipo veicolo coinvolto: A o Tipo veicolo coinvolto: B o Tipo veicolo coinvolto: C = 14 (= velocipede) <i>"tipo vei A" = 14 or "tipo vei B" = 14 or "tipo vei C" = 14</i>
5	VEICOLI A 2 RUOTE MOTORE	Tipo veicolo coinvolto: A o Tipo veicolo coinvolto: B o Tipo veicolo coinvolto: C = 15 (= ciclomotore) o 16 (= motociclo a solo) o 17(= motociclo con passeggero) <i>"tipo vei A" = 15 or "tipo vei B" = 15 or "tipo vei C" = 15 or "tipo vei A" = 16 or "tipo vei B" = 16 or "tipo vei C" = 16 or "tipo vei A" = 17 or "tipo vei B" = 17 or "tipo vei C" = 17</i>
6	BAMBINI COINVOLTI	Età del conducente del veicolo A o Età passeggeri del veicolo A o Età del conducente del veicolo B o Età passeggeri del veicolo B o Età del conducente del veicolo C o Età passeggeri del veicolo C o Età dei pedoni feriti o Età dei pedoni morti < 15 (anni) <i>"eta' con." < 15 or "eta' pax a" < 15 or "eta' pax p" < 15 or "eta' pax_1" < 15 or "eta' pax_2" < 15 or "eta' pax_3" < 15 or "eta' pax_4" < 15 or "eta' pax_5" < 15 or "eta' pax_6" < 15 or "eta' pax_7" < 15 or "eta' pax_8" < 15 or "eta' pax_9" < 15 or "eta' pax_10" < 15 or "eta' con_1" < 15 or "eta' con_2" < 15 or "eta' 1 mor" < 15 or "eta' 1 fer" < 15 or "eta' 2 mor" < 15 or "eta' 2 fer" < 15 or "eta' 3 mor" < 15 or "eta' 3 fer" < 15 or "eta' 4 mor" < 15 or "eta' 4 fer" < 15</i>
7	VELOCITÀ	Circostanza relativa al veicolo A: inconvenienti di circolazione o Circostanza relativa al veicolo B: inconvenienti di circolazione = 11(= procedeva con eccesso di velocità) o 12 (= procedeva senza rispettare i limiti di velocità) o 23(= procedeva con eccesso di velocità) o 24 (= procedeva senza rispettare i limiti di velocità) o 41(= procedeva con eccesso di velocità) o 42 (= procedeva senza rispettare i limiti di velocità) o 64 (= procedeva con eccesso di velocità) o 65 (= procedeva senza rispettare i limiti di velocità) <i>"circolazio" = 11 or "circolazio" = 12 or "circolazio" = 23 or "circolazio" = 24 or "circolazio" = 41 or "circolazio" = 42 or "circolazio" = 64 or "circolazio" = 65 or "circolaz_1" = 11 or "circolaz_1" = 12 or "circolaz_1" = 23 or "circolaz_1" = 24 or</i>

		<i>"circolaz_1" =41 or "circolaz_1" =42 or "circolaz_1" =64 or "circolaz_1" =65</i>
8	REGOLE DI CIRCOLAZIONE	Circostanza relativa al veicolo A: inconvenienti di circolazione o Circostanza relativa al veicolo B: inconvenienti di circolazione = 4(= procedeva senza dare la precedenza al veicolo proveniente da destra) o 5 (= procedeva senza rispettare lo stop) o 6(= procedeva senza rispettare il segnale di dare la precedenza) o 8 (=procedeva senza rispettare le segnalazioni semaforiche o dell'agente) o 46(= non rispettava le segnalazioni semaforiche o dell'agente) o 49 (= non dava la precedenza al pedone sugli appositi attraversamenti) o 52 (= attraversava la strada ad un passaggio pedonale protetto da semaforo, o da agente non rispettando le segnalazioni) <i>"circolazio" =4 or "circolazio" =5 or "circolazio" =6 or "circolazio" =8 or "circolazio" =46 or "circolazio" =49 or "circolazio" =52 or "circolaz_1" =4 or "circolaz_1" =5 or "circolaz_1" =6 or "circolaz_1" =8 or "circolaz_1" =46 or "circolaz_1" =49 or "circolaz_1" =52</i>
9	ORE NOTTURNE	Ora compresa tra le 6 e le 22 <i>"ora da usa"<6 and "ora da usa">21</i>
10	FONDO STRADALE NON ASCIUTTO	Fondo stradale ≠ 1 (= asciutto) <i>"fondo stra" is not 1</i>
11	CONDIZIONI CLIMATICHE AVVERSE	Condizioni metereologiche ≠ 1 (= sereno) <i>"condizioni" is not 1</i>

Tabella 45: espressioni per la selezione degli incidenti appartenenti ad ogni scenario.

4.6 ANALISI DEGLI INCIDENTI

L'analisi degli incidenti, finalizzata all'individuazione dei punti critici, si basa sul calcolo dei tre criteri, presentati nel capitolo 3. Dato che gli archi e i nodi si trovano in layer distinti e rappresentano tipologie di elementi differenti, operativamente si dovranno eseguire due analisi per ogni scenario.

Concettualmente le due analisi sono identiche, così come le formule da utilizzare.

Prima di iniziare, però, è necessario creare un'unione tra il layer INCIDENTI e quello ARCHI o NODI poiché è necessario avere alcune caratteristiche della tabella attributi propria degli eventi incidentali immagazzinate in quella relativa agli elementi della rete stradale in cui sono avvenuti.

Per realizzare questa unione esistono due strade, quella che crea una relazione tra il layer degli elementi e il layer degli incidenti (tramite il campo ID e ID_NODO o ID_ARCO) e quella che utilizza la funzione di unione fra campi; la prima è la migliore

dal punto di vista grafico mentre la seconda, in QGIS, è la più veloce, di conseguenza si userà la funzione di unione tra i layer.

La funzione da utilizzare è disponibile tra gli strumenti di “processing” e si chiama “Unisci attributi secondo il valore del campo”, nella finestra della funzione bisogna inserire le seguenti informazioni (figura 94):

- “Layer in ingresso”: “ARCHI (o NODI)”
- “Campo tabella: “ID”
- “vettore in ingresso 2”: “Incidenti”
- “Campo tabella 2”: “ID_ARCO (O ID_NODO)”
- “campi del layer 2 da copiare”: “ANNO”, “TOTALE MOR” (totale morti entro le 24h), “TOTALE M_1 (totale morti entro 30 gg), “TOTALE FER”
- “Tipo di unione”: one _ to _ many (fondamentale poiché per ogni elemento ci siano più incidenti)
- “Joined field prefix”: “j_”

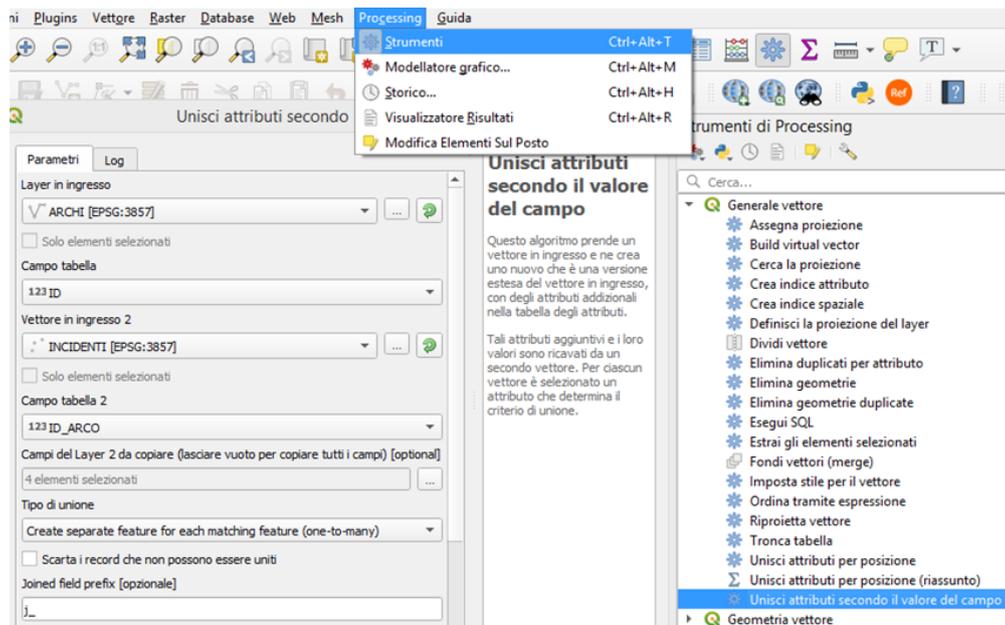


Figura 94: procedura e finestra per l'utilizzo della funzione "Unisci attributi secondo il valore del campo".

Infine, una precisazione sui campi importati dal layer incidenti tramite la funzione descritta, in questo elaborato gli unici campi utilizzati e, quindi, aggiunti agli elementi della rete stradale sono:

- L'anno;
- Il numero totale, per incidente, di morti entro le 24h;
- Il numero totale, per incidente, di morti entro 30gg;
- Il numero totale, per incidente, di feriti.

4.6.1 CREAZIONE DI CAMPI PROPEDEUTICI ALL'ANALISI

Alcuni campi dovranno essere creati prima del calcolo degli indici (descritti nel capitolo 3) proprio perché fanno parte dei parametri considerati per il calcolo delle

soglie e il conseguente punteggio di ogni elemento della rete. Ognuno di questi campi è stato creato con il “calcolatore di campi”.

Il primo attributo da calcolare è il numero degli incidenti proprio di ogni elemento:

- N: “N_INC”
- T: Numero intero (Integer)
- L: 10
- P: 0
- E: *COUNT (“J_ANNO”, “ID”)*

I successivi dieci campi conterranno il numero di incidenti avvenuti per ogni anno; in questo caso i campi da inserire sono 10 perché il modello è stato sviluppato tenendo in considerazione i 10 anni antecedenti l’ultimo anno disponibile di rilievo degli incidenti o di interesse:

- N: “N_INC_1” (decimo anno, “N_INC_2” nono anno, “N_INC_10 ultimo anno)
- T: Numero intero (Integer)
- L: 10
- P: 0
- E: *COUNT (“ID”, “ID”, “J_ANNO” = A)*
Dove A è l’anno di interesse (16 per 2016 o 19 per 2019)

Il dodicesimo campo da creare è quello relativo alla gravità degli incidenti, dove si riassume la tipologia dell’evento incidentale in funzione delle lesioni riportate. Ogni elemento è stato caratterizzato con un valore numerico come segue: mortale (valore 2, almeno un morto), con feriti (1, almeno un ferito) e solo danni alle proprietà (0, nessun ferito o morto):

- N: “J_GRAVITA”
- T: Numero intero (Integer)
- L: 10
- P: 0
- E: *IF (“J_TOTALE-M” > 0 OR “J-TOTALE_1” > 0, 2, IF (“J_TOTALE_F” > 0, 1, 0))*

I successivi ultimi tre campi rappresentano, per elemento, il numero di incidenti mortali, con feriti e PDO:

- N: “N_PDO” (o “N_CON_FER” o “N_MORTALI”)
- T: Numero intero (Integer)
- L: 10
- P: 0
- E: *COUNT (“ID”, “ID”, “J_GRAVITA” = G)*
Con G = 0, 1, 2 a seconda di “N_PDO”, “N_CON_FER” o “N_MORTALI”

Prima di procedere oltre, è necessario fare un'ulteriore operazione preliminare: eliminare tutti gli elementi ripetuti. Infatti, durante l'operazione di unione dei campi tra incidenti ed elementi sono stati creati tanti elementi quanti sono gli incidenti associati ad essi, questo è molto utile per la creazione dei suddetti campi ma nel proseguo possono creare dei problemi nell'analisi (per esempio, aumentando il numero di elementi varia il numero medio di incidenti. Per risolvere la problematica utilizzare la funzione di "processing" "elimina geometrie secondo il valore del campo" dove il campo di scelta è l'ID degli elementi in esame.

4.6.2 CRITERIO NUMERICO

Il campo da calcolare è la probabilità di accadimento di quel numero di incidenti in quell'elemento, così come descritto ampiamente nel capitolo 3; nell'espressione si noterà la formulazione alla Poisson con il fattoriale e quella con la formula di Sterling² che viene usato quando il numero di incidenti è superiore a 20 (soglia massima oltre la quale QGIS non consente più il calcolo del fattoriale). La compilazione della maschera relativa a questo campo dovrà avvenire secondo i seguenti passaggi:

- N: "PROBABILIT"
- T: "Numero decimale (Real)"
- L: 10
- P: 4
- E: $IF("n_inc" < 21, (EXP(-(MEAN("n_inc", "codice") * "lunghezza" / MEAN("lunghezza", "codice") * "TGM" / MEAN("TGM", "codice")))) * (MEAN("n_inc", "codice") * "lunghezza" / MEAN("lunghezza", "codice") * "TGM" / MEAN("TGM", "codice")) ^ "n_inc")) / FATTORIALE("n_inc"), (EXP(-(MEAN("n_inc", "codice") * "lunghezza" / MEAN("lunghezza", "codice") * "TGM" / MEAN("TGM", "codice")))) * MEAN("n_inc", "codice") * "lunghezza" / MEAN("lunghezza", "codice") * "TGM" / MEAN("TGM", "codice")) ^ "n_inc")) / (SQRT(2 * "n_inc" * pi())) * (("n_inc" / EXP(1)) ^ "n_inc"))$

Dove:

- $"n_inc" < 21$: condizione che indica una differenza a seconda che nell'elemento siano accaduti più o meno di 20 elementi;
- $MEAN("n_inc", "codice")$: numero medio di incidenti;
- $"lunghezza" / MEAN("lunghezza", "codice")$: coefficiente della lunghezza;
- $"TGM" / MEAN("TGM", "codice")$: coefficiente del traffico giornaliero medio;

² La formula di Sterling è un'approssimazione per fattoriali grandi che è definita dalla seguente equazione (62):

$$n! \sim \sqrt{2\pi n} \left(\frac{n}{e}\right)^n, \text{ per } n \rightarrow +\infty$$

- $EXP(- (MEAN("n_inc", "codice") * "lunghezza" / MEAN("lunghezza", "codice") * "TGM" / MEAN("TGM", "codice")))$: valore medio degli incidenti o λ ;
- $SQRT(2 * "n_inc" * pi()) * ((("n_inc" / EXP(1)) ^ "n_inc"))$: formula di Stirling.

Con questo procedimento verrà creata, quindi, una nuova colonna della tabella attributi con un nuovo campo proprio di ogni elemento della rete stradale. Questo campo è uguale alla probabilità secondo Poisson che avvenga il numero di incidenti rilevato in quell'elemento considerando un certo valore medio degli incidenti proprio degli elementi con quelle caratteristiche funzionali e strutturali.

4.6.3 CRITERIO SULLE LESIONI

Il campo da calcolare relativamente al criterio sulle lesioni è l'indice di gravità. In questo caso è la formulazione teorica è utilizzabile in modo semplice anche nell'inserimento in QGIS (così come risulta immediata l'aggiunta dell'importante condizione secondo cui l'indice può essere calcolato solo se il numero di incidenti, cioè il denominatore della funzione, è maggiore di zero):

- N: "IG"
- T: "Numero decimale (Real)"
- L: 10
- P: 2
- E: $IF ("N_INC" > 0, (174 * "N_MORTALI" + 33 * "N_CON_FER" + "N_PDO") / "N_INC", 0)$

Anche in questo caso viene creato un nuovo attributo per ogni elemento, che abbia un numero di incidenti maggiore di zero, che rappresenta il suo indice di gravità.

4.6.4 CRITERIO TEMPORALE

Il primo campo relativo al criterio temporale riguarda il calcolo del trend degli eventi incidentali negli ultimi 5 anni. Dato che il metodo dei minimi quadrati, così come descritto nel capitolo 3, ha la necessità di ricorrere alla formulazione matriciale, in QGIS sarà necessario utilizzare la formula sviluppata (equazione 32), la quale afferma che il coefficiente angolare (m) della retta di regressione è pari al rapporto tra la covarianza di x e y (σ_{xy}) e la varianza di x (σ_x^2) (63):

$$m = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x^2} = \frac{\frac{\sum_i (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n}}{\frac{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}{n}} = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}$$

Equazione 32: espressione del coefficiente angolare della retta di regressione col metodo dei minimi quadrati

Dove:

- m = coefficiente angolare della retta e indice del criterio temporale – trend
- σ_{xy} = covarianza di x e y;
- σ_x^2 = varianza di x;

- \bar{x} = media di x;
- \bar{y} = media di y;
- n = numero dei punti
- x = valori sulle ascisse, nell'elaborato sono gli anni
- y = valori sull'asse delle ordinate, nell'elaborato sono gli incidenti.

I parametri da inserire nel calcolatore di campi relativamente a questo criterio sono:

- N: "TREND_"
- T: Numero decimale (Real)
- L: 10
- P: 3
- E: $((-2*(n_inc_6-(n_inc/5)))+(-1*(n_inc_7-(n_inc/5)))+(0*(n_inc_8-(n_inc/5)))+(1*(n_inc_9-(n_inc/5)))+(2*(n_inc_10-(n_inc/5))))/10$
(Si può notare che $(x_i - \bar{x})$ e σ_x^2 sono stati scritti rispettivamente come coefficienti e numero poiché essi rappresentano i valori sull'asse delle x che, nel caso in esame, sono sempre i numeri 6, 7, 8, 9, 10 (cioè gli ultimi 5 anni). Quindi, dato che sono numeri fissi, anche le loro elaborazioni, come la media e la varianza, sono costanti).

Il secondo campo che riguarda il criterio temporale rappresenta la ricorsività e viene creato, utilizzando il calcolatore, attraverso una formula che associa ad ogni possibile combinazione il valore corretto del campo risultate:

- N: 2 SU 3 ?
- T: Testo (String)
- L: 10
- P: 0
- E: $IF(n_inc_10 > 0, IF(n_inc_9 > 0, 'si', IF(n_inc_8 > 0, 'si', 'no')), IF(n_inc_9 > 0, IF(n_inc_8 > 0, 'si', 'no'), 'no'))$

Si ottengono due campi distinti per ogni elemento, il primo che indica il coefficiente angolare della retta che interpola i punti del grafico numero incidenti – anni e il secondo che indica se c'è stato almeno un incidente in due degli ultimi tre anni.

4.6.5 DETERMINAZIONE DEI BLACK-SPOT

A questo punto della trattazione si ha a disposizione per ogni elemento 4 campi che contengono i 4 indicatori utilizzati per definire se l'elemento è critico oppure no.

Questo campo, quindi, determina quali elementi sono da considerare dei punti neri e rappresenta l'attributo che verrà considerato per la determinazione della classificazione, risultato finale previsto dal modello.

Prima di descrivere le espressioni da usare per popolare il campo, si vuole ricordare quali siano i vincoli da rispettare:

- Il numero degli incidenti deve essere maggiore di zero, se non sono accaduti eventi nel periodo considerato l'elemento non può essere critico;
- Le condizioni di verifica dei criteri sono legate dall'operatore logico "or", cioè basta la verifica di una sola condizione perché il risultato finale sia positivo (elemento critico);
- L'elemento della rete stradale considerata è positivo al criterio numerico se la sua probabilità supera la soglia Scn (definita nel capitolo 3) E il numero di sinistri è maggiore del valore medio Q se il numero degli incidenti è maggiore alla soglia Scn₂ (del 3% e definita nel capitolo 3), quando ha un codice unico (nell'espressione riquadrato in azzurro);
- Condizione necessaria e sufficiente affinché un elemento sia positivo al criterio sulle lesioni è che l'indice di gravità sia superiore alla soglia Scl (definita nel capitolo 3) E che IG sia maggiore di zero (nell'espressione riquadrato in verde);
- L'elemento è positivo al criterio temporale se il coefficiente angolare della retta di regressione dell'elemento supera il valore di quello dello scenario E il numero di incidenti avvenuti nei cinque anni considerati è maggiore di zero (nell'espressione riquadrato in giallo) Q se sono avvenuti almeno un sinistro in due anni degli ultimi tre in esame (nell'espressione riquadrato in viola).

Il campo, quindi, dovrà essere creato e calcolato con i seguenti valori:

- N: "BLACKSPOT?"
- T: Testo (String)
- L: 10
- P: 0
- E: CASE WHEN "n_inc" > 0 AND (((("trend_5" > ((-2 * (SUM("n_inc_6") - (SUM("n_inc")/5))) + (-1*(SUM("n_inc_7") - (SUM("n_inc")/5))) + (0*(SUM("n_inc_8") - (SUM("n_inc")/5))) + (1*(SUM("n_inc_9") - (SUM("n_inc")/5))) + (2*(SUM("n_inc_10") - (SUM("n_inc")/5)))))) / 10) AND ("n_inc_6"+"n_inc_7"+"n_inc_8"+"n_inc_9"+"n_inc_10") > 0) OR "2 su 3 ?" = 'si' OR (IF(count("id","codifica")=1, "n_inc" >= SUM("n_inc") * Scn₂, "probabilit" <= Scn AND (MEAN("n_inc","codice")*"lunghezza" / MEAN("lunghezza","codice") * "TGM"/MEAN("TGM","codice") < "n_inc")) OR ("IG" >= (Scl / "n_inc") AND "IG" > 0)) THEN 'si' ELSE 'no' END

4.7 CLASSIFICA

Dopo che sono stati individuati i punti critici della rete stradale si procede assegnando un punteggio variabile tra 0 e 100 per ogni indice utilizzato in classifica (probabilità, indice di gravità, trend degli ultimi cinque anni).

Gli ultimi campi da creare, quindi, sono: quelli relativi ai punteggi di ogni elemento di rete, collegati a ogni criterio, e quello che definisce la posizione nella classifica. La peculiarità dei campi con i punteggi è che sono propri solo degli elementi considerati black-spot e ricalcano la formula già discussa. In particolare, la formula assegna un punteggio considerando la posizione del valore dell'indicatore rispetto al valore

massimo e minimo, sempre dell'indicatore considerato, riscontrato tra tutti gli elementi per uno scenario, quello in esame.

Il punteggio per il criterio numerico è il più complesso, poiché il valore della probabilità è utilizzato in modo differente a seconda che il numero degli incidenti sia maggior o minore del valore medio. Il calcolo di questo valore prevede l'inserimento nel calcolatore di campi dei seguenti dati:

- N: "PUNTI_PRO"
- T: Numero decimale (Real)
- L: 10
- P: 3
- E: $IF("blackspot?"='si', ((IF("n_inc"=0,null, IF("n_inc" > (MEAN("n_inc","codice") * "lunghezza" / MEAN("lunghezza","codice")), 1-"probabilit","probabilit")) - MINIMUM(IF("n_inc"=0, null, if("n_inc" > (MEAN("n_inc","codice") * "lunghezza" / MEAN("lunghezza","codice")), 1-"probabilit","probabilit")), "blackspot?")) / (MAXIMUM(IF("n_inc"=0,null, IF("n_inc" > (MEAN("n_inc","codice") * "lunghezza" / MEAN("lunghezza","codice")), 1-"probabilit", "probabilit")), "blackspot?") - MINIMUM(IF("n_inc"=0, null, IF("n_inc" > (MEAN("n_inc","codice") * "lunghezza" / MEAN("lunghezza","codice")), 1-"probabilit", "probabilit")) , "blackspot?"))) * 100 ,0)$

Successivamente viene mostrato come creare il campo relativo al punteggio per l'indice di gravità:

- N: "PUNTI_IG"
- T: Numero decimale (Real)
- L: 10
- P: 3
- E: $IF("blackspot?"='si', (("IG" - MINIMUM("IG" , "blackspot?")) / (MAXIMUM("IG" , "blackspot?") - MINIMUM("IG" , "blackspot?"))) * 100,0)$

Infine, viene mostrato come creare il campo relativo al punteggio per il valore del trend (coefficiente angolare m) degli ultimi 5 anni:

- N: "PUNTI_TRD"
- T: Numero decimale (Real)
- L: 10
- P: 3
- E: $IF("blackspot?"='si', (("trend_5" - MINIMUM("trend_5" , "blackspot?")) / (MAXIMUM("trend_5" , "blackspot?") - MINIMUM("trend_5" , "blackspot?"))) * 100 ,0)$

Al termine del calcolo dei singoli punteggi relativi ai tre criteri analizzati, come descritto nel capitolo 3, si procederà alla creazione di un unico punteggio riassuntivo,

dato dalla somma pesata dei tre punteggi. L'indice di pericolosità si ottiene con il calcolatore di campo inserendo i seguenti parametri (α , β , λ sono i pesi che dovranno essere trasformati in numero, per esempio tutti 1 se non si vogliono fare differenziazioni):

- N: IP
- T: Numero decimale (Real)
- L: 10
- P: 3
- E: $\alpha * \text{"PUNTI_PRO"} + \beta * \text{"PUNTI_IG"} + \lambda * \text{"PUNTI_TRD"}$

In ultima analisi si presenta la funzione che permetterà di creare un campo con all'interno i numeri da 1 a n (dove n è il numero dei black-spot). Questo campo assocerà numeri progressivi in modo crescente, a partire dal numero 1, agli elementi con indice di pericolosità decrescente. La funzione di "processing" usata è "aggiungi campo autoincrementale" con i seguenti parametri (figura 95):

- "Layer in ingresso": "ARCHI" (o "NODI")
- "Nome campo": "CLASSIFICA"
- "Inizio valori a": 1
- "Raggruppa valori per": "BLACKSPOT?"
- "Ordina espressione" ("Parametri avanzati"): "IP"
- Togliere le spunte da entrambi i quadrati riquadrati in rosso in figura 95.

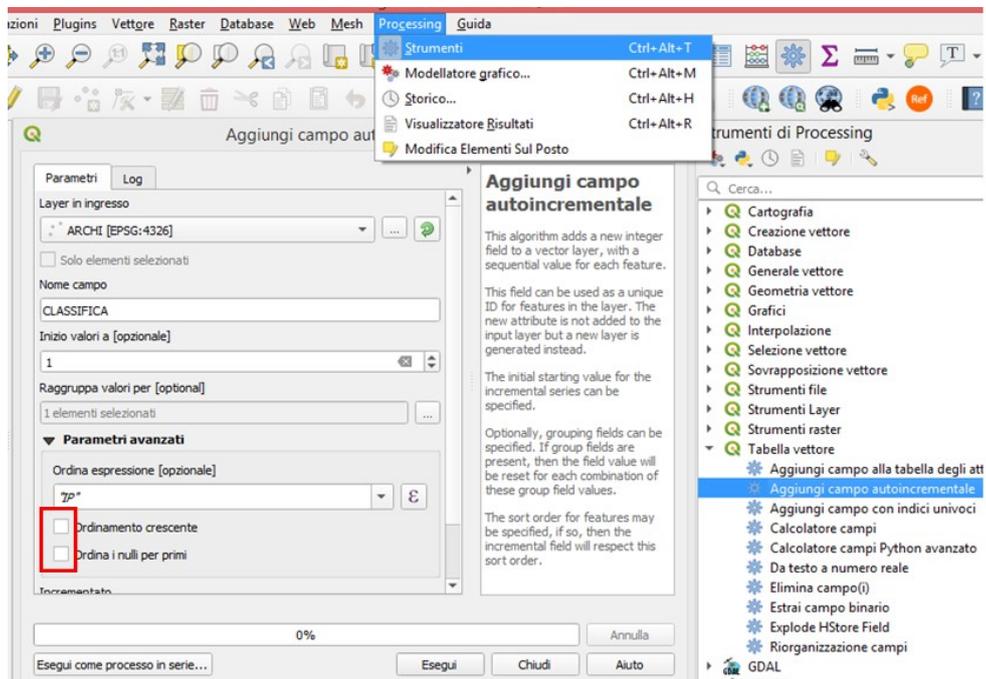


Figura 95: procedimento e finestra per l'utilizzo della funzione "Aggiungi campo autoincrementale".

4.8 STRUMENTO DI SUPPORTO ALLE DECISIONI (SSD)

Le funzioni presentate, se svolte nell'ordine e nel modo descritto, portano al risultato cercato, cioè un'analisi aggregata di incidentalità del territorio in esame.

All'inizio di questo elaborato, però, si era esposta la volontà di automatizzare il processo per creare uno strumento di supporto alle decisioni. Grazie alla funzione "Modellatore Grafico" di QGIS è possibile creare una funzione personalizzata come combinazione di altre funzioni già disponibili nel software (come quelle usate in questo capitolo) e di layer in ingresso.

Il risultato finale del modello è la creazione della funzione "black-spot identification and classification". Questa funzione per mette di eseguire tramite una singola richiesta (utilizzo di un'unica finestra di dialogo) tutte le operazioni per la suddivisione in scenari degli incidenti e la successiva analisi per la determinazione dei black-spot e della loro classificazione.

Non è stato possibile unire anche la parte dell'associazione degli incidenti alla rete stradale. Il primo motivo è l'impossibilità di scegliere l'opzione migliore da utilizzare per l'associazione poiché a priori non si può sapere se e come sono presenti i campi delle coordinate satellitari e la localizzazione tramite nome della via, il secondo motivo è che le funzioni utilizzate per associare il layer degli incidenti a quello dei nodi o degli archi (geom_nearest o geom_distance) non è stato possibile renderle operative all'interno del "modellatore grafico".

Infine, per quanto riguarda la costruzione della rete stradale non si è ritenuto necessario includerla in questo strumento, ma potrebbe essere un'attività per futuri sviluppi.

4.8.1 INTERFACCIA CON L'UTENTE

Come ogni funzione di QGIS, anche quella sviluppata per questo elaborato prevede un'interfaccia con l'utente, che consiste in una maschera di dialogo (figura 96) che presenta determinati elementi caratteristici:

- "ELEMENTO": bisogna inserire il layer che si vuole analizzare (inserire uno dei layer creato per le due tipologie di elementi che caratterizzano la rete stradale. Per esempio, nel caso illustrato si inserirà o il layer "archi" o il layer "nodi");
- "GEOMETRIA": si richiede all'utente di indicare se il layer inserito in "ELEMENTO" è costituito da punti (allora inserire il numero 1) o da linee (inserire il numero 2);
- "INCIDENTI": si deve inserire il layer dove sono immagazzinati i dati sugli incidenti che, oltre ad avere i campi definiti in precedenza (in questo caso è necessario che anche i nomi dei campi che vengono utilizzati durante la fase di analisi siano identici), devono avere il campo ID_ELEMENTO con il risultato dell'associazione agli elementi della rete stradale. Si suggerisce di aver a disposizione due layer contenenti tutti gli incidenti da analizzare ma uno con solo l'associazione agli archi e uno con solo quella dei nodi, in modo da evitare errori nell'associazione;

- “NUMERO SCENARIO”: indicare il numero dello scenario (da 0 a 11), così come sono stati più volte definiti, per analizzare solo il gruppo di incidenti di interesse all’analista;
- “PRIMO ANNO DISPONIBILE”: inserire il primo anno di registrazione degli incidenti oppure il primo anno a cui si è interessati per l’analisi, il testo da inserire è relativo alle sole ultime due cifre (se il prefisso è “0” allora bisogna ometterlo (per esempio: 2014→14, 2009→9));
- “ULTIMO ANNO DISPONIBILE”: segue le stesse regole del campo precedente;
- “SOGLIA IG”: si può impostare una soglia per l’indice di gravità, poiché, come affermato nel capitolo precedente, è il decisore che deve fissarla. Il valore di default è 174, che corrisponde ad un decesso;
- “SOGLIA PROBABILITÀ”: valgono le regole dell’elemento precedente, in questo caso il valore iniziale è pari a 0.05 (che corrisponde al 5%)
- “SOGLIA N_INC_SE_N_ELEMENTI_GRUPPO_ =_1”: viene data la possibilità di cambiare anche la soglia degli elementi il cui codice è univoco (scn₂ nel capitolo 3). Il valore iniziale è 0.03 (cioè il 3% del totale degli incidenti in esame).
- “TABELLA_STATISTICHE”: si tratta di una tabella con una sola riga e una sola colonna (nome colonna: “valore”, riempita col numero 18, si tratta di un tecnicismo per far uscire il risultato voluto) dove poi saranno forniti come output del programma le statistiche relative allo scenario usato. In particolare, saranno disponibili il coefficiente angolare della retta di regressione del trend degli ultimi 5 anni e 10 anni e il numero di incidenti appartenenti allo scenario in esame.

Perché lo strumento sia utilizzabile in modo più agevole è disponibile una guida alla funzione (a lato della finestra di dialogo con l’utente).

In figura 96 si mostra il risultato finale dello sviluppo in QGIS del modello. Lo strumento è accessibile secondo il processo:

“Processing” → “strumenti” → “modelli” → “black-spot identification and classification”.

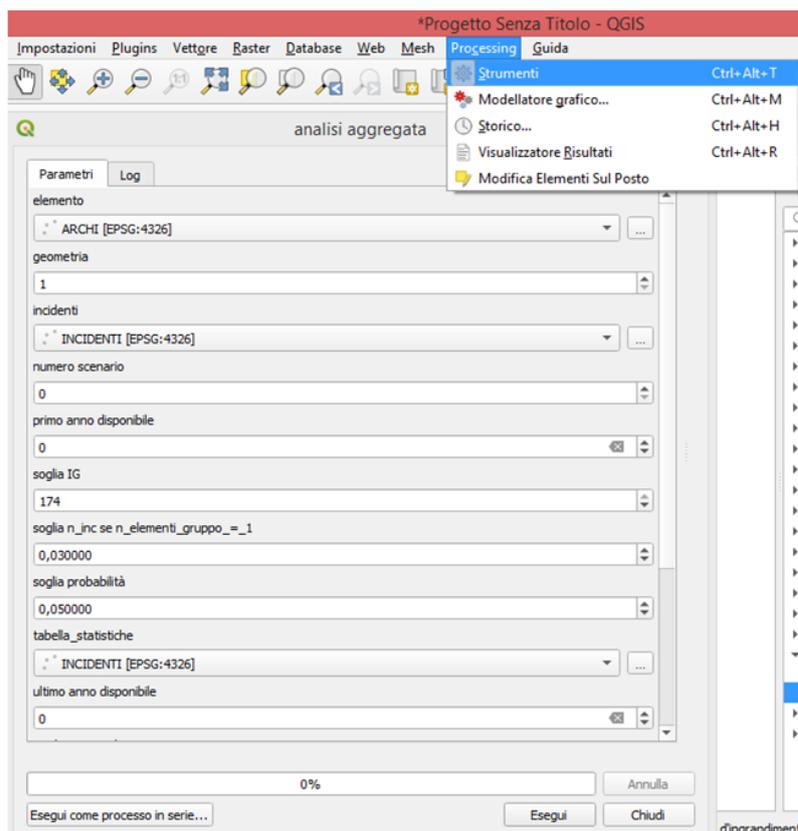


Figura 96: procedura e finestra per l'utilizzo del modello "black-spot identification and classification".

4.8.2 MODELLATORE GRAFICO

In questo paragrafo si spiegherà come funziona il “modellatore grafico” di QGIS e come è stato realizzato il SSD.

Il modellatore grafico è una funzione di QGIS molto utile poiché consente di gestire una concatenazione di operazioni tramite un'unica schermata (interfaccia del modellatore grafico, figura 97), l'utilità o anche il risultato di questa funzione è proprio la possibilità di confezionare una nuova funzione che al suo interno ne contenga molte altre (64).

Le due parti fondamentali sono gli “input” e i “flussi di lavoro”. Gli “input” sono i parametri di ingresso che compariranno nella schermata iniziale della funzione (presentata in precedenza), tra questi ci sono i vettori (o i layer) o i raster (ma c'è anche la possibilità di inserire dei semplici numeri che possono servire per far compiere delle scelte alla funzione). I “flussi di lavoro” invece, sono rappresentati dalla concatenazione degli algoritmi (cioè le funzioni di QGIS) definendo come essi devono relazionarsi sia con gli “input” sia con gli output prodotti da altri algoritmi (cioè bisogna creare delle precedenze, rappresentate graficamente da delle linee, tra algoritmi e input).

Per aprire la finestra del “modellatore grafico” bisogna entrare nella finestra degli strumenti di “processing”, ciò che appare è rappresentato dalla figura 97.

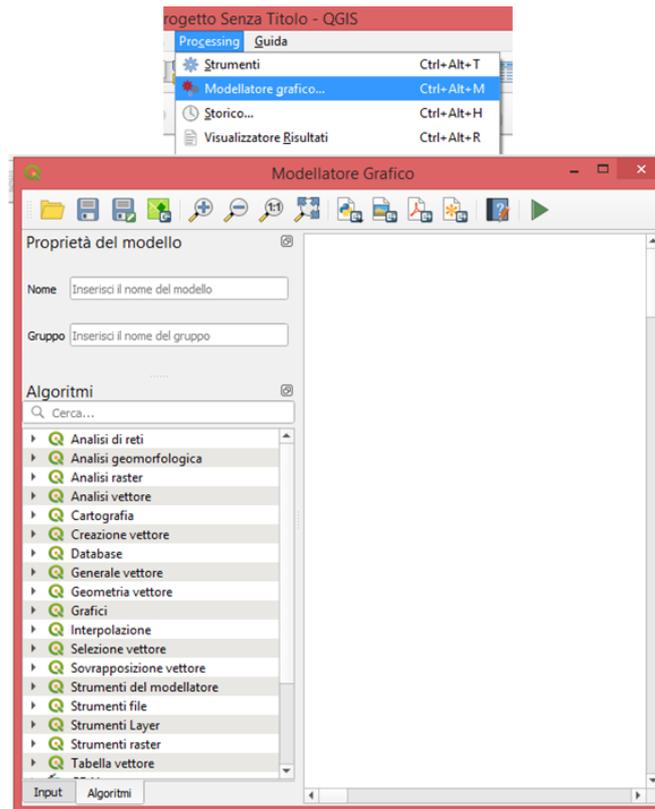


Figura 97: procedura per l'apertura del "modellatore grafico" e finestra principale

In alto della figura 97 ci sono i comandi per il salvataggio e/o l'esportazione del file, in alto a sinistra troviamo il "NOME" e il "GRUPPO", ossia la cartella in cui si vuole salvare il lavoro, mentre in basso a sinistra ci sono i comandi per la realizzazione della funzione.

Le principali differenze con le funzioni di QGIS (oltre agli "input", che non esistono negli strumenti classici di QGIS poiché non sono funzioni) sono la definizione per ogni funzione di 2 parametri in più rispetto alla medesima funzione se utilizzata fuori dal contesto del "modellatore grafico": il layer o l'input di ingresso e i layer che nel processamento devono essere eseguiti prima di quello in esame. A titolo di esempio si riporta la schermata del "calcolatore di campi" per mostrare le suddette differenze (figura 98).

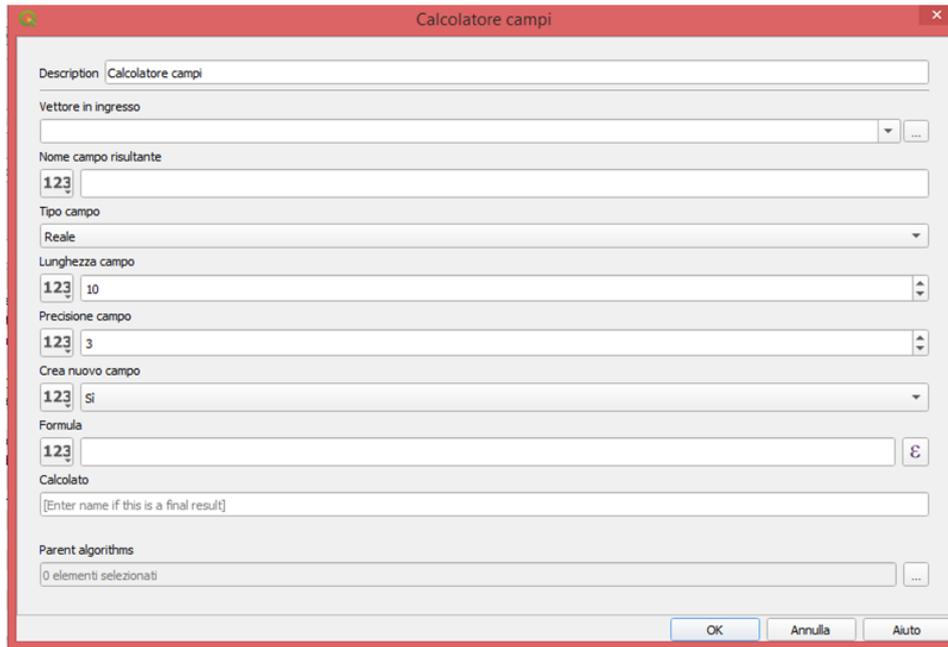


Figura 98: finestra del "calcolatore di campi" nel "Modellatore grafico".

In figura 98, si può notare il “Vettore in ingresso” in cui deve essere scelto il layer di partenza o di input in cui verrà aggiunto questo nuovo campo, poi ci sono i parametri classici del calcolatore di campi, il campo “Calcolato”, in cui si può inserire il nome del layer e non del campo che si vuole in uscita, se il campo rimane vuoto non ci sarà nessun output ed, infine, “Parent Algorithms” dove si scelgono gli algoritmi che devono essere eseguiti prima di questo.

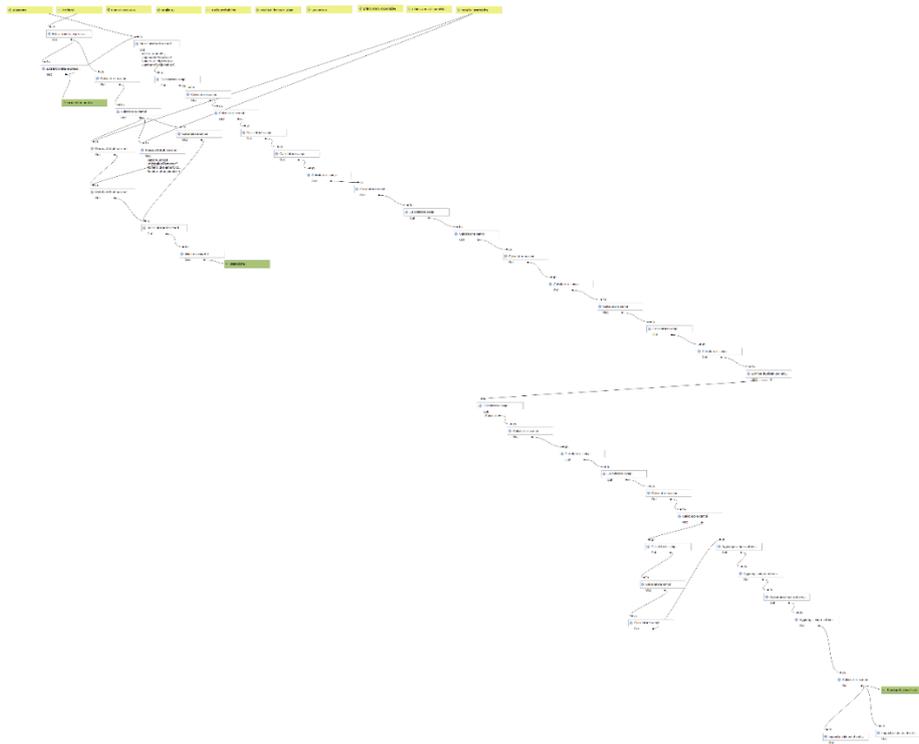


Figura 99: la mappa concettuale del modello "black-spot identification and classification".

Nella figura presentata (figura 99) è visualizzato il flusso di lavoro che compongono del modello "analisi aggregata" creato; dato che è impossibile comprendere in dettaglio il lavoro fatto i punti salienti saranno descritti di seguito:

SELEZIONE DEGLI INCIDENTI APPARTENENTI ALLO SCENARIO E AD UN ELEMENTO

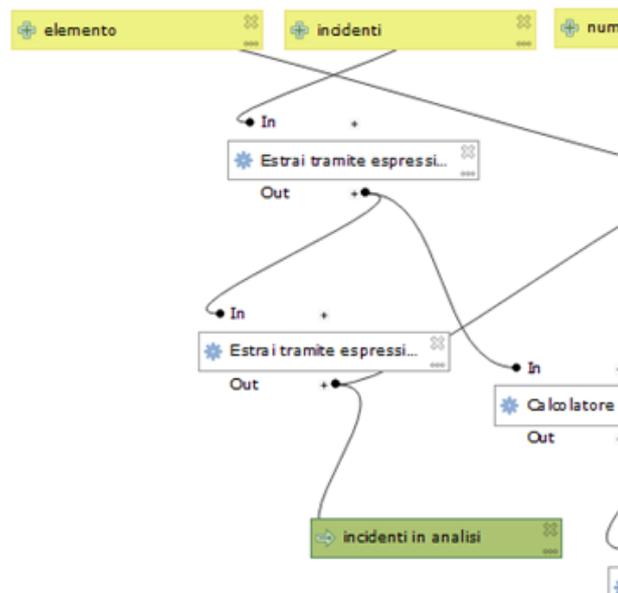


Figura 100: ingrandimento del modello per visualizzare il flusso relativo alla divisione in scenari e in elementi.

Per dividere gli incidenti in scenari bisogna utilizzare la funzione “ESTRAI TRAMITE ESPRESSIONE” due volte (figura 100), la prima serve per selezionare effettivamente gli incidenti in ingresso appartenenti allo scenario scelto mentre la seconda per dividerli ulteriormente in archi e nodi poiché il dato in ingresso deve contenere tutti gli incidenti per permettere il successivo calcolo delle statistiche.

Le due finestre delle funzioni (figura 101 e 102) differiscono per:

- Il layer in ingresso, che nella prima è l’INPUT degli incidenti mentre nella seconda è la prima funzione di estrazione poiché sono concatenati;
- L’espressione che per la prima vale:

```

case
when @numeroscenario = 0 then "anno" is not null
when @numeroscenario = 1 then "tipo vei B" is null
when @numeroscenario = 2 then "natura inc" = 7
when @numeroscenario = 3 then "natura inc" = 5
when @numeroscenario = 4 then "tipo vei A" = 14 or "tipo vei B" =14 or
"tipo vei C" =14
when @numeroscenario = 5 then "tipo vei A" = 15 or "tipo vei B" =15 or
"tipo vei C" =15 or "tipo vei A" = 16 or "tipo vei B" =16 or "tipo vei C" =16
or "tipo vei A" = 17 or "tipo vei B" =17 or "tipo vei C" =17
when @numeroscenario =6 then "eta' con." <15 or "eta' pax a" <15 or "eta'
pax p" <15 or "eta' pax_1" <15 or "eta' pax_2" <15 or "eta' pax_3" <15 or
"eta' pax_4" <15 or "eta' pax_5" <15 or "eta' pax_6" <15 or "eta' pax_7" <15
or "eta' pax_8" <15 or "eta' pax_9" <15 or "eta' pax_10" <15 or "eta'
con_1" <15 or "eta' con_2" <15 or "eta' 1 mor" <15 or "eta' 1 fer" <15 or "eta'
2 mor" <15 or "eta' 2 fer" <15 or "eta' 3 mor" <15 or "eta' 3 fer" <15 or "eta' 4
mor" <15 or "eta' 4 fer" <15
when @numeroscenario = 7 then "circolazio" =11 or "circolazio" =12
or "circolazio" =23 or "circolazio" =24 or "circolazio" =41 or "circolazio"
=42 or "circolazio" =64 or "circolazio" =65 or "circolaz_1" =11
or "circolaz_1" =12 or "circolaz_1" =23 or "circolaz_1" =24 or "circolaz_1"
=41 or "circolaz_1" =42 or "circolaz_1" =64 or "circolaz_1" =65
when @numeroscenario = 8 then "circolazio" =4 or "circolazio" =5
or "circolazio" =6 or "circolazio" =8 or "circolazio" =46 or "circolazio" =49
or "circolazio" =52 or "circolaz_1" =4 or "circolaz_1" =5 or "circolaz_1" =6
or "circolaz_1" =8 or "circolaz_1" =46 or "circolaz_1" =49 or "circolaz_1"
=52
when @numeroscenario = 9 then "ora_da_usa" <6 and "ora_da_usa" >21
when @numeroscenario = 10 then "fondo stra" is not 1
when @numeroscenario = 11 then "condizioni" is not 1
end

```

E per la seconda:

```

case
when @geometria =1 then "intersezio" =1 or "intersezio" =2 or "intersezio"
=3 or "intersezio" =4 or "intersezio" =5 or "intersezio" =6
when @geometria =2 then "intersezio" =7 or "intersezio" =8 or "intersezio"
=9 or "intersezio" =10 or "intersezio" =11 or "intersezio" =12 end

```

Dove

- @numeroscenari è il numero dello scenario che immette l'utente (input);
- @geometria è il tipo di geometria sempre immesso dall'utente (input).

In conclusione, se si volesse ottenere uno scenario personalizzato (non presente tra quelli di base) bisognerebbe inserire un layer di incidenti (archi e nodi) che risponda alle esigenze (ottenuto tramite la selezione per espressione) e poi chiedere al programma di eseguire un'analisi con scenario 0 così non farà altre suddivisioni.

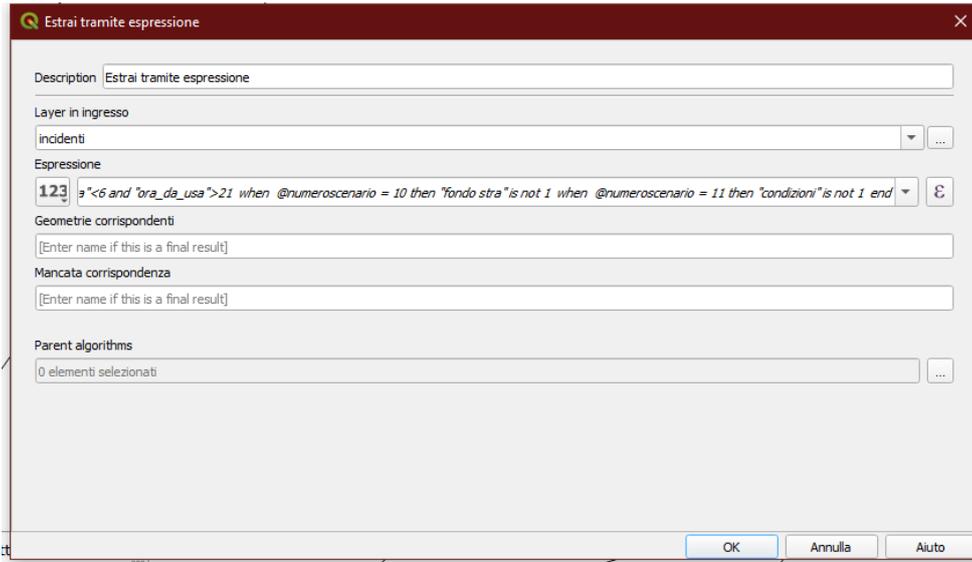


Figura 101: finestra di utilizzo dell'algoritmo "estrai per espressione" per gli scenari.

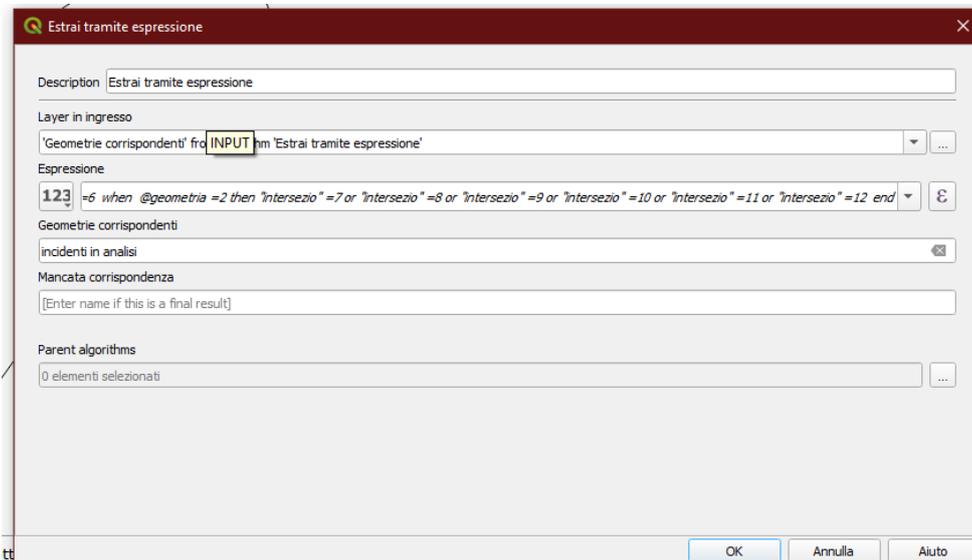


Figura 102: finestra di utilizzo dell'algoritmo "estrai per espressione" per gli elementi (scegliere tra archi e nodi).

CALCOLO DELLE STATISTICHE

Per calcolare le statistiche si prende come input il risultato dell'estrazione degli incidenti per scenario e si concatenano 3 calcolatori di campi:

- Il primo TREND_10 calcola il coefficiente angolare della retta di regressione degli ultimi 10 anni per lo scenario in esame tramite la seguente espressione, che prima verifica anche che ci siano 10 anni di rilevazioni (gli altri campi sono visibili in figura 103):

$$\text{if}(\text{@ultimoannodisponibile} - \text{@primoannodisponibile} + 1) \geq 10, ((-4.5 * (\text{count}(\text{"anno"}, \text{"comune"}, \text{"anno"} = (\text{@ultimoannodisponibile} - 9)) - (\text{count}(\text{"anno"}) / 10)) - 3.5 * (\text{count}(\text{"anno"}, \text{"comune"}, \text{"anno"} = (\text{@ultimoannodisponibile} - 8)) - (\text{count}(\text{"anno"}) / 10)) - 2.5 * (\text{count}(\text{"anno"}, \text{"comune"}, \text{"anno"} = (\text{@ultimoannodisponibile} - 7)) - (\text{count}(\text{"anno"}) / 10)) - 1.5 * (\text{count}(\text{"anno"}, \text{"comune"}, \text{"anno"} = (\text{@ultimoannodisponibile} - 6)) - (\text{count}(\text{"anno"}) / 10)) - 0.5 * (\text{count}(\text{"anno"}, \text{"comune"}, \text{"anno"} = (\text{@ultimoannodisponibile} - 5)) - (\text{count}(\text{"anno"}) / 10)) + 0.5 * (\text{count}(\text{"anno"}, \text{"comune"}, \text{"anno"} = (\text{@ultimoannodisponibile} - 4)) - (\text{count}(\text{"anno"}) / 10)) + 1.5 * (\text{count}(\text{"anno"}, \text{"comune"}, \text{"anno"} = (\text{@ultimoannodisponibile} - 3)) - (\text{count}(\text{"anno"}) / 10)) + 2.5 * (\text{count}(\text{"anno"}, \text{"comune"}, \text{"anno"} = (\text{@ultimoannodisponibile} - 2)) - (\text{count}(\text{"anno"}) / 10)) + 3.5 * (\text{count}(\text{"anno"}, \text{"comune"}, \text{"anno"} = (\text{@ultimoannodisponibile} - 1)) - (\text{count}(\text{"anno"}) / 10)) + 4.5 * (\text{count}(\text{"anno"}, \text{"comune"}, \text{"anno"} = (\text{@ultimoannodisponibile})) - (\text{count}(\text{"anno"}) / 10)) / 82.5, \text{null})$$

Figura 103: finestra del “calcolatore di campi” per il TREND_10.

- Il secondo TREND_5 calcola lo stesso parametro ma per gli ultimi 5 anni (che rappresenta anche la soglia del criterio temporale), viene mostrata prima l'espressione e poi la finestra (figura 104) da cui ricavare anche gli altri parametri:

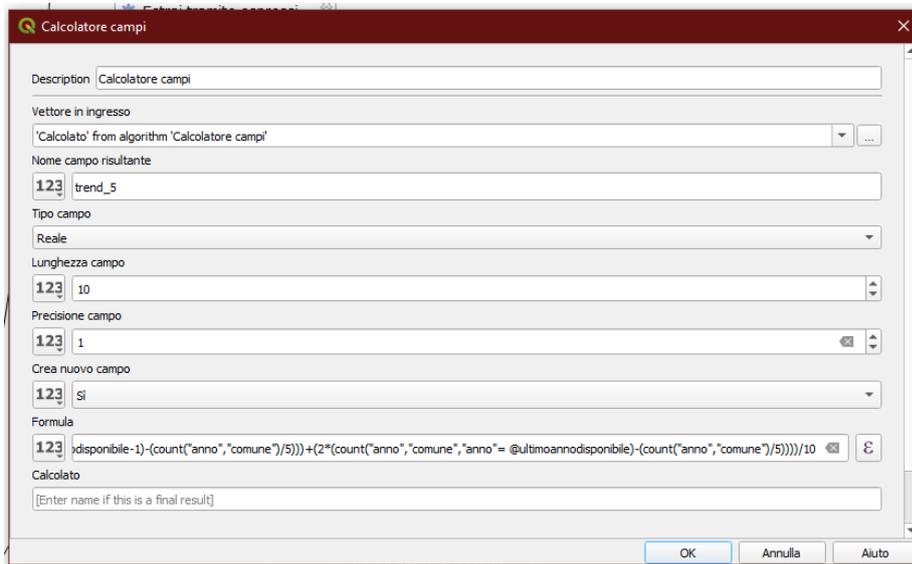
$$\begin{aligned} &((-2*(count("anno","comune","anno"=@ultimoannodisponibile-4)- \\ &(count("anno","comune")/5)))+(-1*(count("anno","comune","anno"= \\ &@ultimoannodisponibile-3)- \\ &(count("anno","comune")/5)))+(0*(count("anno","comune","anno"= \\ &@ultimoannodisponibile-2)- \\ &(count("anno","comune")/5)))+(1*(count("anno","comune","anno"= \\ &@ultimoannodisponibile-1)- \\ &(count("anno","comune")/5)))+(2*(count("anno","comune","anno"= \\ &@ultimoannodisponibile)-(count("anno","comune")/5)))/10 \end{aligned}$$


Figura 104: finestra del "calcolatore di campi" per il calcolo di TREND_5.

- L'ultimo campo N_INC_SCE (figura 105) calcola il numero degli incidenti che fanno parte di questo scenario, utile per far capire se il numero è significativo per le analisi (si ripete l'ordine di espressione e finestra di dialogo):

$$count("ID")$$

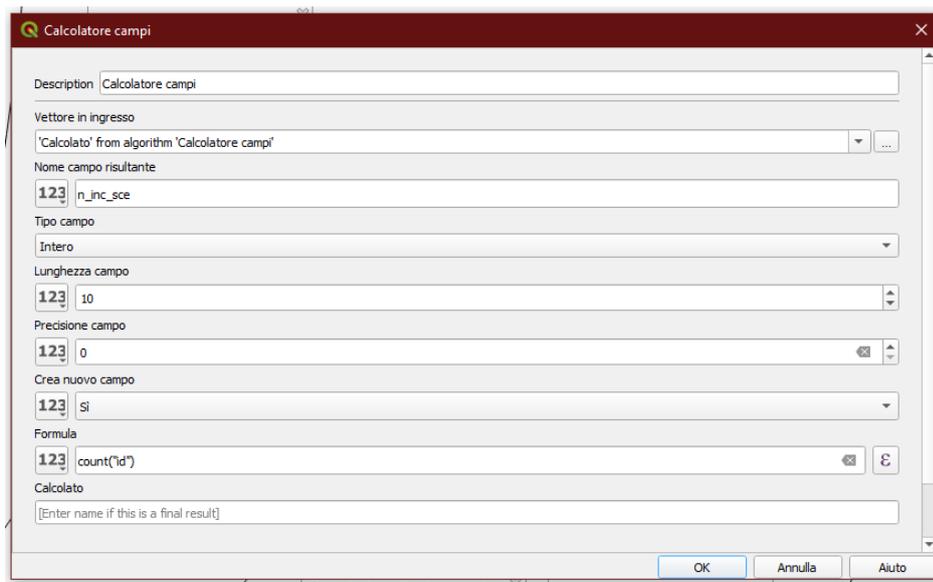


Figura 105: finestra del "calcolatore di campi per calcolare il numero di incidenti.

la parte più complicata è quella per “scriverele” in un'unica tabella che riporti unicamente queste informazioni, il tutto viene realizzato con il seguente intreccio delle funzioni UNISCI ATTRIBUTI SECONDO IL VALORE DEL CAMPO (figura 106):

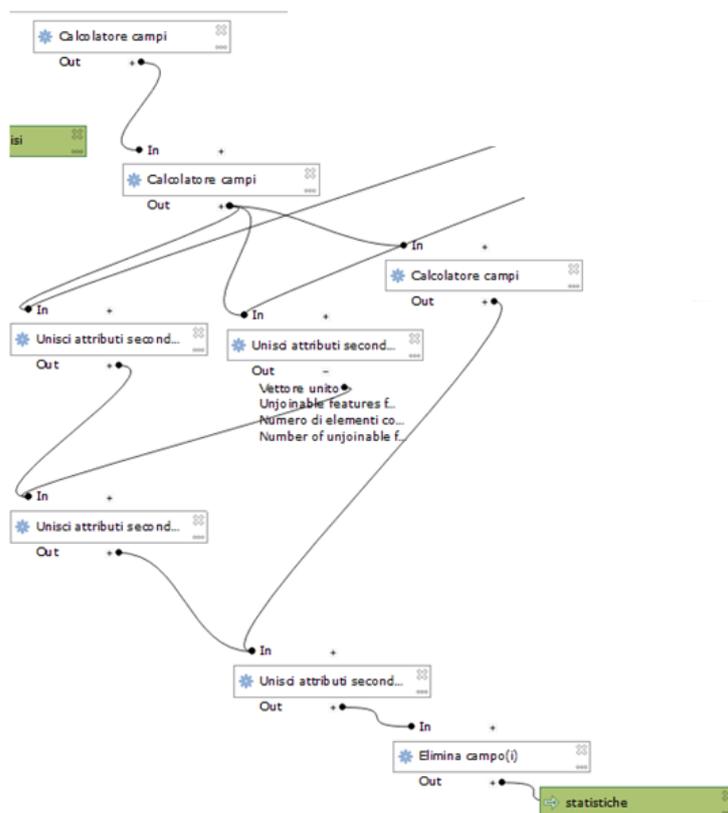


Figura 106: ingrandimento del modello per visualizzare gli algoritmi per la creazione delle statistiche.

ANALISI AGGREGATA

La parte di analisi aggregata inizia con l'unione degli incidenti all'elemento (archi o nodi) in esame tramite la funzione "unisci attributi secondo il valore del campo" con la seguente finestra (figura 107):

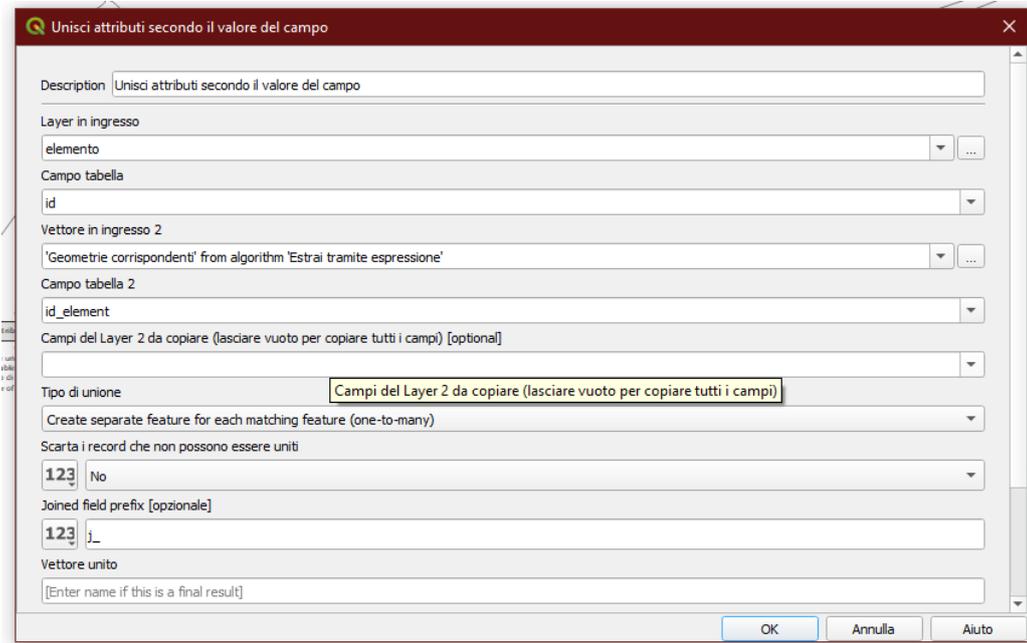


Figura 107: finestra della funzione "unisci geometrie secondo il valore del campo".

e poi si susseguono, concatenati, 14 funzioni "Calcolatore di Campi" (figura 108) che servono per calcolare il numero di incidenti (1), gli incidenti divisi per anno degli ultimi 10 anni (10), gli incidenti con illesi (1), con feriti (1) e con deceduti (1) tramite le funzioni presentate nei precedenti paragrafi.

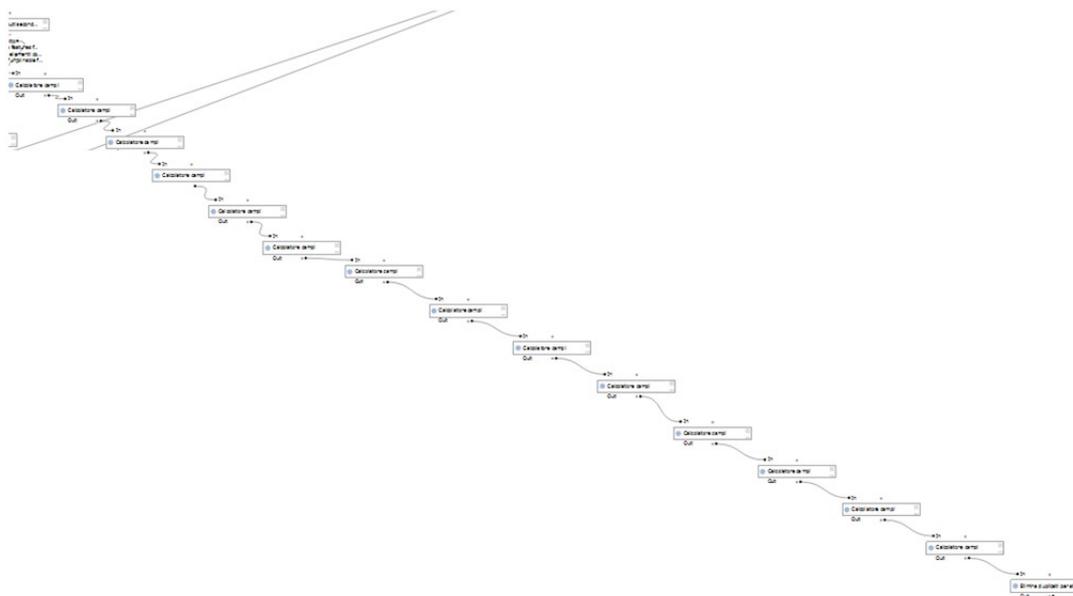


Figura 108: ingrandimento della mappa concettuale del modello che mostra la creazione dei campi propedeutici all'analisi.

Poi vengono eliminate le geometrie duplicate tramite l'attributo ID (figura 109) che si erano create usando la funzione di unione.

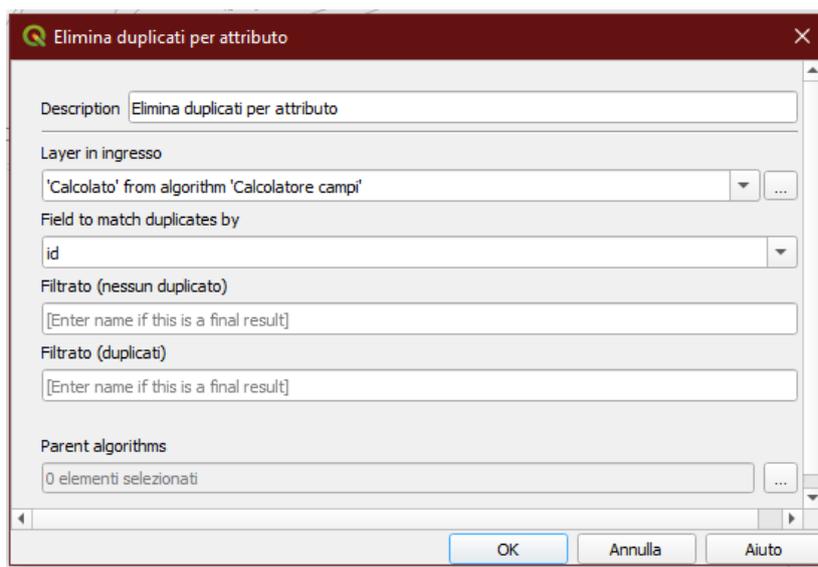


Figura 109: finestra della funzione "elimina duplicati per attributo".

Successivamente ci sono 9 “calcolatori di campi” (figura 110) per calcolare gli indici rappresentativi dei 3 criteri (4), determinare i black-spot (1), calcolare i punteggi dei singoli criteri (3: numerico, delle lesioni e temporale) e l'indice di pericolosità sempre con le funzioni che sono già state presentate nei sotto capitoli precedenti.

N.B: per l'indice di pericolosità, nel modello teorico (capitolo 3) e nella presentazione iniziale di questo capitolo, è stato pensato il funzionamento con i pesi per permettere

una maggiore flessibilità al decisore ma, in questa prima versione dello strumento, questa funzionalità non è ancora stata implementata.

Infine, ci sono 4 “Aggiungi campo autoincrementale” (figura 110) per calcolare le 4 classifiche relative ai 3 indici (probabilità, indice di gravità e trend) e quella totale (relativa all’indice di pericolosità).

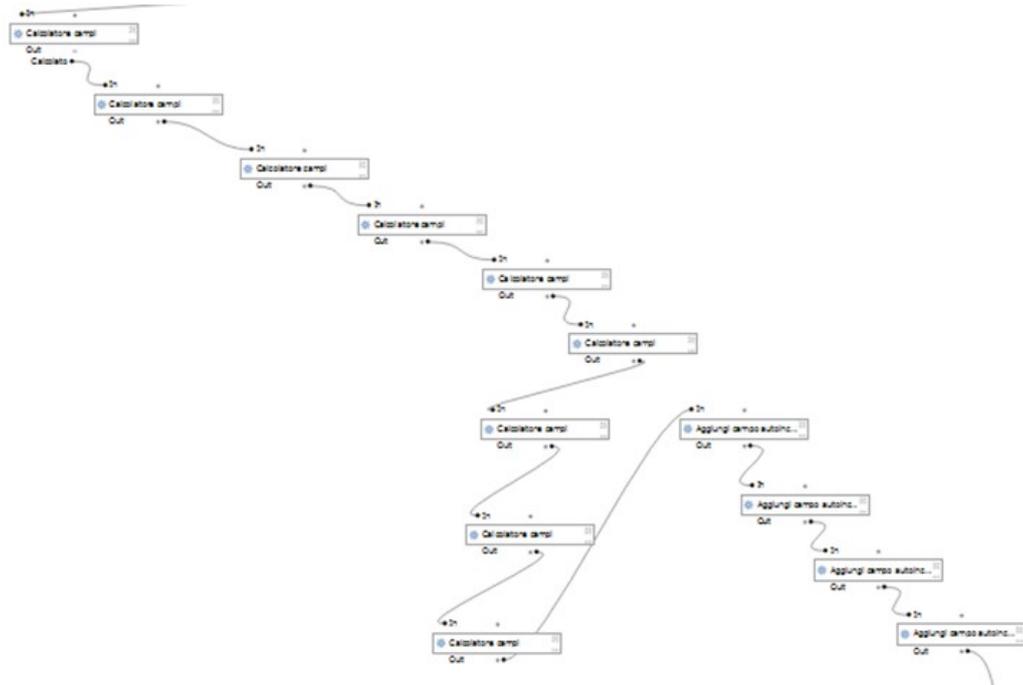


Figura 110: ingrandimento della mappa concettuale del modello che mostra l'analisi con il calcolo dei criteri, l'analisi dei black-spot e la classifica.

TEMATIZZAZIONE

Una delle potenzialità dei software GIS, in generale, e di QGIS, in particolare, è la possibilità di tematizzare i risultati, cioè la possibilità di rappresentare, tramite simboli, colori, o scritte, gli elementi di un layer basandosi sugli attributi degli elementi che gli appartengono.

Nella parte finale del modello si aggiungono le funzioni di tematizzazione “imposta stile per il vettore”. Sono necessarie due funzioni, una per applicare lo stile nel caso di elementi puntuali (NODI) e una per quelli lineari (ARCHI). Nelle funzioni si richiede di caricarle con un file stile; per crearlo è necessario avere un layer con le caratteristiche simili a quello di output, tematizzarlo e salvare lo stile:

1. entrare nelle proprietà dell’elemento che si vuole tematizzare
2. Dal menù scegliere SIMBOLOGIA e poi “Tramite regole”, successivamente creare una o più nuove regole e nella finestra che si apre usare “Etichetta” per scrivere il nome dello stile, “Filtra” per scrivere l’equazione di filtraggio e poi scegliere il simbolo (come mostrato in figura 111):

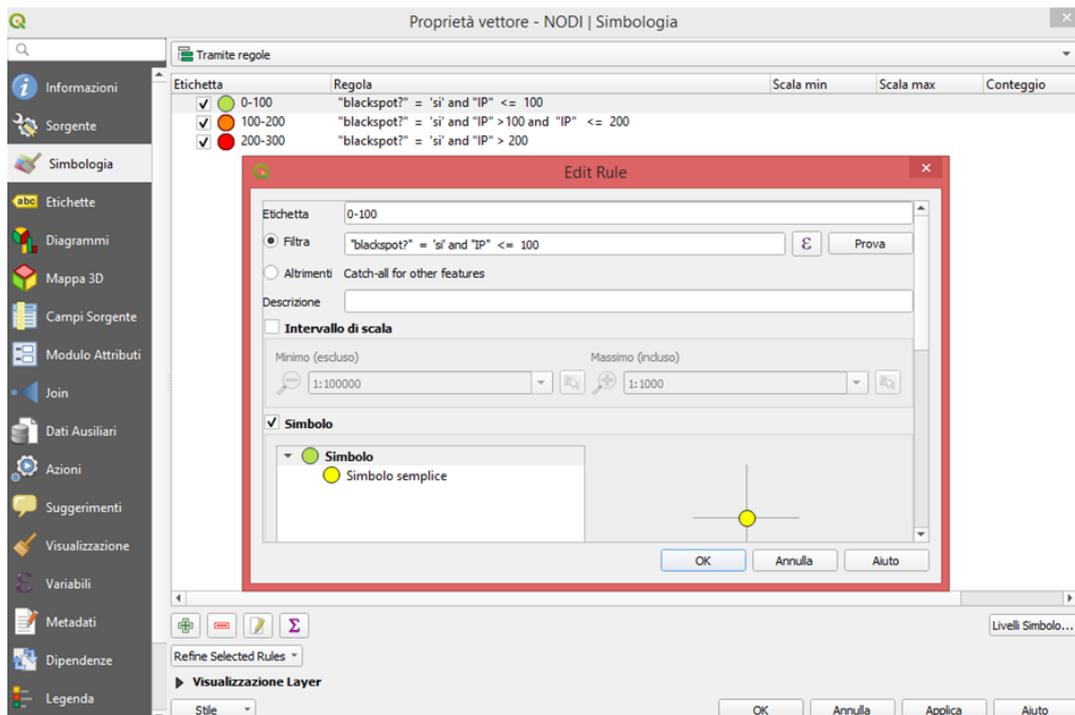


Figura 111: finestra delle proprietà del layer per la tematizzazione della simbologia rappresentante gli elementi.

3. Poi per aggiungere una scritta scegliere la voce “ETICHETTE” dal menù e poi “Etichettatura tramite regole”, successivamente creare una o più nuove regole. Nella finestra utilizzare “Descrizione” come il campo in cui si può appuntare il tipo di stile e “Filtra” per scrivere l’equazione (come mostrato in figura 112):

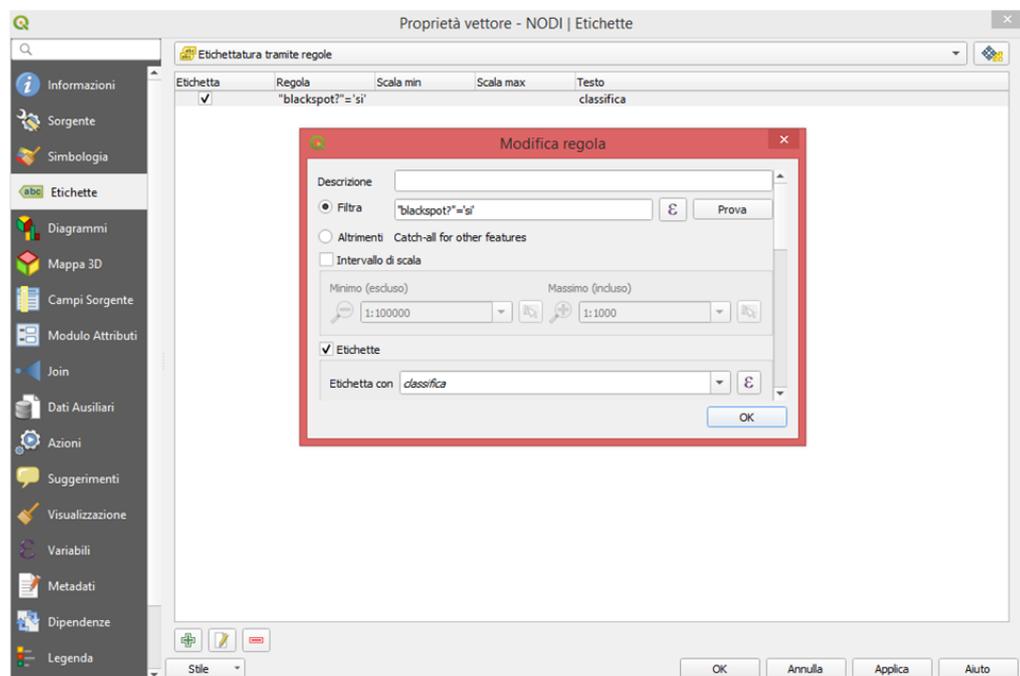


Figura 112: finestra delle proprietà del layer per la tematizzazione delle etichette.

Nel progetto si è utilizzata la seguente tematizzazione (tabella 46):

SIMBOLO	ETICHETTATURA	FILTRO SIMBOLO	FILTRO ETICHETTE
PUNTO ROSSO LINEA ROSSA	300 - 200	$IP \geq 200$	“CLASSIFICA”
PUNTO ARANCIONE LINEA ARANCIONE	200 - 100	$IP < 200$ AND $IP \geq 100$	“CLASSIFICA”
PUNTO GIALLO LINEA GIALLA	100 - 0	$IP < 100$ AND $IP \geq 0$ AND “BLACKSPOT?” = ‘SI’	“CLASSIFICA”

Tabella 46: schematizzazione della tematizzazione presente nel modello “analisi aggregata”.

OUTPUT

Gli output che fornisce il modello sono tre e sono evidenziati nella parte bassa della finestra di avvio della funzione (figura 113):

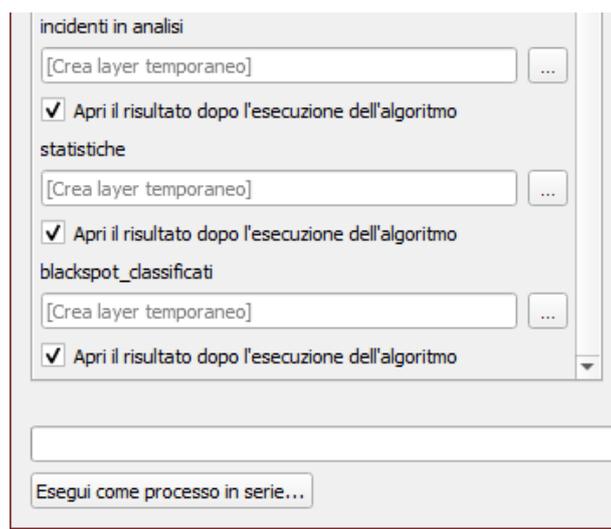


Figura 113: ingrandimento della finestra iniziale di utilizzo della funzione “analisi aggregata”.

- Il layer “incidenti in analisi” raccoglie gli incidenti appartenenti allo scenario e alla geometria che sono stati scelti.
- Il layer “statistiche” evidenzia le statistiche calcolate in formato tabella (figura 114).

	valore	trend_5	trend_10	n_inc_sce
1	18	-0,9	-3,679	1169

Figura 114: esempio di tabella delle statistiche (scenario 0 per la città di Brugherio, che è il caso di studio presentato nel capitolo 5).

- Il layer “black-spot classificati” rappresenta, tramite la tematizzazione spiegata precedentemente, gli elementi critici della rete (figura 115).

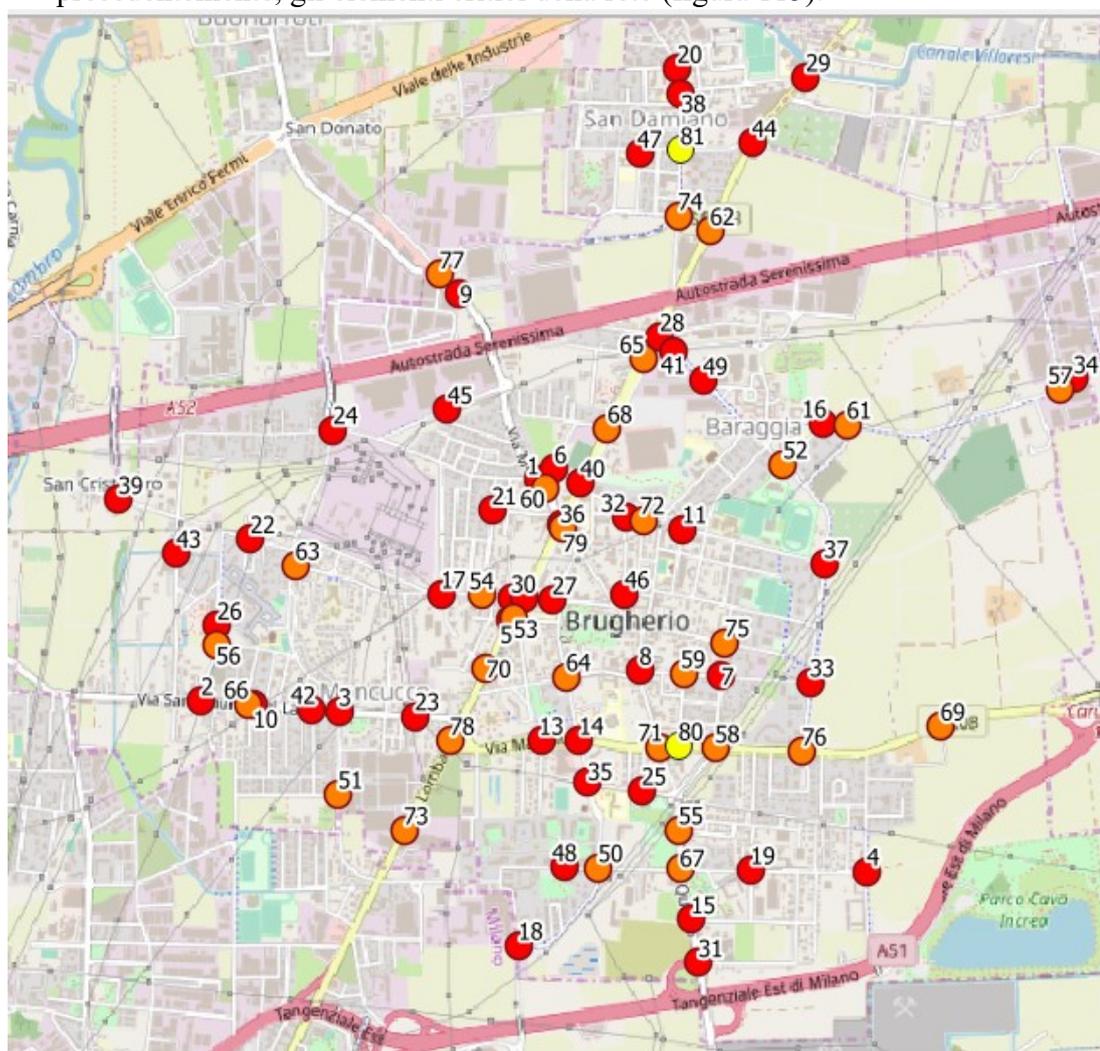


Figura 115: esempio di layer black-spot (scenario 0 per la città di Brugherio, che è il caso di studio presentato nel capitolo 5).

Per ogni elemento classificato come black-spot, infine, è possibile chiedere delle informazioni tramite l'apposita funzione di QGIS, nel pannello delle informazioni

(figura 116) si trovano tutti i campi e i relativi valori dell'elemento per cui si è fatta la richiesta.

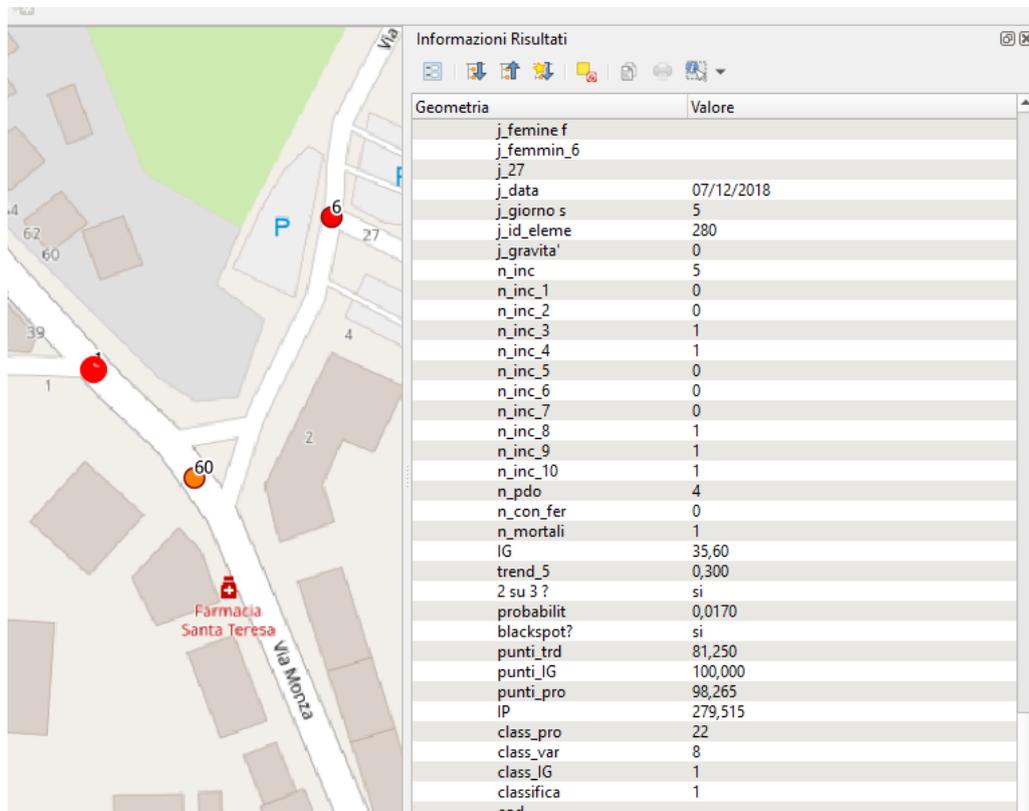


Figura 116: esempio di informazioni ricavabili da ogni elemento della rete.

Nella figura 116 sono visibili i campi degli incidenti avvenuti in totale e per ogni anno, dove “n_inc_10” è l'ultimo anno a disposizione poi il numero di incidenti per ogni tipologia di lesione, i valori degli indici dei criteri per la determinazione dei black-spot e, infine, i punteggi e le classifiche sia per criterio che in generale. Non sono visibili ma possono essere consultate anche i campi relativi all'ID, alla lunghezza (se sono archi) e al codice.

4.9 SINTESI DEL CAPITOLO

In questo capitolo si è presentato il software opensource QGIS e tutte le funzioni utilizzate per analizzare gli eventi incidentali di un territorio.

Le principali complessità sono date dalla fase di costruzione della rete stradale, dove, per esempio, si è posta la problematica delle rotatorie, per le quali si è proposta una possibile ma non definitiva soluzione che preveda una modifica non obbligatoriamente manuale. Anche nell'associazione degli incidenti alla rete stradale si sono riscontrate alcune difficoltà, sono state proposte, infatti, tre opzioni per far fronte alle diverse possibilità della localizzazione degli incidenti, ognuna con pregi e difetti. Tutte le opzioni esposte, però, richiedono un controllo e alcune operazioni puntuali da parte dell'utente, questo per avere la certezza di poter utilizzare tutti i dati.

Infine, si è discussa la possibilità di utilizzare le funzioni presentate per la determinazione dei black-spot e la loro successiva classificazione trovando riscontro nel "modellatore grafico" di QGIS, questo strumento, infatti, ha permesso di creare una nuova funzione che racchiude le precedenti. Nel nuovo modello, però, si è potuto implementare solo la parte di divisione degli incidenti in scenari e la successiva analisi, ciò è dovuto in parte alle ragioni già esposte nel relativo sottocapitolo (impossibilità di implementare alcune funzioni nel modello) ma non è un caso se queste parti non incluse sono quelle sopra citate dove si richiede, in qualche punto, l'intervento dell'utente.

CAPITOLO 5: CASO DI STUDIO

Questo capitolo è dedicato alla verifica del funzionamento del modello nella realtà, che avverrà con la sua applicazione ad una rete stradale reale e a dati incidentali reali. Il caso studio reale scelto è rappresentato dalla città di Brugherio e dai relativi eventi incidentali. In particolare, verranno comprese le problematiche inerenti i dati (tra cui l'assenza delle coordinate satellitari per gli incidenti e di alcuni valori negli attributi della rete stradale fornita da OpenStreetMap) e le soluzioni applicate per ottenere ciò che serve al modello, infine, si presenteranno gli output (tra cui tutti gli scenari di base) e le possibilità di impiego per migliorare la sicurezza stradale del territorio.

5.1 INQUADRAMENTO

Il caso di studio, ossia il territorio di prova del modello presentato, è la città di Brugherio. Il comune si trova nel Nord-Italia, è situato nella regione Lombardia e dal 2009 fa parte della provincia di Monza e della Brianza (MB) (anno in cui questa provincia è diventata operativa); infatti, fino a quella data il comune risulta sotto alla provincia di Milano (con il relativo codice ISTAT per gli incidenti) mentre successivamente i dati incidentali acquisiscono il codice provincia/comune di 108/012 (MB)/(Brugherio).

La città conta al 31/05/2019 un totale di 35.008 abitanti, si estende per 10,32 Km² ed è suddivisa in quattro frazioni: San Damiano (frazione più a Nord), Baraggia (frazione più a Est), Moncucco (frazione più a Ovest) e Dorderio (frazione più a Sud) (65).

Da un punto di vista delle infrastrutture, in particolare stradali, la città è attraversata dall'autostrada A4 Milano – Venezia (che divide la frazione di San Damiano dalle altre) ed è accessibile dallo svincolo “Brugherio” dell'A51 Tangenziale Est di Milano. Per quanto riguarda la viabilità extraurbana secondaria, la città viene divisa dalla strada provinciale SP208 Carugate – Brugherio (che nel comune prende il nome di Via dei Mille prima e Via Marsala dopo) e della provinciale SP3 Milano – Vimercate – Imbersago (che nel comune prende il nome di Viale Lombardia).

Se si considera il trasporto pubblico, il comune di Brugherio è servito da alcune linee di autobus, in particolare la linea Z203 che lo collega a Monza e al capolinea Cologno Nord della linea due della Metropolitana di Milano. Da questo punto partono e terminano le corse della linea Z304 che fa da circolare della città; infine c'è la linea Z305 che collega la parte Sud di Brugherio con Carugate, Cologno Monzese (sempre al capolinea M2) e Cernusco sul Naviglio (fermata Villafiorita della M2).

In figura 117 si riporta una mappa della città e dei confini del territorio comunale.

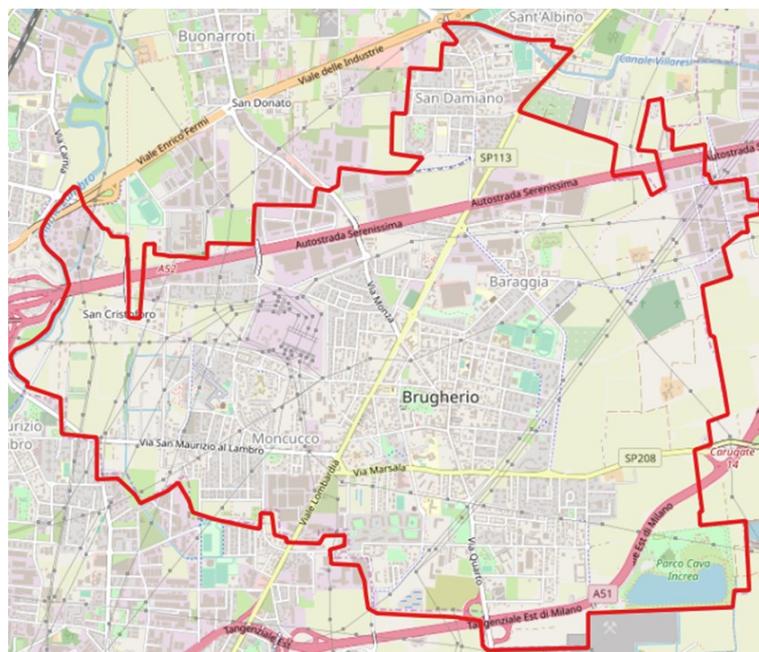


Figura 117: mappa della città di Brugherio (dati di OpenStreetMap e ISTAT per i confini, linea rossa, del 2019).

5.2 LA RETE STRADALE DI BRUGHERIO

Per la costruzione della rete stradale sono stati utilizzati i passaggi già descritti nei capitoli precedenti (capitolo 3 e 4), quindi, nei successivi paragrafi, dedicati al caso specifico di Brugherio, saranno descritti solo gli elementi della rete stradale in cui c'è da fare una precisazione o una modifica rispetto a quanto già detto precedentemente.

La prima caratteristica da definire è il sistema di riferimento in cui devono essere riproiettati tutti i vettori; i dati base sono sempre quelli di OpenStreetMap, ma il sistema da usare è l'EPSG: 32632 WGS84/UTM zone 32N, che vanta una maggiore precisione nella parte Est dell'Italia (L'Italia in questo sistema di riferimento è suddivisa in due fusi, il 32 e il 33). Considerando la rete stradale, si descrivono quindi le caratteristiche dei principali elementi, cioè archi e nodi.

5.2.1 ARCHI

Inizialmente si procede alla selezione degli elementi lineari che possono formare tra di loro delle intersezioni a raso, quindi, inserendo, nel campo della funzione “estrai geometrie per espressione”, la seguente formula:

```
"highway" = 'primary' OR "highway" = 'primary_link' OR "highway" = 'secondary' OR "highway" = 'tertiary' OR "highway" = 'unclassified' OR "highway" = 'service' OR "highway" = 'residential' OR "highway" = 'living_street' OR "highway" = 'construction'
```

viene creato un layer temporaneo dove la sede della A4 e della A51 non sono presenti.

Al termine della selezione e della suddivisione della rete di interesse il layer archi, mostrato in figura 118, contiene 1030 elementi, la lunghezza totale è di circa 88,4 Km mentre quella media di 86 m.

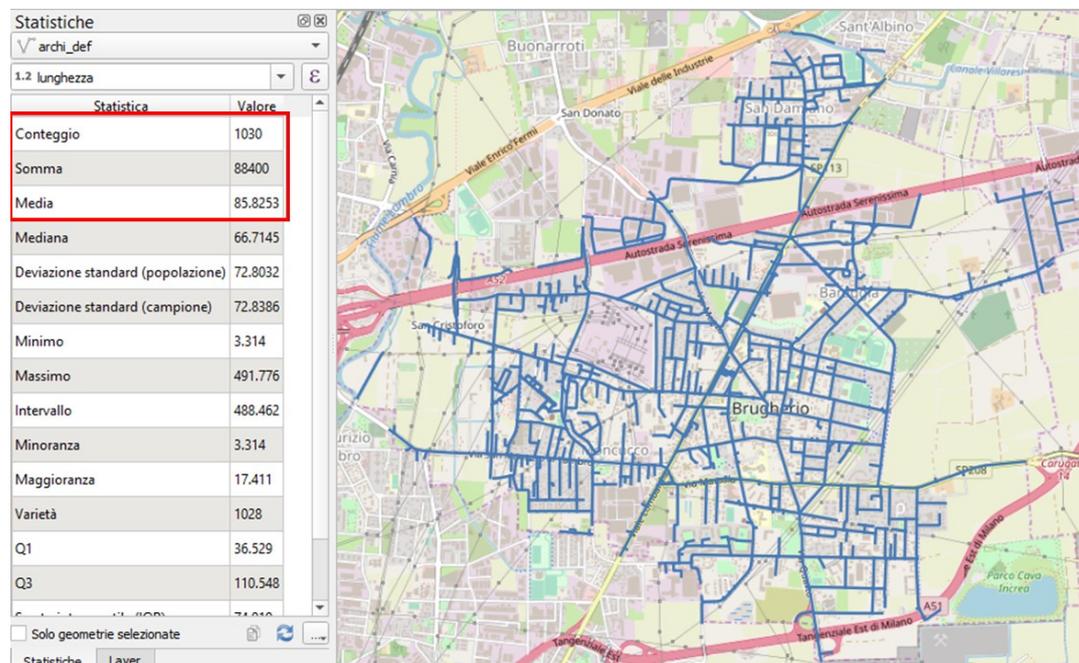


Figura 118: il layer degli archi della città di Brugherio con alcune statistiche a lato (valori espressi in metri).

CODICE ARCHI

- **VELOCITÀ:** grazie alla conoscenza del territorio e alla collaborazione con l'Amministrazione Comunale e la Polizia Locale di Brugherio, si è deciso che se nel campo "maxspeed" non è presente nessun valore, si inserisce 50 Km/h (dato che sul territorio oltre ad alcune zone 30 segnalate non c'è nessun'altra variazione nei limiti di velocità).
- **PAVIMENTAZIONE:** Data l'inesistenza di trasporto urbano su ferro, si può impostare che se il campo "surface" è vuoto l'arco è pavimentato.
- **PISTA CICLABILE:** le piste ciclabili segnalate nella tabella attributi degli archi sono molto meno di quelle effettive, fortunatamente il layer "cycleway", mostrato in figura 119, è aggiornato ed è stato utilizzato per lo scopo.

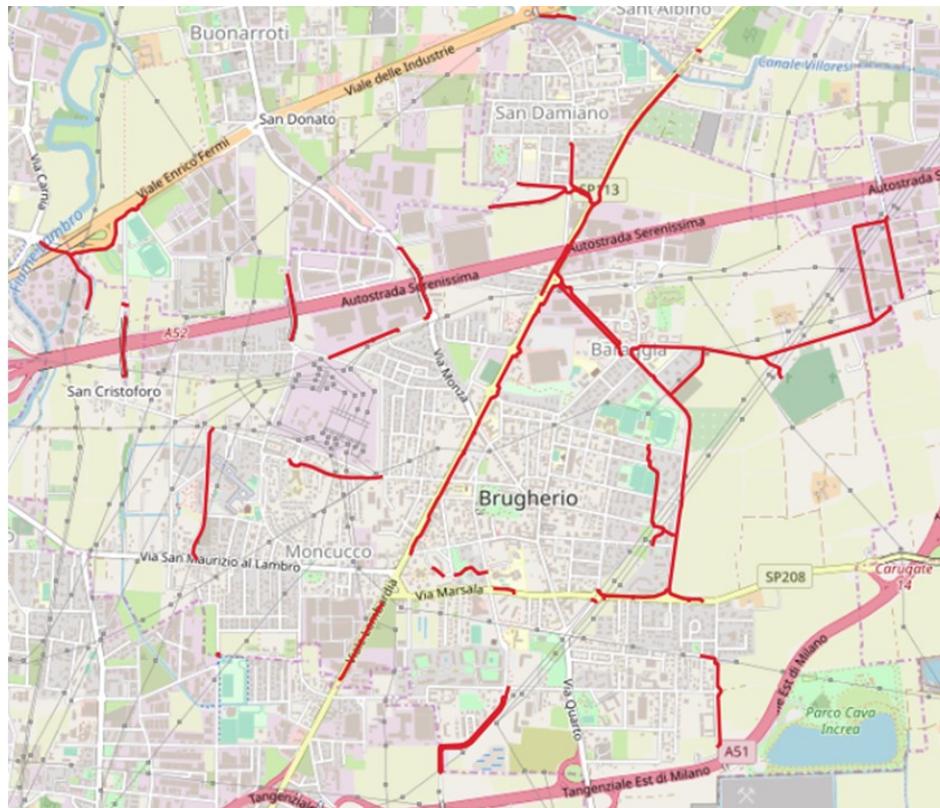


Figura 119: layer delle piste ciclabili evidenziate in rosso (dati OpenStreetMap).

Data la presenza di aree verdi, marciapiedi o aree di sosta interposti tra la sede stradale e la pista ciclabile il valore di R_c (il raggio di ricerca per evidenziare se ci sono delle piste ciclabili a lato degli archi, si ricorda, inoltre, che l'arco rappresenta l'asse della carreggiata) sarà pari:

$$R_c = \text{SEMICAREGGIATA MASSIMA} + \text{MARCIAPIEDE} + \text{SEMI LARGHEZZA PISTA CICLABILE} + \text{SOSTA} + \text{FRANCO DI SICUREZZA (aree verdi)}$$

$$R_c = 6 \text{ m} + 1,5 \text{ m} + \frac{2,5}{2} \text{ m} + 5 \text{ m} + 1,25 \text{ m} = 15 \text{ m}$$

- **MARCIAPIEDE:** la stessa situazione negli attributi si verifica anche per il marciapiede, nonostante in ambito urbano dovrebbe quasi sempre essere presente, è scarsamente segnalato. Per questo attributo, però, non si ha una mappatura a parte in OpenStreetMap. Nell’elaborato, per maggiore completezza, si è utilizzato un layer ottenuto da un rilievo aerofotogrammetrico di Brugherio (del 2013). Una volta importato questo rilievo in QGIS, si nota che ogni linea corrisponde ad uno specifico elemento (lampioni, marciapiede, pista ciclabile, area di sosta, edificio, verde pubblico ...) e più elementi con lo stesso nome formano un layer. Quindi, così come per le piste ciclabili si è impostato un valore del raggio di ricerca (Rm) della funzione “geom_distance”:

$$Rm = SEMICARREGGIATA\ MASSIMA + SOSTA + SEMILARGHEZZA\ MARCIAPIDE$$

$$Rm = 6\ m + 5\ m + \frac{2,5}{2}\ m = 12,75\ m\ (usato\ 13\ m)$$

Nell’immagine di figura 120 si riporta un esempio tratto dalla città di Brugherio, in blu sono rappresentati gli archi e in arancione i marciapiedi, così come sono realizzate nel rilievo aerofotogrammetrico, si aggiunge anche lo strumento di misura per mostrare la distanza tra i due layer ($7,856\ m < 13\ m = Rm$).

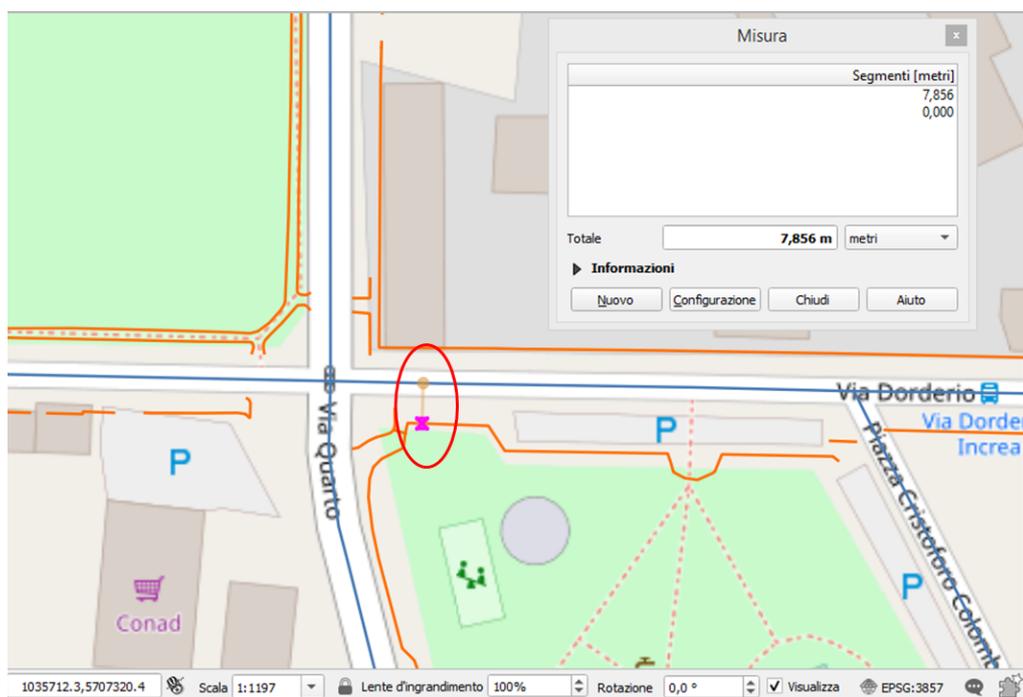


Figura 120:ingrandimento della zona nei pressi dell’intersezione tra Via Quarto e via Dorderio (Brugherio) della rete stradale di studio in formato GIS.

- **ATTRAVERSAMENTO PEDONALE:** il primo elemento da considerare è il layer “crossing” (scaricato dai dati di OSM come layer a parte col plugin

“quickOSM”), che per la città di Brugherio contiene 193 elementi; analizzando il territorio, però, si nota che gli attraversamenti sono ben 412, quindi gli elementi presenti nel layer corrispondono al 46,8% di quelli totali. Gli elementi mancanti sono stati aggiunti manualmente, dopodiché si è proceduto ad una prima fase di aggancio ai nodi considerando il seguente valore di Ra (raggio di ricerca che determina la distanza, dal centro dell’intersezione, per cui un attraversamento pedonale è considerato appartenente ad un nodo/intersezione):

Ra: RAGGIO DELL’INTERSEZIONE PIÙ GRANDE (Rotatoria di Viale Lombardia - Via Virgilio) + 10 m (per quanto detto nel capitolo 3 - NODI)

$$Ra: 25 m + 10 m = 35 m$$

A questo punto, tramite il valore Raa (raggio di ricerca degli attraversamenti pedonali degli archi) si possono agganciare gli elementi rimasti agli archi:

Raa: SEMICARREGGIATA MASSIMA = 6 m

- SOSTA LATERALE: simile all’attributo relativo ai marciapiedi, infatti, gli elementi che possiedono il valore “yes” nella colonna “Parking:lane” sono rari e non rappresentativi della realtà, quindi, è stato fatto uso del layer relativo alla fascia di sosta laterale del rilievo aerofotogrammetrico del 2013. Il valore in questo caso è definito da Rs (che si può definire come la distanza massima che ci può essere tra l’arco, che rappresenta la mazzeria della carreggiata, e la linea che definisce l’area di sosta):

Rs = SEMICARREGGIATA MASSIMA + FRANCO DI SICUREZZA

$$Rs = 6 m + 1 m = 7m$$

Nell’immagine di figura 121 si mostra un ‘esempio tratto dalla città di Brugherio, dove in blu sono rappresentati gli archi e in viola le linee che delimitano la sosta laterale, si aggiunge anche una misurazione della distanza tra i due layer (5,189m < 6m).

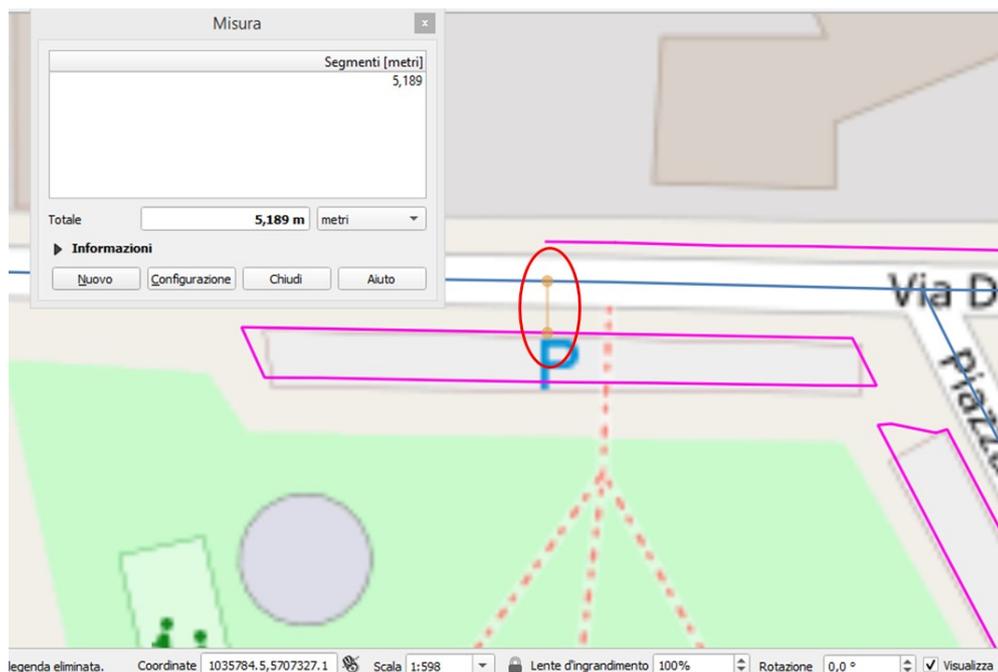


Figura 121: ingrandimento di via Dorderio della rete stradale di Brugherio in formato GIS.

- **CORSIA RISERVATA:** non sono presenti nel territorio comunale di Brugherio, quindi, viene impostato per tutti gli elementi il valore '0'.
- **TPL:** data la mancanza di informazioni in OSM non si è potuto avere un quadro completo delle fermate del trasporto pubblico presenti sull'area; per questo elaborato, quindi, il valore non è stato calcolato (il codice risulterà con un valore in meno). Nel caso in cui siano disponibili maggiori informazioni, si può ipotizzare un layer completo, per il quale servirà calcolare un raggio (R_s) che tenga conto anche del fatto che la fermata potrebbe essere rientrante rispetto alle corsie di marcia (golfo di fermata):

$$R_s = \text{SEMICARREGGIATA MASSIMA} + \text{LARGHEZZA GOLFO DI FERMATA}$$

$$R_s = 6m + 3m \text{ (in funzione di ciò che si trova nel territorio)} = 9m$$

- **TGM:** non essendo possibile derivare il traffico giornaliero medio per TUTTI gli archi della città, si è preferito in generale non considerare questo attributo, quindi il campo avrà valore forfettario di '1'.

Infine, si riportano alcune statistiche sul codice degli archi. Sono stati caratterizzati archi con 50 tipologie di codice, 15 elementi risultano avere un codice univoco (dovranno essere analizzati con attenzione) e i primi tre codici per numero di elementi (espresso dopo il codice tra parentesi tonde) sono:

- F22EP01000 (208) cioè strade urbane a doppio senso di marcia, due corsie, velocità massima 50 Km/h, pavimentate, presenza solo di marciapiede;

- F22EP01010 (161) a cui si aggiunge alla precedente descrizione la presenza di sosta laterale;
- F22EP00000 (129) che è una semplice strada a due corsie, doppio senso di marcia, velocità 50 Km/h, pavimentata e senza altri elementi.

5.2.2 NODI

Dopo le operazioni grafiche, eseguite come descritto nel capitolo 4, cioè la creazione di tutte le intersezioni tra gli archi, delle rotatorie e l'eliminazione dei duplicati, i nodi totali risultanti sono 526 con la seguente suddivisione per tipologia di intersezione:

- 21 rotatorie;
- 18 intersezioni semaforizzate;
- 321 intersezioni non semaforizzate;
- 166 intersezioni non semaforizzate ma con almeno una strada di servizio come ramo.

Per quanto riguarda, invece, il problema delle rotatorie (figura 122), schematizzate con un arco circolare, si è risolto andando a modificare manualmente la corona rotatoria e anche i rami convergenti (se formati da due archi uno per l'entrata e uno per l'uscita, sono stati rieditati con un singolo arco), in modo da creare un singolo nodo corrispondente al centro della rotatoria stessa.

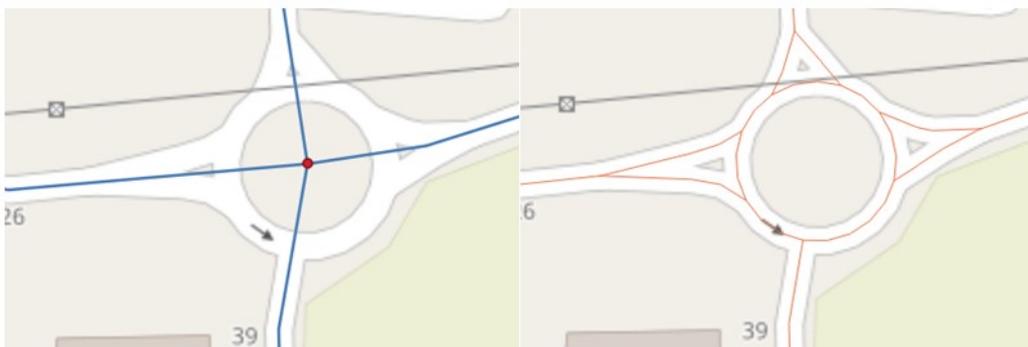


Figura 122: esempio di modellazione del nodo e degli archi per la rotatoria tra via Ilaria Alpi, via degli Artigiani e via Santa Margherita nella città di Brugherio.

CODICE NODI

Le uniche caratteristiche dei nodi non dipendenti dagli archi sono la “caratteristica del nodo” e gli “attraversamenti pedonali”, ma dato che questi ultimi sono già stati discussi nel codice degli archi in questo sotto capitolo si tratterà unicamente della “caratteristica del nodo”.

- CARATTERISTICA DEL NODO: l'unico parametro utile per definire l'attributo è il raggio per la verifica della presenza di un semaforo nell'intorno del nodo, R_t , che vale:

$$R_t = \text{RAGGIO INTERSEZIONE PIÙ GRANDE} = 25 \text{ m}$$

È doveroso precisare che in OpenStreetMap il semaforo viene posizionato al centro dell'intersezione e quindi il calcolo del raggio in generale non sarebbe necessario. Ci sono, però, alcuni casi che rappresentano delle eccezioni, come quella in figura 123 (a destra è rappresentata l'intersezione tra via Marsala e viale Lombardia, a Brugherio, dove i semafori sono posti sugli archi mentre a sinistra, nell'intersezione tra via Marsala e via John e Robert Kennedy, a Brugherio, il semaforo è rappresentato nel punto centrale dell'intersezione).



Figura 123: confronto tra due diversi metodi di posizionamento dell'icona del semaforo in OpenStreetMap.

Infine, come per gli archi, si riportano alcune statistiche. Si rilevano 44 tipologie di codice, 13 elementi che hanno un codice unico (da analizzare con attenzione) e i codici con un numero più elevato di elementi sono:

- U32EPN0 (150 elementi): intersezione a T non semaforizzata, pavimentata e senza attraversamenti pedonali;
- E32EPN0 (95 elementi): intersezione a T non semaforizzata ma con un arco della tipologia di servizio pavimentata e senza attraversamenti pedonali;
- U32EPM0 (59 elementi): intersezione a T non semaforizzata, pavimentata con attraversamenti pedonali ma non su tutti i rami.

5.3 DATI E ASSOCIAZIONE DEGLI INCIDENTI

Dato che per la fase successiva, cioè l'associazione degli incidenti alla rete stradale, è necessario conoscere il set di dati che si ha a disposizione per l'analisi di incidentalità del caso studio, si presenta nel paragrafo seguente il dato oggetto di studio dell'analisi aggregata.

5.3.1 DATA SET INCIDENTALE

Tra i canali percorribili, in Italia, per ottenere i dati degli incidenti, in questo caso si è utilizzato il database messo a disposizione dal Comando della Polizia Locale di Brugherio, nel caso non si avesse questa possibilità bisognerebbe inoltrare una richiesta ufficiale ad ISTAT, dato che i dati fruibili gratuitamente presentano alcune problematiche. A tutto il mese di Agosto 2019, infatti, sono presenti i dati dal 2010 fino all'anno 2017, compreso, i dati del 2017 non sono comprensivi di alcuna localizzazione (né coordinate satellitari né nome della via) e quindi, sono utili solo per l'elaborazione di alcune statistiche non per l'associazione alla rete stradale, gli anni dal 2010 al 2013, come riporta il sito ISTAT sono solo un campione del totale. Si

ricorda, infine, che i dati ottenuti dalla Polizia Locale sono più completi di quelli di ISTAT per la presenza degli incidenti anche con solo danni a cose.

Grazie alla collaborazione con il suddetto Comando, si è potuto ottenere un soddisfacente risultato: gli incidenti stradali avvenuti sul territorio di Brugherio tra il 2009 e il 2018 (10 anni di record) sono stati in totale 1.169.

Questo dato non rappresenta il totale degli incidenti avvenuti nella città di Brugherio, ma solo quelli registrati in ambito comunale dalla Polizia Locale; non sono presenti infatti, i dati rilevati dalla Polizia Stradale (che comunque generalmente non si occupa di eventi in aree urbane) e dall'Arma dei Carabinieri (che generalmente rileva il dato nei momenti in cui il Comando non è attivo).

Tra questi dati sono disponibili sia gli incidenti con lesioni a persone sia quelli con solo danni a cose: in 10 anni sono avvenuti 407 incidenti senza feriti o decessi (il 34,8% del totale) che non sono presenti nel database ISTAT. È doveroso ricordare comunque che, come evidenziato nel capitolo 2, gli incidenti a disposizione sono solo circa il 10% poiché non sono comprensivi di quelli risolti con costatazioni amichevoli oppure avvenuti in aree private (come nei parcheggi o nelle strade private) disponibili solo dalle assicurazioni.

5.3.2 ASSOCIAZIONE DEGLI INCIDENTI ALLA RETE STRADALE

Il dato reperito non possiede le indicazioni sulla localizzazione degli incidenti, cioè le coordinate di longitudine e latitudine, quindi, la prima metodologia proposta nel paragrafo 4.4.1, risulta inutilizzabile.

Ci si focalizza, quindi, sul campo “Localizzazione” dove è contenuto il nome della via e si notano subito alcune incongruenze tra questo campo e quello “intersezione o non intersezione”.

Alcuni dati riportano che l'incidente è avvenuto in una intersezione e come localizzazione viene utilizzato il nome di una via col numero civico; altri, invece, riportano la dicitura “non intersezione” e il nome di due vie. Si propone in tabella 47 la statistica sugli incidenti avvenuti nelle intersezioni e in luoghi definiti come diversi dalle intersezioni.

	NON INTERSEZIONE		INTERSEZIONE	
NUMERO CIVICO	455	38,9%	84	7,2%
DOPPIA VIA	49	4,2%	483	41,3%

Tabella 47: statistiche sul dato degli incidenti, le percentuali si riferiscono al totale degli incidenti (1.169), fonte Polizia Locale Brugherio.

Il problema dato da questa discrepanza è che se si utilizza la metodologia di associazione tramite l'unione dei campi, descritta nel paragrafo 4.4.2, tutti gli incidenti con il numero civico sono automaticamente associati ad un arco (non intersezione) mentre quelli con doppia via ad un nodo (intersezione).

Se il numero civico, però, può non essere un errore e rappresentare un punto in una intersezione o nelle vicinanze, la presenza di doppia via non può certamente indicare un arco; quindi, se si vuole applicare l'associazione tramite unione dei campi con una ridotta probabilità di errore, o ci si basa unicamente sul campo "localizzazione" senza considerare la dicitura "intersezione o non intersezione", oppure si escludono gli incidenti che presentano questo tipo di problematica.

In più, scaricando i dati di Brugherio di OSM con i numeri civici, si nota che alcune vie della città risultano senza questi dati (pur essendoci degli edifici ad uso residenziale). Questo mostra una lacuna nei dati che non permette di definire il campo relativo al numero civico come affidabile.

Per i motivi sopra citati in questo elaborato si decide di utilizzare la metodologia della georeferenziazione tramite il nome della via. Il metodo si basa sull'uso del campo "intersezione o non intersezione" e, quindi, sulla sensibilità di chi rileva l'evento nello stabilire se un incidente sia da considerarsi nell'area di competenza del nodo o dell'arco. Ovviamente anche questo metodo presenta delle difficoltà che consistono nell'associare agli archi degli incidenti con doppia via (il motivo per cui li vogliamo associare agli archi è che nel campo "intersezione o non intersezione" hanno un valore appartenente alla "non intersezione"), infatti non si può sapere in quale arco dell'intersezione è avvenuto (figura 124) mentre il nodo più vicino è sufficiente per gli incidenti che riportano l'indicazione del numero civico.



Figura 124: esempio di associazione impossibile senza ulteriori informazioni (oltre alla coppia di vie e che è avvenuto in un arco).

Una volta individuati gli attributi di interesse di tutti i dati incidentali, si procede al loro inserimento sulla rete della città. Questo passaggio è stato eseguito utilizzando il tools online GPS Visualizer, che ha permesso di georeferenziare tutti gli incidenti. Tra gli eventi rilevati, 237 sinistri non hanno presentato una coordinata esatta, ma 98 tra questi risultavano già impossibili da georeferenziare poiché non presentavano numero

civico o doppia via. Complessivamente, quindi, l'efficienza del programma si attesta al $((1169-237) / (1169-98) * 100) = 87\%$.

I rimanenti 139 incidenti con indicazione precisa della localizzazione ma che non hanno ottenuto coordinate esatte, risultano perlopiù avvenuti nelle rotatorie e hanno generato problemi per il software nel riconoscerle come intersezioni. Questi dati verranno associati manualmente, cioè inserendo nella tabella attributi relativa agli incidenti l'ID del nodo o dell'arco a cui si riferiscono.

Gli incidenti che possono essere associati ed utilizzati senza una revisione manuale sono 883 e rappresentano il 76% del totale. Grazie ad un'associazione manuale si ottiene, infine, un dataset utilizzabile di 1024 incidenti, pari all'88% del totale.

Nella tabella 48 si riportano alcune statistiche sull'associazione e, in particolare, si specifica che nella voce "con localizzazione non usabile" ci sono 3 incidenti con riferimento errato (vie che non si incrociano), 2 imprecisi (come "gas auto" quando ce n'è più di uno vicino) e 10 fuori dal territorio di competenza (al confine con Carugate).

TIPO INCIDENTI	NODI		ARCHI		TOTALE	
DISPONIBILI	590	50,5%	579	49,5%	1169	
SENZA SPECIFICA LOCALIZZAZIONE	23	1,9%	75	6,5%	98	8,4%
CON LOCALIZZAZIONE NON USABILE	15	1,3%	0	0,0%	15	1,3%
GEOREFERENZIATI	450	38,5%	482	41,2%	932	79,7%
ASSOCIATI	560	47,9%	464	39,7%	1024	87,6%
ASSOCIATI MANUALMENTE	110	9,4%	5	0,4%	115	9,8%

Tabella 48: tabella riassuntiva dei dati sull'associazione degli incidenti, le percentuali fanno riferimento al totale di 1169 incidenti.

5.4 ANALISI D'INCIDENTALITÀ

Prima di analizzare i risultati che il modello fornisce quando viene applicato ad un caso reale, si vuole descrivere l'analisi aggregata classica condotta sul territorio in esame.

Questa tipologia di analisi preliminare è necessaria per inquadrare, dal punto di vista incidentale, la città di Brugherio nel panorama territoriale, tramite dei confronti a differenti scale (Nazionale, Regionale ...). Con questa operazione è quindi possibile determinare quali sono gli scenari più interessanti da prendere in considerazione e quali sono gli elementi della rete stradale che ci si aspetta essere più critici (in questo caso principalmente per confrontarli con l'output del modello).

5.4.1 ANALISI D'INCIDENTALITÀ CLASSICA

Questo primo grafico di figura 125 rappresenta l'andamento temporale dei principali indicatori di incidentalità, da un lato si può notare il trend decrescente sia del numero di incidenti che del numero di feriti, in linea con le statistiche sia italiane che europee, dall'altra parte, però, c'è un aumento del numero di vittime. I valori legati a quest'ultimo indicatore sono estremamente ridotti, quindi considerabili poco significativi. Nonostante questo, registrare quattro decessi negli ultimi tre anni, quando nei precedenti sette questo numero era pari a zero, è un'indicazione che deve far aumentare il livello di attenzione.

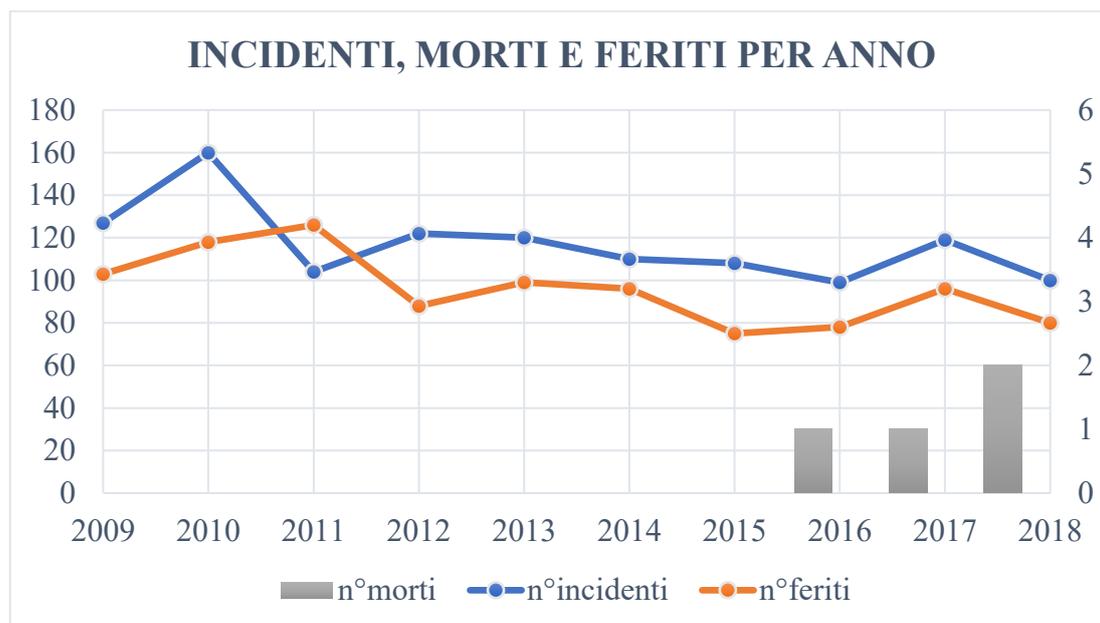


Figura 125: serie storica della città di Brugherio del numero di incidenti, morti e feriti tra il 2009 e il 2018.

I due grafici successivi (figure 126 e 127) rappresentano due delle tematiche più discusse nell'ambito dell'incidentalità stradale, cioè le utenze deboli e le fasce d'età principalmente coinvolte.

Per quanto riguarda le utenze deboli, figura 126, si può riferire che, in linea con le tendenze italiane, anche nel caso studio ci sono molti veicoli a due ruote coinvolti (40%), dei quali in prevalenza sono due ruote a motore; fra questi, inoltre, si registra anche un decesso. Il numero dei pedoni coinvolti in un incidente risulta sotto la media (9% invece che 14% [dati ISTAT 2017 (6)]), ma bisogna considerare che tra questi incidenti con pedoni ci sono ben due delle quattro vittime.

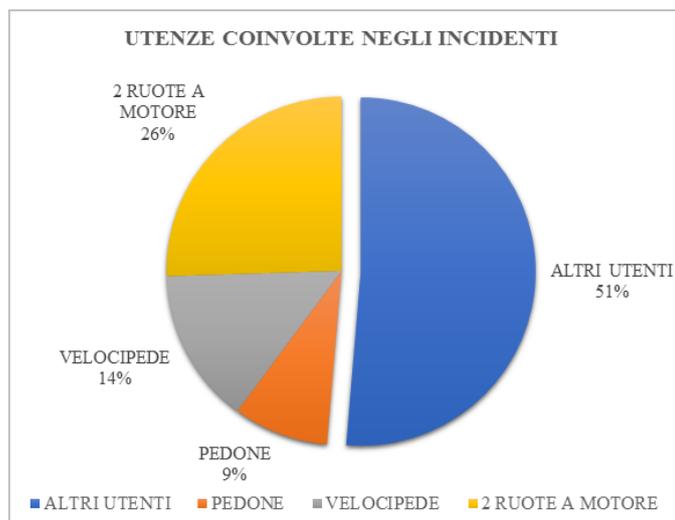


Figura 126: grafico di ripartizione del numero di incidenti tra le utenze della strada.

Le fasce d'età più coinvolte, cioè quelle sopra la media di Brugherio (linea arancione di figura 127) sono tra i 20 e i 65 anni, che rappresentano anche la parte della popolazione più attiva e più incline al frequente uso delle autovetture, in particolare, però, possiamo evidenziare che le fasce 35-39 e 40-44 rappresentano il picco del grafico di figura 127. Il fenomeno più importante è che tutte e quattro le persone decedute negli ultimi anni avevano più di 60 anni, il che può indicare una problematica relativa alle persone anziane.

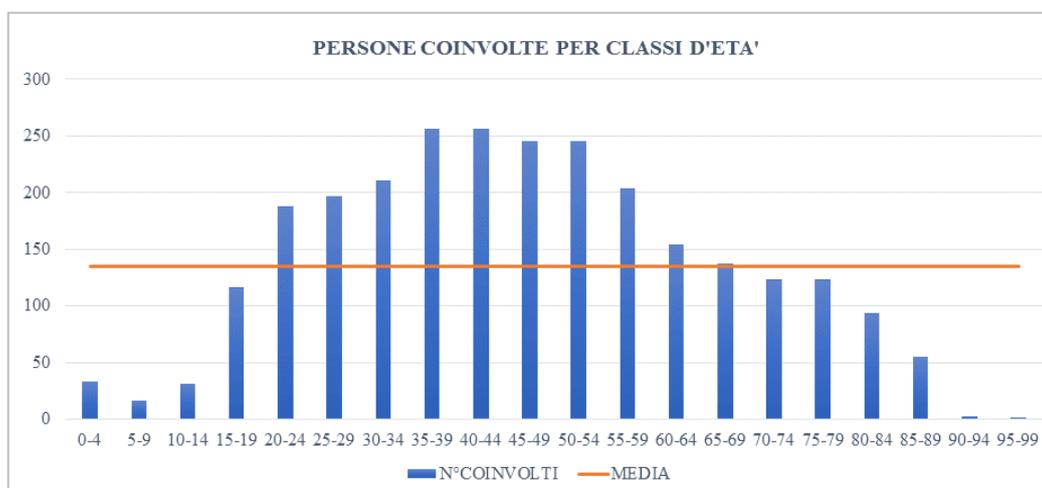


Figura 127: grafico del numero di incidenti ripartiti secondo le fasce d'età delle persone coinvolte.

Per la parte successiva, ossia i confronti tra i dati relativi alla città di Brugherio e quelli a differenti scale, si sono presi come riferimento i dati incidentali della Regione Lombardia, della provincia di Monza e della Brianza e anche di altri comuni italiani che, come Brugherio, avevano nel 2011 (data dell'ultimo censimento ufficiale) un numero di abitanti compreso tra i 32.000 e i 34.000.

I dati necessari per la trattazione devono essere in forma totalmente disaggregata quindi è necessario consultare i microdati forniti dall'ISTAT e relativi all'anno più recente, cioè il 2017.

Dal momento che i dati utilizzati sono quelli ISTAT, gli incidenti riportati sono solo quelli con lesioni a persone, quindi i confronti saranno fatti o con le medesime caratteristiche, relative all'anno 2017, oppure in percentuale (si considerano solo gli incidenti avvenuti in ambito urbano, corrispondenti ai codici 0, 1, 2, 3 della voce "Localizzazione dell'incidente" secondo il tracciato record ISTAT 2019).

Il primo grafico (figura 128) mostra che la città di Brugherio (linea grigia e colonna rossa), rispetto alle altre città simili per numero di abitanti, ha un numero di incidenti (con lesioni e riferiti all'anno 2017) superiore alla media (linea arancione del grafico). Bisogna, però, considerare le differenze tra le regioni italiane, infatti, se lo si confronta solo con le città della Regione Lombardia (identificate da una barra di colore verde) si nota un allineamento a questi comuni.

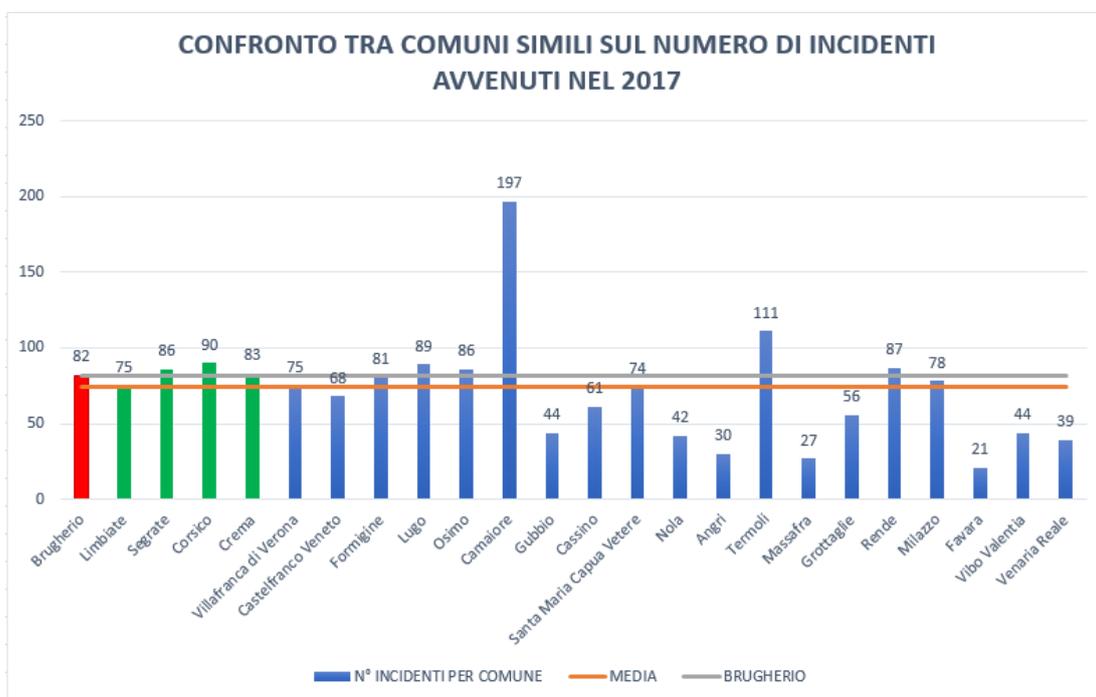


Figura 128: grafico del numero di incidenti con lesioni a persone dell'anno 2017 dei comuni italiani che, al 2011, contavano tra i 32.000 e i 34.000 abitanti.

Scendendo nel dettaglio, si può verificare l'andamento dell'incidentalità per i diversi ambiti considerati rispetto alla natura dell'incidente. Tra le principali anomalie del comune di Brugherio (valori più elevati degli scenari a più ampia scala, evidenziati in rosso nella tabella 49) troviamo gli scontri laterali, che può essere considerata la principale tipologia di incidente che avviene nelle rotonde, l'urto con veicolo in sosta, che è analizzato anche dagli scenari di base, e la caduta da veicolo.

NATURA	NAZIONALE: ITALIA (2017)	REGIONALE: LOMBARDIA (2017)	PROVINCIALE: MONZA E BRIANZA (2017)	BRUGHERIO (2009-2018)
FRONTALE	5,1%	4,3%	4,9%	4,5%
FRONTALE- LATERALE	36,2%	34,9%	40,2%	37,0%
LATERALE	12,5%	11,0%	9,3%	13,7%
TAMPONAMENTO	15,7%	16,8%	19,6%	18,7%
INVESTIMENTO DI PEDONE	14,3%	14,4%	13,6%	8,8%
URTO CON VEICOLO IN MOMENTANEA SOSTA	3,5%	4,9%	2,3%	3,8%
URTO CON VEICOLO IN SOSTA	1,8%	1,8%	1,4%	3,7%
URTO OSTACOLO ACCIDENTALE	3,7%	4,2%	3,0%	1,7%
URTO CON TRENO	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
FUORIUSCITA	5,0%	5,9%	2,1%	2,9%
FRENATA IMPROVVISA	0,6%	0,4%	0,3%	0,5%
CADUTA DA VEICOLO	1,7%	1,5%	3,1%	4,6%

Tabella 49: percentuali (sul totale degli incidenti avvenuti in ambito urbano) dei sinistri a differenti scale geografiche e divisi per natura dell'incidente.

Proseguendo nell'indagine dei principali attributi incidentali, si analizza l'indicatore definibile come strutturale (tabella 50), ossia il campo "intersezione o non intersezione"; i valori anomali in questo caso riguardano gli incroci e le rotatorie per i nodi e il rettilineo per gli archi.

	NAZIONALE: ITALIA (2017)	REGIONALE: LOMBARDIA (2017)	PROVINCIALE: MONZA E BRIANZA (2017)	BRUGHERIO (2009-2018)
INCROCIO	20,7%	15,0%	29,5%	33,4%
ROTATORIA	4,8%	6,2%	8,9%	10,6%
INTERSEZIONE SEGNALATA	11,6%	14,6%	8,9%	2,2%
SEMAFORO	7,8%	13,5%	6,4%	3,3%
INTERSEZIONE NON SEGNALATA	2,1%	1,4%	0,8%	0,9%
PASSAGGIO A LIVELLO	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
RETTILINEO	44,9%	42,7%	40,1%	47,3%
CURVA	6,6%	5,7%	4,0%	2,1%
DOSSO	0,3%	0,4%	0,4%	0,1%
PENDENZA	0,8%	0,4%	0,6%	0,0%
GALLERIA ILLUMINATA	0,2%	0,2%	0,3%	0,0%
GALLERIA NON ILLUMINATA	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Tabella 50: percentuali (sul numero di incidenti avvenuti in ambito urbano) dei sinistri a differenti scale geografiche divisi secondo i valori del campo "intersezione o non intersezione" del tracciato recor ISTAT 2019.

Con una più approfondita valutazione su questo parametro, però, si può notare che effettivamente tra gli incidenti che sono avvenuti in un incrocio o in una rotatoria si ottiene il 44% del totale o l'87% di quelli avvenuti in un nodo, mentre le altre categorie appartenenti alle "intersezioni" hanno dei valori molto più bassi degli altri contesti.

A questo proposito si possono presentare due casistiche:

- Che sia stato utilizzato il termine "incrocio" impropriamente per semplicità;
- Che le rotatorie rappresentino effettivamente dei punti critici (confermato anche dall'alto numero di incidenti laterali), fatto che sarà interessante verificare negli output del modello.

A questo punto si possono analizzare gli scenari di base, proposti nel capitolo 3, che riassumendo le principali tematiche sull'incidentalità stradale possono mostrare altre caratteristiche degli incidenti nel territorio di Brugherio.

La prima tabella (tabella 51) mostra i confronti, tra Brugherio e gli ambiti nazionali, regionali e provinciali, del numero di incidenti avvenuti per ogni scenario, tramite valori percentuali.

#	SCENARIO	NAZIONA LE: ITALIA (2017)	REGIONA LE: LOMBARD IA (2017)	PROVINCIALE : MONZA E BRIANZA (2017)	BRUGHERIO (2009-2018)
0	INCIDENTI IN TOTALE	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
1	SOLO UN VEICOLO	27,0%	28,1%	23,6%	16,7%
2	SOSTA	1,8%	1,8%	1,4%	3,7%
3	INVESTIMENTO DI PEDONE	14,3%	14,9%	13,6%	8,8%
4	VELOCIPEDI	11,8%	16,1%	19,9%	14,4%
5	VEICOLI A 2 RUOTE MOTORE	36,6%	33,1%	26,6%	25,5%
6	BAMBINI COINVOLTI	5,6%	5,2%	6,0%	5,0%
7	VELOCITÀ	11,9%	13,8%	14,7%	9,2%
8	REGOLE DI CIRCOLAZIONE	26,9%	27,0%	32,7%	26,4%
9	ORE NOTTURNE	-	-	-	-
10	FONDO STRADALE NON ASCIUTTO	12,2%	13,2%	10,1%	19,0%
11	CONDIZIONI CLIMATICHE AVVERSE	11,4%	10,8%	9,9%	28,0%

Tabella 51: percentuali (sul totale degli incidenti avvenuti in ambito urbano) dei sinistri a differenti scale divisi per gli scenari proposti nel capitolo 3.

Tra gli scenari in cui c'è un valore di percentuale superiore, rispetto ai confronti su tutte le altre scale, ci sono l'urto contro veicolo in sosta, gli incidenti avvenuti in condizioni meteorologiche non serene o con fondo stradale non asciutto.

Infine, sempre per gli scenari di base, e solo per Brugherio, senza confronti, vengono proposti i trend negli ultimi 5 e 10 anni (tabella 52), i trend rappresentano il coefficiente angolare della retta che interpola il grafico numero incidenti – anni. La motivazione per cui si esegue questa analisi è per dar seguito all'importanza data al criterio temporale nel modello descritto e utilizzato poi in questo caso di studio.

#	SCENARIO	COEFFICIENTE ANGOLARE RETTA DI INTERPOLAZIONE	COEFFICIENTE ANGOLARE RETTA DI INTERPOLAZIONE
		(5 ANNI)	(10 ANNI)
0	INCIDENTI IN TOTALE	-0,90	-3,68
1	SOLO UN VEICOLO	0,70	-0,28
2	SOSTA	0,10	-0,67
3	INVESTIMENTO DI PEDONE	1,80	0,42
4	VELOCIPEDI	-0,10	0,21
5	VEICOLI A 2 RUOTE MOTORE	-0,50	-1,78
6	BAMBINI COINVOLTI	0,30	0,13
7	VELOCITÀ	-0,40	0,09
8	REGOLE DI CIRCOLAZIONE	0,30	-0,02
9	ORE NOTTURNE	-	-
10	FONDO STRADALE NON ASCIUTTO	-2,30	-1,83
11	CONDIZIONI CLIMATICHE AVVERSE	-4,00	-1,87

Tabella 52: coefficiente angolare (m) della retta di regressione per ogni tipologia di scenario presentato nel capitolo 3 per gli incidenti avvenuti negli ultimi 5 o 10 anni a Brugherio.

In questo caso (tabella 52) si può definire che solo uno scenario mostra un andamento temporale in aumento tale da destare attenzione (segnato in rosso) ed è l'investimento di pedone, poiché esso ha un valore (di "m") superiore agli altri sia per gli ultimi 5 che 10 anni, confermando anche il dato sulle vittime.

Queste due tabelle (tabella 51 e 52) servono, inoltre, per capire quali saranno, tra gli scenari di base quelli più interessanti da analizzare. Si pone, infine, l'attenzione sullo scenario 9 per il quale non è stato possibile creare delle statistiche per l'esiguo numero di incidenti, a disposizione, avvenuti nella città di Brugherio.

5.4.2 ANALISI D'INCIDENTALITÀ TRAMITE LA FUNZIONE "BLACK-SPOT IDENTIFICATION AND CLASSIFICATION"

Prima di far girare il modello è necessario preparare l'ambiente di lavoro, quindi, bisogna caricare i seguenti layer, mostrati anche in figura 129:

- **NODI**, dove sono contenuti tutti i nodi della città di Brugherio (526) con i cinque campi fondamentali: "ID", "NOME", "LUNGHEZZA" (=1), "TGM" (=1) e "CODICE".
- **ARCHI**, dove sono contenute tutte le parti della rete comprese tra due nodi; in questo caso per semplificare la rete si è preferito non considerare gli archi di tipo "S" dato che non sono avvenuti incidenti proprio perché non adibiti alla pubblica circolazione dei veicoli. Si avranno in analisi 768 elementi rispetto al totale non filtrato di 1.030 archi.
- **INCIDENTI_NODO**, con tutti gli incidenti avvenuti nel territorio di Brugherio, filtrati considerando solo quelli con il campo "intersezione o non intersezione" uguale a 1, 2, 3, 4, 5 o 6 (avranno il campo "ID_ELEMENT" compilato con l'ID del nodo a cui è stato associato).
- **INCIDENTI_ARCO**, valgono le precedenti indicazioni solo che gli incidenti con il campo ID_ELEMENT compilato sono quelli con "intersezione o non intersezione" pari a 7, 8, 9, 10, 11 o 12.
- **TABELLA_STATISTICHE**, tabella con un solo elemento e una sola colonna con valore uguale a 18 (che si ricorda essere un tecnicismo usato per far funzionare correttamente il modello).
- Eventuale mappa web di base per una maggiore chiarezza del risultato.

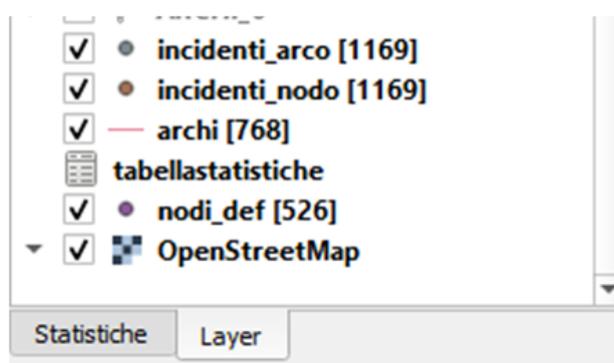


Figura 129: layer necessari per utilizzare la funzione "black-spot identification and classification".

Per la città di Brugherio, una volta lanciata la funzione "black-spot identification and classification" verranno eseguiti tutti gli algoritmi all'interno della funzione:

- la selezione degli incidenti in base allo scenario e agli elementi in analisi;
- determinazione degli elementi critici tramite il calcolo dei criteri numerico (probabilità), sulle lesioni (indice di gravità) e temporale (trend e ricorsività) e l'utilizzo delle soglie "base" (0.05 per la probabilità associata al criterio numerico, 174 per l'indice di gravità associato al criterio sulle lesioni, il trend

dello scenario in analisi e almeno un incidente in 2 degli ultimi 3 anni per il criterio temporale)

- calcolo dei punteggi associati ai tre indici (probabilità, indice di gravità e trend) e il calcolo dell'indice di pericolosità (con tutti i pesi degli indici uguali ad uno)
- calcolo delle classifiche per ogni indice e generale (associata indice di pericolosità).

Teoricamente si hanno in uscita 24 layer rappresentanti i 12 scenari di base, ciascuno diviso per gli archi e per i nodi. Non tutti i layer, però, hanno fornito dei risultati: infatti, lo scenario 9 (quello delle ore notturne) non ha restituito alcun black-spot poiché gli elementi con questa caratteristica sono solo 3. Lo stesso è successo per il layer NODI dello scenario 2 (sosta) dato che, anche qui, gli elementi a disposizione per l'analisi sono solo 3. Quindi, i layer analizzabili legati ai singoli scenari sono 21.

ANALISI DI UNO SCENARIO

A titolo di esempio si riporta l'output del layer archi e di quello dei nodi relativi allo scenario 0 (incidenti in totale) con un esempio di possibile lettura ed interpretazione dei dati. Gli altri output si possono consultare nell'appendice C.

In figura 130 e 131 si vedranno i black-spot della città di Brugherio con una scala di colori in funzione dell'indice di pericolosità (IP) e un'etichetta che rappresenta la posizione nella classifica (per la figura 130 per ottenere una più semplice lettura si è preferito mostrare solo le etichette per i primi 10 classificati), quindi, in rosso ci sono gli elementi con IP compreso tra 200 e 300 in arancione gli elementi con IP compreso tra 100 e 200 e in giallo quelli con IP compreso tra 0 e 100.

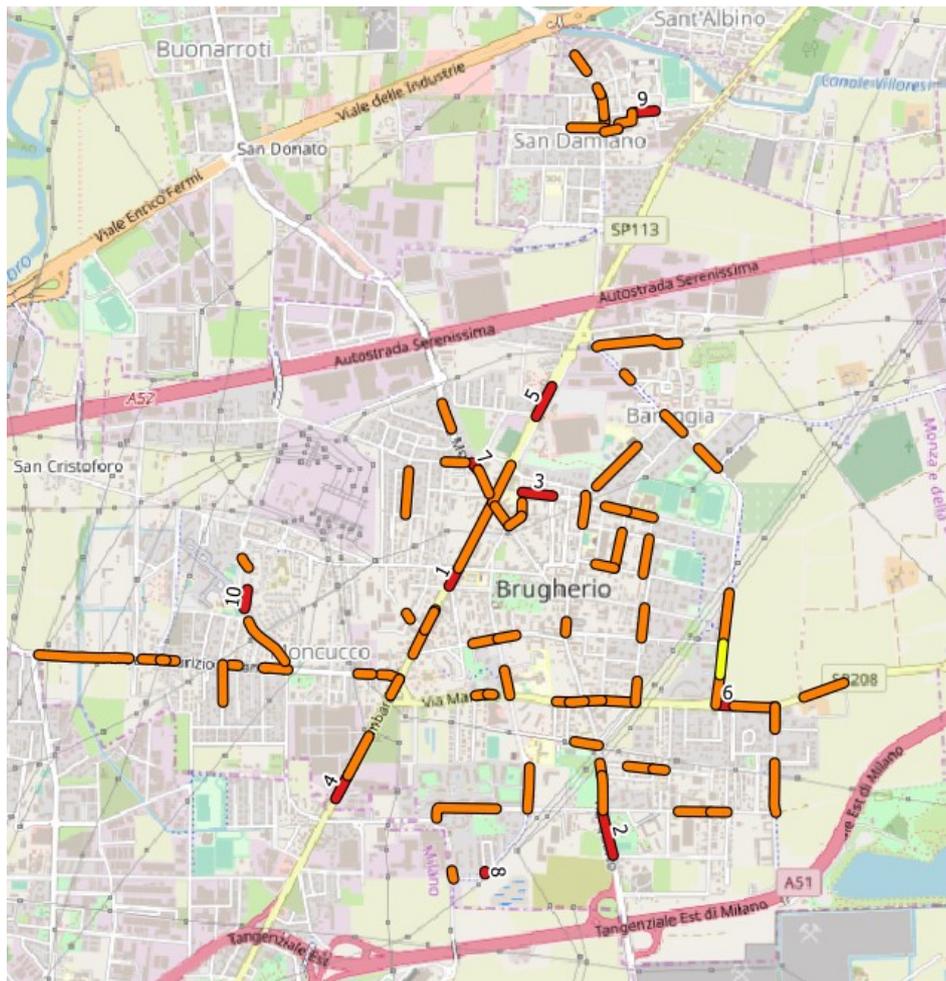


Figura 130: layer "black-spot classificati" per gli archi nello scenario 0.

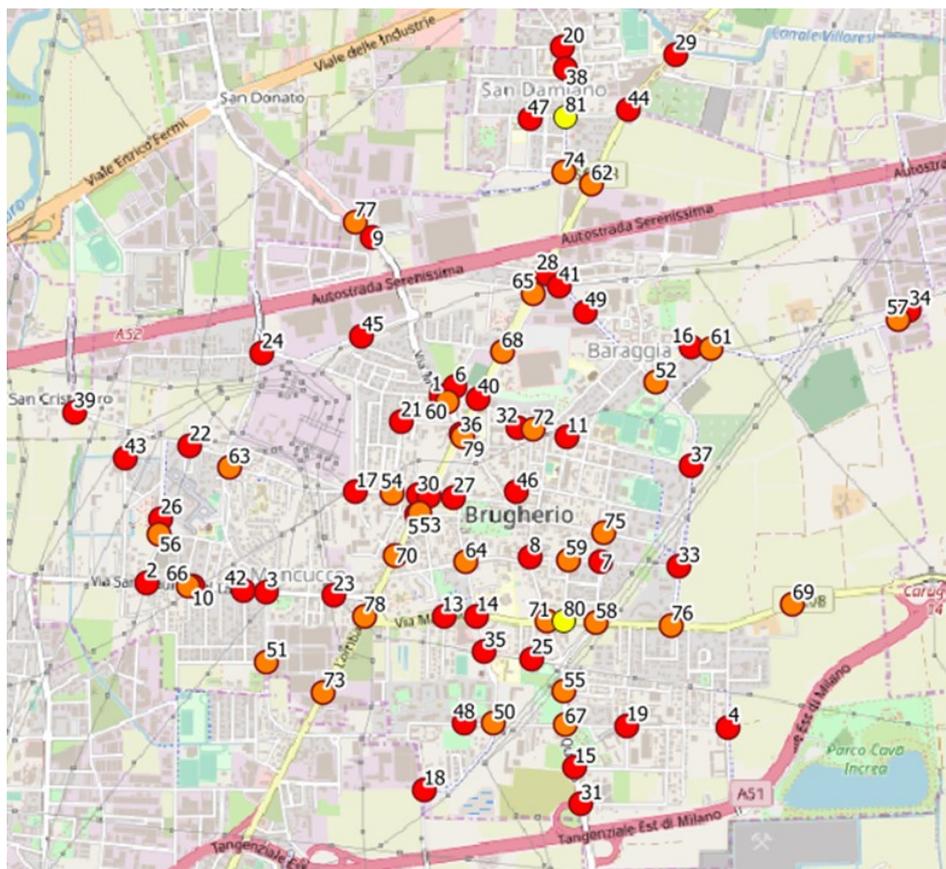


Figura 131: layer "black-spot classificati" per i nodi nello scenario 0.

Questo scenario si può etichettare come ad alta densità di incidenti, quindi gli output, come si può osservare dalle figure 130 e 131, evidenziano molti elementi critici (per la precisione 83 archi e 81 nodi). Una possibile strategia di analisi è quella di seguire la classificazione, evidenziata con il numero in etichetta ad ogni elemento, dopo aver filtrato i dati deselezionando gli elementi in giallo ed in arancione (figura 132) che rappresentano gli elementi con un punteggio finale (IP) minore di quelli rossi, quindi sono meno critici. Ovviamente, negli scenari con pochi black-spot è superfluo fare questa operazione poiché si riescono ad analizzare tutti insieme.

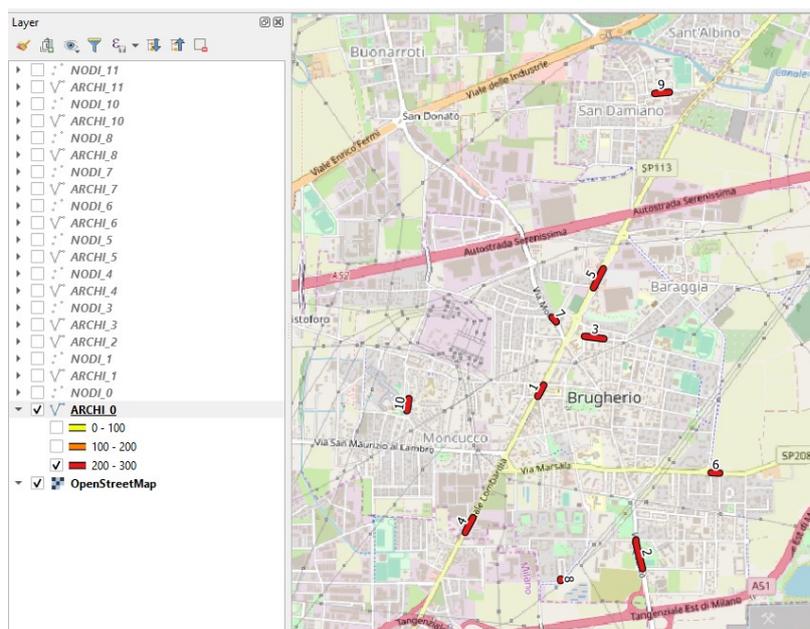


Figura 132: deselezione degli archi a bassa (colore giallo) e media (colore arancione) incidentalità.

A questo punto prima di interrogare i singoli elementi, è possibile analizzare la tabella delle statistiche. Dalla tabella del layer in analisi si vedono tre campi statistici, cioè il trend relativo a 5 anni e quello sui 10 anni (che rappresentano il coefficiente angolare della retta che interpola il grafico numero incidenti – anni in un periodo di 5 o 10 anni), entrambi in discesa per lo scenario 0, e il numero totale di elementi che fanno parte di questo scenario (come si può vedere in figura 133).

	valore	trend_5	trend_10	n_inc_sce
1	18	-0,9	-3,679	1169

Figura 133: dati disponibili aprendo la "tabella degli attributi" della tabella delle statistiche dello scenario 0.

Se si seleziona un singolo elemento con l'apposito comando, è possibile ottenere un'importante serie di informazioni su quell'arco o nodo, tra cui il numero di incidenti avvenuti in quell'elemento, le lesioni riportate, il trend, i punteggi e altri dati, così come riportato in figura 134.

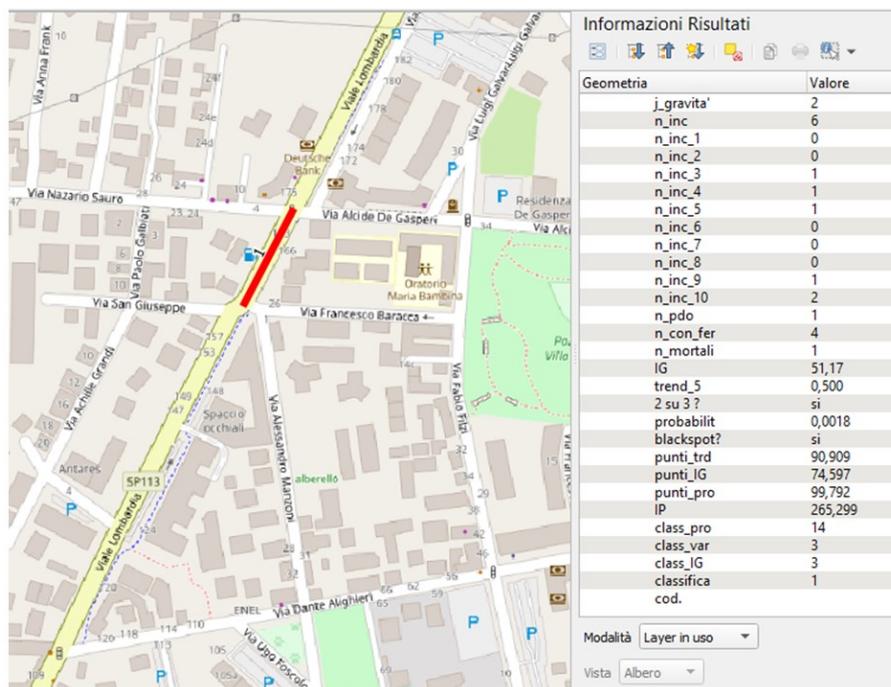


Figura 134: esempio di informazioni ricavabili da ogni elemento, in questa immagine il primo classificato per il layer archi nello scenario 0.

I principali risultati ottenuti sono i seguenti per il layer archi:

- Il 1° in classifica è il tratto di Viale Lombardia tra l'intersezione con Via Francesco Baracca e Via Alcide De Gasperi (ID: 867), dove sono avvenuti 6 incidenti di cui 1 con solo danni a cose, 4 con feriti e 1 mortale. Negli ultimi cinque anni sono avvenuti: 1 incidente nel 2017 e 2 nel 2018. Da questi dati appare evidente che esso è stato scelto come primo non tanto per il numero di incidenti (classifica criterio numerico 14) ma per l'incidente mortale e per il trend del fenomeno in crescita (anche se comunque nella classifica parziale sia IG che il trend sono 3°).
- Il 2° e il 3° in classifica sono rispettivamente Via Quarto tra Via Magellano e Via Dorderio (ID: 202) e Via Sciviero tra Via Antonio Gramsci e Via Monte Sabotino (ID: 338). Entrambi gli archi presentano 4 incidenti avvenuti, di cui 1 mortale, quindi a fare la differenza è il trend: infatti, negli ultimi cinque anni il secondo in classifica presenta 2 incidenti nel 2018 mentre il terzo 3 incidenti nel 2016.
- In 4° posizione troviamo il tratto di Viale Lombardia al confine con il territorio di Cologno Monzese (ID: 599), dove sono avvenuti 8 incidenti (ma nella classifica per il criterio numerico è 27°) nessuno mortale. La sua posizione è spiegata dal fatto che è primo in classifica per il criterio temporale, infatti negli ultimi cinque anni sono avvenuti 3 incidenti nel 2018, 1 nel 2017 e 1 nel 2015.
- Il tratto di Viale Lombardia che costeggia il Centro Commerciale Bennet (ID: 440) è in 5° posizione; sono avvenuti 33 incidenti e perciò è primo nella classifica del criterio numerico, di cui, relativamente agli ultimi cinque anni, 6 nel 2018, 2 nel 2017, 8 nel 2016 e 3 sia nel 2015 che nel 2014 (infatti è 2° nella

classifica temporale) ma 18 incidenti con feriti e 15 con solo danni a cose lo fanno scendere al 49° posto della classifica IG; perciò è solo in 5° posizione.

Da questo primo esempio di analisi e classificazione, è possibile vedere come, in base alle scelte dell'amministrazione comunale o del decisore e alle disponibilità economiche, si possono scegliere uno o più siti in cui intervenire, cioè si può cercare una soluzione per quegli archi dove sono avvenuti dei decessi, dove c'è un fenomeno in crescita o dove ci sono molti incidenti. Oppure si può agire dove c'è una bassa probabilità che avvenga quel numero di incidenti (1° in classifica per criterio numerico), per indagare su quali possono essere le cause e se ci possa essere un legame anche con l'infrastruttura.

Bisogna precisare, infatti, che nel caso degli archi dello scenario in esame, il primo per numero di incidenti coincide con il primo per probabilità di accadimento ma non avviene sempre così, come si vedrà per il caso dei nodi.

ANALISI SPAZIALI

È possibile inoltre fare altre analisi, come per esempio quelle spaziali, determinando dal punto di vista visivo se esistono particolari concentrazioni di eventi, come nel caso in cui siano evidenziati come punti critici più archi consecutivi, nodi raggruppati o aree con maggior numero di elementi critici.

Per realizzare questo tipo di analisi si sono visualizzati contemporaneamente il layer degli archi e quello dei nodi di uno stesso scenario. Come si può vedere anche dalla figura 135 e 136 nel caso della città di Brugherio le concentrazioni più interessanti sono quelle legate delle utenze deboli, soprattutto pedoni e ciclisti (che utilizzano dei percorsi specifici per muoversi), cioè aree pedonali, marciapiedi o piste ciclabili.

Il primo scenario che si considera è quello degli investimenti di pedone (numero 3) notando che la maggior parte dei black-spot è nella zona centrale di Brugherio (rettangolo blu di figura 135), cioè dove ci si muove prevalentemente a piedi, e in Via Monza (rettangolo blu di figura 135), che potrebbe essere una via soggetta a futuri accertamenti dato che vi è stato anche un decesso.

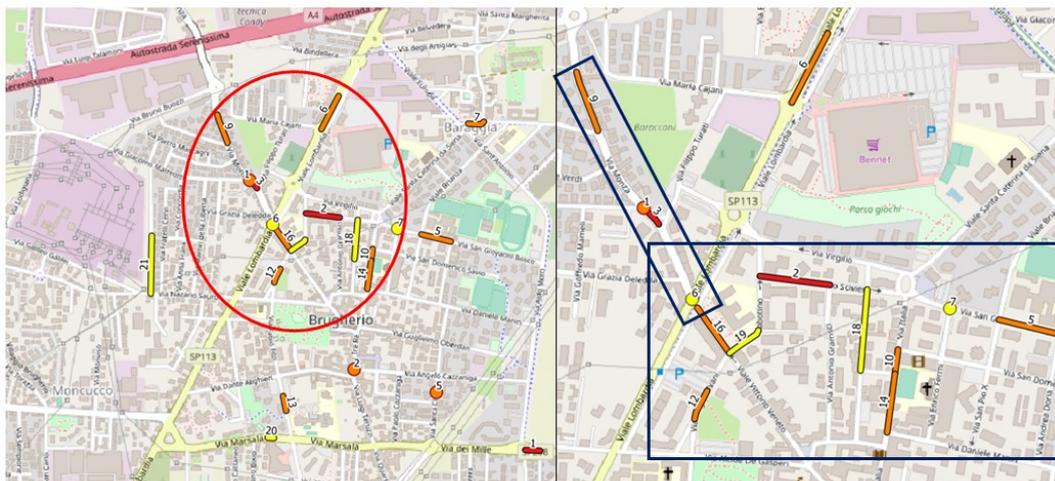


Figura 135: layer "black-spot classificati" per archi e nodi nello scenario 3 (a sinistra), ingrandimento dell'area segnata in rosso (a destra) con concentrazione di eventi.

Lo stesso discorso vale per la mobilità a due ruote senza motore, in questo caso si notano 3 punti densamente costituiti da black-spot (figura 136), partendo dall'alto:

- Via Monte Santo, Via Sant'Anna e il tratto di Viale della Vittoria (nella frazione di San Damiano), in questa zona, che è il centro di San Damiano ci sono vie molto strette, senza marciapiede ne piste ciclabili, quindi, potrebbe essere interessante capire se sia utile creare una zona 30 o un'area pedonale.
- Via Belvedere, Via degli Artigiani, il tratto di Viale Europa contenuto tra di esse e la rotatoria su Viale Lombardia, in viale Europa c'è la pista ciclabile che tramite la rotatoria (in figura 136 segnata col numero 4) si raccorda con quella principale che percorre viale Lombardia, quindi, ci si aspetta che sia un nodo molto utilizzato e in combinazione con i volumi di traffico di questa zona determinano un elevato numero di incidenti.
- Via Dorderio, soprattutto, per quanto riguarda le intersezioni, venendo da un punto di attrazione come il parco Incea attraverso la pista ciclabile la prima via che porta all'interno di Brugherio è proprio via Dorderio che, però, non è servita da nessuna pista ciclabile, in particolare la rotatoria (segnata col numero 11 in figura 136) presenta un numero elevato di sinistri.

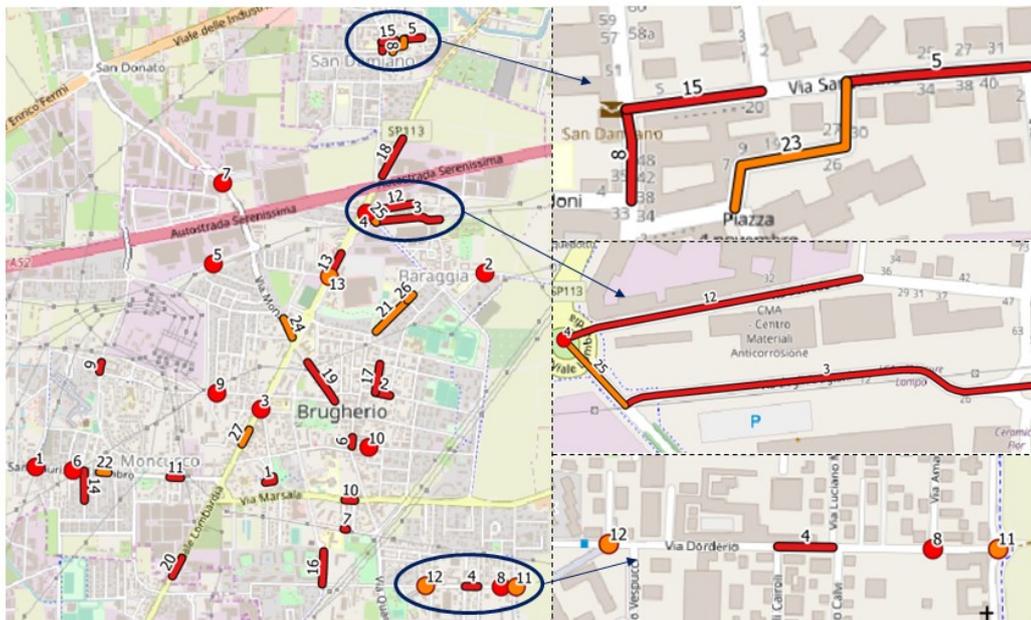


Figura 136: layer "black-spot classificati" per archi e nodi nello scenario 4 (a sinistra), ingrandimento delle selezioni in blu (a destra).

ANALISI CON INDICATORI STRUTTURALI

Infine, si possono eseguire anche ulteriori elaborazioni, come per esempio, creare un campo nel layer di interesse che verifichi la presenza o meno di uno o più elementi strutturali. A questo proposito si riportano alcuni esempi:

- Per lo scenario 2 (sosta), layer archi, si può verificare se, dove sono avvenuti degli incidenti, c'è un'area di sosta laterale regolata; in 4 occasioni su 14 black-spot non risulta consentita la sosta e, quindi, potrebbero essere necessarie ulteriori analisi per verificare la possibile abitudine scorretta di parcheggiare dove non consentito.
- Per lo scenario 3 (investimento di pedone), si può chiedere allo strumento creato di verificare la presenza o meno degli attraversamenti pedonali; in questo caso per gli archi in ben 21 punti neri su 22 gli investimenti non sono avvenuti su attraversamenti pedonali, indicando una possibile scorretta abitudine di attraversare dove non previsto o segnalato adeguatamente (inoltre in 3 di questi elementi non c'è il marciapiede, elemento che potrebbe indicare che il pedone non ha un suo spazio protetto).
- Infine, per lo scenario 4 (velocipedi) si può cercare la presenza della pista ciclabile. Nel layer archi, in 22 elementi senza pista ciclabile è avvenuto un incidente (totale 27 black-spot), indicando la probabile necessità di uno spazio protetto per questa categoria di utenti. La problematica è confermata anche dal layer dei nodi, dove in 13 black-spot su 13 non era presente del tutto o solo in parte la pista ciclabile.

5.5 CONCLUSIONI DEL CAPITOLO

Questo capitolo descrive un caso studio utile per testare il modello su una rete stradale reale e con dati di incidentalità reali.

Di seguito, per i tre elementi citati (rete stradale, dati sugli incidenti e modello), verranno riassunte le principali caratteristiche evidenziate dall'analisi di sicurezza della città di Brugherio.

RETE STRADALE E DATI OSM

La città di Brugherio, date le ridotte dimensioni, ha presentato alcune limitazioni relativamente al livello di "mappatura". I dati base per la costruzione della rete (archi e nodi) si sono dimostrati sufficienti per raggiungere lo scopo di testare il modello, ma non può essere fatto lo stesso discorso per il codice, infatti molti attributi necessari non risultavano ancora compilati del tutto o erano incompleti.

DATI SUGLI INCIDENTI ED ASSOCIAZIONE

Superate le difficoltà legate al reperimento dei dati sugli eventi incidentali, il principale problema è stato sulla qualità di ciò che si ha a disposizione. Infatti, da un lato molto spesso il tracciato ISTAT non è sufficiente a coprire la vastità dei casi che si possono presentare, oppure ci sono variabili che possono creare confusione (come per esempio il valore "incrocio" nel campo "intersezione o non intersezione", termine che non dovrebbe essere utilizzato dato che qualsiasi intersezione può essere rappresentata con le altre categorie più dettagliate), o ancora si hanno problematiche dovute all'interpretazione degli operatori. Tutto questo si riflette sulla buona riuscita dell'associazione, molti di questi problemi sarebbero risolti anche solo avendo a disposizione il dato GPS oppure, se non si fosse interessati ad ulteriori analisi oltre a quella aggregata, basterebbe sostituire il campo "localizzazione" (che attualmente contiene il nome della via e il numero civico o la doppia via) con l'ID dell'arco o del nodo di riferimento, così sarebbe l'operatore a fare "in diretta" l'associazione senza più doversi affidare a funzioni di prossimità, infatti, già nel dataset iniziale si avrebbe il campo con l'ID del nodo o dell'arco in cui è avvenuto l'incidente.

MODELLO E FUNZIONE "BLACK-SPOT IDENTIFICATION AND CLASSIFICATION"

Complessivamente il modello fornisce i risultati richiesti e attesi, cioè i punti critici della rete stradale in esame. Bisogna, però, ricordare che questi elementi messi in evidenza dallo strumento creato sono relativi, cioè sono gli elementi con maggiori criticità rispetto a quelli del territorio in esame. Per ottenere una panoramica generale del fenomeno e un confronto dei dati con quelli di aree diverse, sarà sicuramente necessario eseguire prima un'analisi di incidentalità classica per evidenziare se effettivamente ci sono delle problematiche nella città in esame.

Nel dettaglio si è visto che il criterio numerico molto spesso (in 14 layer su 21) è un filo diretto con il numero degli incidenti, cioè l'elemento primo in classifica in base a questo criterio è anche quello in cui sono avvenuti più incidenti; inoltre, così come ipotizzato durante la creazione del modello, si conferma il fatto che la lunghezza dei tratti influenza la probabilità di accadimento. Questa influenza è molto forte, infatti

può capitare che se gli archi sono molto corti, vengono segnalati come black-spot anche se è avvenuto un solo incidente; questo aspetto evidenzia un problema non tanto del criterio in sé ma della rete, nella quale non si dovrebbero considerare tratti di questo tipo. L'altro parametro che presenta una forte influenza è il numero degli elementi con lo stesso codice di quello in analisi. Infatti, più elementi ci sono e minore è il valore medio e, quindi, l'elemento in analisi presenta maggiore probabilità e anche se sono avvenuti pochi incidenti, il modello lo segnalerà come critico. Sempre per questo motivo le rotatorie, per esempio, sono difficilmente ai primi posti in questa classifica, dato che a Brugherio ci sono pochi elementi con queste caratteristiche.

Per quanto riguarda il criterio sulle lesioni, come anche evidenziato dall'analisi dello scenario 0, se viene registrato un evento mortale l'indice IG diventa un parametro molto forte, che porta sicuramente l'elemento in questione al primo posto nella classifica delle lesioni, ma anche in quella generale, come avviene in 7 layer su 9 in cui si registra una vittima.

Infine, il criterio temporale è un parametro che può essere collegato al numero di black-spot, infatti, se il trend dello scenario è in crescita, la forbice dei valori che possono essere superiori a questa soglia è minore rispetto ad avere uno scenario con un coefficiente angolare (m) negativo (per esempio se si ha un valore della soglia pari a -0,4 ci sono, superiori a questa soglia, tutti i valori positivi più i valori negativi compresi tra lo zero e -0,4, invece, con una soglia di +0,2 ci sono solo i valori positivi superiori a 0,2 ad essere considerati critici).

Si può riscontrare, almeno nelle analisi effettuate, che il criterio sulle lesioni ha il peso maggiore (in 11 layer su 21 il primo classificato per le lesioni è anche il 1° in classifica generale) seguito dal criterio temporale (8 layer su 21) e poi dal criterio numerico (2 layer su 21).

Come conclusione si vogliono presentare le seguenti immagini che mostrano, come ipotizzato nel capitolo 3, che la suddivisione degli incidenti in scenari è utile alla rilevazione di nuovi punti critici che nello scenario di base (scenario 0), data la numerosità del dataset, non risulterebbero come tali. Nella figura 137 si mostra il confronto tra alcuni layer degli scenari 2, 3 e 4 con lo scenario 0. I cerchi blu evidenziano i nuovi elementi critici per ogni scenario in tre diversi casi.



Figura 137: confronto tra layer di scenari differenti e lo scenario 0 per evidenziare nuovi elementi critici.

CAPITOLO 6: CONCLUSIONE

Il lavoro di tesi sviluppato e descritto si è prefissato come obiettivo generale la realizzazione di un modello di stampo teorico che, attraverso tre criteri distinti, analizzasse gli eventi incidentali assegnati ad una rete stradale. Le principali caratteristiche degli incidenti che sono state tenute in considerazione dai suddetti criteri riguardano il numero dei sinistri avvenuti in un elemento (tramite un indicatore che calcola la probabilità di accadimento di un numero di incidenti in un elemento della rete stradale con determinate caratteristiche funzionali e strutturali), la tipologia di lesioni riportate dai soggetti coinvolti (tramite un indice di gravità che assegna ad ogni tipo di incidente un peso) e la ripartizione dei sinistri negli anni (tramite il calcolo del trend e del numero di anni in cui è avvenuto almeno un incidente). In seguito, è stata definita una funzione, che utilizzando dei valori-soglia per ogni criterio, determinasse i black-spot del territorio, infine, tramite l'assegnazione di un punteggio ad ogni criterio, si è pensato di classificarli in ordine di pericolosità.

Tale obiettivo generale ha previsto l'identificazione di un set di obiettivi specifici tra cui la costruzione della rete stradale, in modo che ogni elemento sia identificato da un codice che separi poi nell'analisi elementi non confrontabili, un'analisi multicriterio, con riferimento anche all'andamento temporale del numero di incidenti, e una funzione che possa definire le priorità d'intervento.

L'elemento di partenza è costituito dall'analisi critica delle attuali procedure e tecniche di analisi aggregata di incidentalità e dall'identificazione degli aspetti potenzialmente migliorabili in termini di efficacia dei risultati ottenibili. In particolare, si è scelto di focalizzare l'attenzione sulle analisi svolte con l'uso del GIS e sull'importanza di supportare, con uno strumento analitico e dati reali, la definizione di gerarchie dei possibili interventi per l'incremento della sicurezza stradale. Elemento centrale del lavoro di tesi è stato lo sviluppo di un modello che potesse determinare i punti critici di una rete stradale, con elementi (archi e nodi) classificati dal punto di vista funzionale e strutturale, definendone anche un ranking che potesse orientare le priorità d'intervento. Il metodo, inizialmente proposto in termini teorici, è stato successivamente implementato in ambiente GIS open source, in modo da automatizzarlo in termini operativi, permettendo la restituzione di output di più immediata comprensione. Il risultato finale è costituito da uno strumento di supporto alle decisioni, denominato "black-spot identification and classification", fruibile dai diversi soggetti interessati allo sviluppo di analisi di sicurezza in ambiente GIS su un determinato territorio.

Nello sviluppo del modello teorico e dello strumento operativo è stato necessario affrontare problematiche connesse alla effettiva reperibilità e qualità dei dati. Tale questione risulta comune tanto per i dati relativi agli eventi incidentali che per quelli inerenti alla caratterizzazione della rete stradale. Il dato sui sinistri, in particolare, si è dimostrato problematico nell'interpretazione e spesso incompleto, soprattutto per quanto concerne la localizzazione degli eventi, elemento fondamentale per l'analisi di sicurezza. Relativamente ai dati utilizzati per la definizione della rete di base da analizzare, si è scelto di fare ricorso ai dati OpenStreetMap, una piattaforma aperta in

cui gli utenti forniscono un contributo diretto all'aumento della mappatura del territorio. La scelta di utilizzo di dati di tipo "open" favorisce le caratteristiche di replicabilità di modello e strumento. Per quanto riguarda i campi necessari alla realizzazione della rete nel caso studio, i dati si sono rilevati mediamente completi per i campi di interesse.

Questa disponibilità ridotta dei dati, con particolare riferimento alle coordinate degli incidenti, ha parzialmente inficiato l'attività di associazione degli eventi alla rete stradale. Infatti, l'impossibilità di basarsi unicamente sul dato geolocalizzato non ha permesso il raggiungimento della totale automazione dello strumento, che per questa parte del modello ha richiesto un intervento manuale.

La rete stradale è stata realizzata suddividendo gli elementi in due macro-categorie, rappresentate da archi e nodi; ciascun elemento di queste due categorie, oltre ad essere identificato univocamente (per la fase di associazione) tramite l'ID, è stato caratterizzato anche da un codice alfanumerico che ne definisce le caratteristiche funzionali e geometriche. L'utilizzo di questo codice è stato fondamentale per poter analizzare elementi simili tra loro. Infatti, per confrontare il numero di incidenti avvenuti tra differenti elementi, è utile avere un attributo che li identifichi come con le stesse probabilità di accadimento dei sinistri.

L'analisi della rete ha previsto due fasi principali: la determinazione dei criteri e la creazione di una funzione per determinare i black-spot.

Per evidenziare i punti neri sulla rete stradale sono stati utilizzati tre criteri che analizzano separatamente, cioè tramite indicatori e soglie differenti, gli eventi incidentali. Il criterio numerico si basa sulla probabilità di accadimento degli incidenti in base alle caratteristiche degli elementi della rete; il criterio sulle lesioni è stato sviluppato in modo da considerare le sole conseguenze riportate dai soggetti coinvolti, senza tenere conto del numero di eventi registrati; il criterio temporale consente di analizzare la serie storica di eventi, individuando il trend negli ultimi cinque anni di ogni elemento e la sua ricorsività negli ultimi tre anni.

Il punto nero è definito, in base alla funzione utilizzata, come un arco o un nodo che presenta oltre soglia almeno uno dei tre valori relativi ai criteri sopra descritti.

Successivamente si è proposta una classificazione in base alla quale è stato associato ad ogni indicatore, ad eccezione della ricorsività, un punteggio in una scala normalizzata da zero a cento; sommando tra loro i valori ottenuti si è ricavato un indice di pericolosità, utilizzato per la suddetta classifica degli elementi. Questa classificazione ha come scopo principale quello di definire un ordinamento di priorità per la messa in sicurezza delle aree critiche della rete in esame. Si vuole specificare che, per ottemperare all'obiettivo di flessibilità del modello, ad ogni punteggio, legato ad uno dei tre criteri, viene associato un coefficiente, o peso, gestibile dal decisore per definire il grado di importanza da assegnare ad ognuno degli aspetti (numerico, lesivo, temporale) considerati.

Si è infine proceduto a testare il sistema di supporto alle decisioni realizzato su un caso reale, costituito dalla rete stradale di Brugherio, considerando gli incidenti avvenuti nella sua area comunale dal 2009 al 2018. Per tutti gli scenari incidentali, sviluppati

nella fase modellistica e valutati in questa fase finale di test, si sono ottenuti risultati grazie ai quali si è potuta verificare l'importanza di alcuni aspetti del modello, tra cui l'analisi separata di archi e nodi e il lavoro complementare tra i criteri sviluppati. La sola criticità riscontrata risulta relativa allo scenario "ore notturne" per assenza di un numero sufficiente di incidenti. La fase di test conclusiva e gli output ottenuti consentono di confermare il perseguimento dell'obiettivo generale prefissato. Anche lo strumento operativo sviluppato ha mostrato positive caratteristiche in termini di velocità di esecuzione e visualizzazione dei risultati e al tempo stesso possibili aperture a nuove funzionalità e sviluppi di particolare interesse.

Tra le caratteristiche del modello che hanno evidenziato alcune criticità è possibile annoverare la notevole rilevanza, e quindi eccessiva influenza, della lunghezza geometrica degli archi e del codice assegnato ad ogni elemento per il criterio numerico. In alcuni casi, infatti, si è potuto notare che elementi con pochi incidenti avevano un punteggio elevato perché molto corti, oppure elementi con codici non molto comuni nella rete (cioè con pochi elementi simili a disposizione per il confronto) non venivano messi in evidenza nonostante presentassero un numero elevato di incidenti. Queste problematiche possono comunque essere risolte adottando opportune accortezze come: controllare che nella rete ci siano tratti di lunghezza non troppo ridotta o in generale un'eccessiva disparità tra le lunghezze degli archi, per il primo caso, e che ci siano codici con un sufficiente numero di elementi simili, nel secondo (per esempio, riducendo gli attributi a disposizione per caratterizzare gli elementi).

Inoltre, si è registrato che il criterio relativo alle lesioni ha un'influenza particolarmente significativa sulla classificazione finale, soprattutto in presenza di incidenti mortali; questo è dovuto probabilmente ai coefficienti utilizzati che, in modo corretto rispetto al criterio, conferiscono un peso maggiore agli incidenti con lesioni mortali. Se si volesse contenere l'importanza di questo parametro, si potrebbe agire sul coefficiente dell'intero indicatore (nella formulazione per il calcolo dell'indice di pericolosità), riducendo il peso relativo al criterio sulle lesioni, oppure solo su quello degli incidenti mortali (cioè abbassando il coefficiente relativo a questo parametro nell'espressione dell'indice di pericolosità).

SVILUPPI FUTURI

Gli affinamenti proposti per ovviare ad alcune problematiche evidenziate, costituiscono un possibile immediato sviluppo del metodo e dello strumento predisposti. Per esempio, per migliorare il codice utilizzato, al fine di avere un maggior numero di elementi con lo stesso codice, si potrebbe effettuare un'analisi mirata ad evidenziare quali sono le caratteristiche geometriche e funzionali più rilevanti, dal punto di vista incidentale, per la rete stradale. Filtrando gli attributi e mantenendo solo quelli particolarmente importanti, si ridurrebbe il numero dei codici, aumentando la numerosità degli elementi simili.

Anche le ulteriori analisi presentate nel capitolo 5, come l'identificazione di significative aggregazioni di black-spot o eventuali valutazioni sulla presenza o assenza di alcuni elementi strutturali (come marciapiedi, piste ciclabili o attraversamenti pedonali) possono essere considerate come sviluppi del modello. A questo proposito, si potrebbero implementare delle funzioni che, in seguito

all'ottenimento dei risultati descritti relativamente ai punti incidentali, individuino in modo automatico le zone a maggiore densità di questi punti critici. Parallelamente, potrebbe essere utile anche avere uno strumento aggiuntivo che sovrapponga all'output dei black-spot gli elementi infrastrutturali più interessanti per lo scenario in esame, come per esempio: la posizione delle fasce di sosta laterale per lo scenario 2 ("sosta"), la posizione degli attraversamenti pedonali per lo scenario 3 ("investimenti di pedoni") o la posizione delle piste ciclabili per lo scenario 4 ("velocipedi").

Sempre con l'obiettivo di fornire più dati possibili, per prendere decisioni in merito agli interventi per la messa in sicurezza dei punti critici di un territorio, potrebbe essere utile avere uno strumento che sostituisca l'analisi di incidentalità preliminare, così come descritta nel paragrafo 5.4.1, e mostri in forma "user-friendly" delle statistiche relative a tutti gli scenari, in modo da individuare quelli più interessanti, oppure che evidenzino tutte le criticità in termini di trend o di percentuali confrontate con quelle nazionali o regionali.

In conclusione, si vuole portare l'attenzione sull'utilizzo del software GIS opensource QGIS, che nello sviluppo del lavoro è stato adoperato come base per l'analisi dei dati. Infatti, grazie alle sue potenzialità, potrebbe ricoprire anche il ruolo di gestore o immagazzinatore degli stessi dati per conto degli organi rilevatori. Sviluppando un layer ad hoc, cioè con i campi ISTAT necessari alla rilevazione, ogni nuovo incidente potrebbe essere direttamente inserito nel software senza una preelaborazione su foglio di calcolo esterno e con la possibilità di indicare la posizione esatta del sinistro sulla mappa, georeferenziandolo. Inoltre, per un lavoro ancora più accurato, si potrebbe prendere in considerazione anche l'applicazione "QField", disponibile per smartphone, la quale legge i progetti con estensione ".qgs" (quelli di QGIS) e permette l'aggiunta di nuovi elementi utilizzando la posizione del dispositivo. Grazie a strumenti di questo tipo, gli organi rilevatori potrebbero ottenere le coordinate satellitari degli incidenti in modo semplice e diretto, premendo un tasto ed eventualmente compilando in un secondo momento i campi dettagliati relativi all'evento.

BIBLIOGRAFIA

1. WHO World Health Organization. *Global status report on road safety 2018*. 2018.
2. *2018 road safety statistics: what is behind the figures?*. 2019.
https://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-19-1990_en.htm. [ultima consultazione 13 Agosto 2019].
3. COMMISSIONE EUROPEA. *Verso uno spazio europeo della sicurezza stradale: orientamenti 2011-2020 per la sicurezza stradale*. 2010.
4. ISTAT. *Rapporto sugli incidenti stradali con lesioni a persone avvenuti in Italia nel 2018*. 2019. https://www.istat.it/it/files//2019/07/Incidenti_stradali_2018.pdf. [ultima consultazione 25 Agosto 2019].
5. Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti. *PNSS (Piano Nazionale Sicurezza Stradale) ORIZZONTE 2020*. 2014.
6. ISTAT. *Rapporto sugli incidenti stradali con lesioni a persone avvenuti in Italia nel 2017*. 2018. https://www.istat.it/it/files//2018/07/Incidenti-stradali_2017.pdf. [ultima consultazione 25 Agosto 2019].
7. Dell'acqua G, De Luca M, Mauro R. *Road Safety Knowledge- Based Decision Support System. Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 2011; pag. 973-983.
8. Paris G. *Cosa è un "incidente stradale" ed esiste una sua definizione normativa?*.
9. *Struttura e invecchiamento della popolazione*. 2018.
https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Population_structure_and_ageing/it. [ultima consultazione 13 Agosto 2019].
10. *Road safety 2017, How is your country doing?*. 2018.
11. Spilla R. *Tecniche numeriche di studio della sicurezza stradale: il caso della provincia di bologna*. 2009. Università degli studi di Bologna.
12. Desantis S, Giuli G, Focarelli D. *ANIA Trends focus RC Auto - Dati al 31 Dicembre 2018*. 2019.
13. ISTAT. *Statistiche sulla incidentalità nei trasporti stradali, anche con riferimento alla tipologia di strada - edizione 2018, sottogruppo di lavoro 8 A): "Geolocalizzazione incidenti stradali"*. 2018.

14. ISTAT. *Statistiche sulla incidentalità nei trasporti stradali, anche con riferimento alla tipologia di strada - edizione 2018, sottogruppo di lavoro 8 B) "Geolocalizzazione incidenti in ambito urbano"*. 2018.
15. Giunta M, Santacaterina G. *Road safety review ed analisi di incidentalità: metodologie integrate per la verifica delle condizioni di sicurezza di una strada extraurbana*. 2006. *Strade&Autostrade*. pag. 2-10.
16. Imbriani LL. *Metodi quantitativi per la gestione della sicurezza stradale*. 2015. Università degli studi di Napoli Federico II.
17. ISPETTORATO GENERALE PER LA CIRCOLAZIONE E LA SICUREZZA STRADALE. *Linee guida per la redazione dei piani urbani della sicurezza stradale*. 2001.
18. Marella A. *Le analisi di sicurezza, le analisi di incidentalità e di prevenzione*. 2008. in *CAMPER*. pag. 78-74.
19. IRTECO. *Studio di viabilità specifico per gli aspetti commerciali a supporto della variante n. 1 al piano di governo del territorio valutazione degli impatti da traffico allegato - Analisi incidentalità*. 2013.
20. Leonardi Salvatore. *Strumenti per la gestione della sicurezza stradale: procedure tradizionali e nuovi orientamenti*. 2009. Progetto Sicurezza n. 5/6. pag. 28-34.
21. Elvik Rune. *State-of-the-art approaches to road accident black spot management and safety analysis of road networks*. 2007.
22. Zegeer Charles V, Deen Robert C. *Identification of Hazardous Rural Highway Locations. Kentucky*. 1972.
23. Università degli Studi di Napoli "Federico II" - Dipartimento di Ingegneria dei Trasporti, Università degli Studi di Messina - Dipartimento di Costruzioni e Tecnologie Avanzate. *Definizione dei principali temi di ricerca per il miglioramento della sicurezza delle infrastrutture nel breve, medio e lungo periodo. scheda 21, criteri di individuazione e di classificazione dei punti neri e tratti critici mediante analisi dell'incidentalità in ambito extraurbano*. 2000.
24. Consiglio Nazionale delle Ricerche. *Criteri per la classificazione della rete delle strade esistenti ai sensi dell'art. 13, comma 4 e 5 del nuovo codice della strada; d.p. cnr n. 13465 del 11/09/1995*. 1998.
25. Tira Maurizio, Brenac Thierry. *Scenari d'incidente stradale e cartografia della gestione urbana*. 1999. *Trasporti Europei*. pag. 7-18.
26. Capaldo Francesco Saverio. *Sicurezza stradale urbana: definizione di scenari di incidente ad elevata sinistrosità*. 2003.

27. AASHTO. *Highway Safety Manual (HSM)*. 2010.
28. Unione Europea. *Direttiva 2008/96/ce del parlamento europeo e del consiglio del 19 novembre 2008 sulla gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali*. 2008.
29. Ceriani A. *Modelli per l'analisi dell'incidentalità stradale in ambito urbano con particolare riferimento all'utenza vulnerabile della strada*. 2012.
30. Giuffrè O, Cafiso D. *Parte viii – sicurezza stradale*. 2010.
31. Praticò F.G., Giunta M. *Le analisi di sicurezza nella ottimizzazione delle reti stradali in aree extraurbane e sub-urbane. 17° convegno nazionale siiv - Enna (Italy) - 2008*. 2015.
32. Elvik R. *The predictive validity of empirical Bayes estimates of road safety. Accident Analysis and Prevention*. 2008.
33. *Geographic information system*.
https://it.wikipedia.org/w/index.php?title=Geographic_information_system&oldid=106184337. [ultima consultazione 5 Agosto 2019]
34. *GIS nell'Enciclopedia Treccani*. <http://www.treccani.it/enciclopedia/gis>. [ultima consultazione 5 Agosto 2019]
35. *GIS: cos'è e a cosa serve*. <https://www.infobuild.it/approfondimenti/gis-cose-e-a-cosa-serve/>. [ultima consultazione 5 Agosto 2019]
36. Rossetti Leonardo. *Analisi spaziale degli incidenti stradali che coinvolgono utenti vulnerabili. Applicazioni al caso studio di Torino*. Politecnico di Torino; 2018.
37. Steenberghen T, Aerts K, Thomas I. *Spatial clustering of events on a network*. J Transp Geogr. 2010. pag. 411-418.
38. Mohaymany AS, Shahri M, Mirbagheri B. *GIS- based method for detecting high-crash- risk road segments using network kernel density estimation*. Geo-spatial Information Science. 2013. pag. 113-119.
39. Yu H, Liu P, Chen J, Wang H. *Comparative analysis of the spatial analysis methods for hotspot identification*. Accident Analysis and Prevention. 2014.
40. Guarracino M. *Sistemi di supporto alle decisioni - dispense del corso "Laboratorio di Sistemi Informativi Aziendali a.a. 2006/2007"*.
41. Chen H. *Black Spot Determination of Traffic Accident Locations and Its Spatial Association Characteristic Analysis Based on GIS*. Journal of Geographic Information System. 2012. pag. 608-617.

42. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. *Decreto Ministeriale 5 novembre 2001, n. 6792 (S.O. n.5 alla G.U. n.3. del 4.1.02) "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade"*. 2001.
43. Immagine: *il futuro è più luminoso con le strade in calcestruzzo*.
<https://www.inconcreto.net/4816-il-futuro-e-piu-luminoso-con-le-strade-in-calcestruzzo>. [ultima consultazione 2 Agosto 2019]
44. Reis A. Immagine: *strada sterrata*.
<http://www.agenciaminas.mg.gov.br/admin/fotos/02092008010926Imagem%20024.jpg>, CC BY 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5636384>. [ultima consultazione 2 Agosto 2019].
45. Arbalete. Immagine: *corsia preferenziale*. CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=17226015>. [ultima consultazione 2 Agosto 2019].
46. ACI Automobile Club d'Italia. *Linee guida per la progettazione degli attraversamenti pedonali*. 2011.
47. Borchì A. *Quanto è preciso un GPS? eccolo spiegato*. 2018.
48. Huang L. *Analyzing traffic accidents in space and time*.
49. Marco B. *Calcolo delle probabilità e statistica: teoria ed esercizi / Marco Bramanti*. Progetto Leonardo. 1997.
50. Commissione Europea. *Road Safety in the European Union – Trends, statistics and main challenges*. 2018.
51. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. *Studio di valutazione dei Costi Sociali dell'incidentalità stradale*. 2010.
52. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. *Costi sociali dell'incidentalità stradale*. 2017.
53. Ing. Paolo Gandini. *slide del corso di "circolazione e sicurezza stradale"*, Politecnico di Milano. 2017.
54. Professor De Santis. *"LE SERIE STORICHE"* dispense dell'università la Sapienza di Roma.
55. Prof. Laura Teresa Giuseppina Scesi. *slide del corso "geologia tecnica"* del Politecnico di Milano a.a. 2017/2018.
56. QGIS. <https://it.wikipedia.org/w/index.php?title=QGIS&oldid=104617385>. [ultima consultazione 24 Agosto 2019].

57. *Cos'è il GIS: Definizione, Come funziona, Utilizzo, Corso Qgis.*
<https://www.pedago.it/blog/gis-come-funziona-definizione-uso-software-qgis.htm>.
[ultima consultazione 24 Agosto 2019].
58. *Map Feature - OpenStreetMap Wiki.*
https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Map_Features. [ultima consultazione 24 Agosto 2019].
59. *Google Documenti.*
https://it.wikipedia.org/w/index.php?title=Google_Documenti&oldid=105795898.
[ultima consultazione 1 Settembre 2019].
60. *Fogli Google: crea e modifica fogli di lavoro online gratuitamente.*
<https://www.google.com/sheets/about/>. [ultima consultazione 1 Settembre 2019].
61. *GPS Visualizer's Easy Batch Geocoder: Convert addresses to coordinates.*
Available from: <https://www.gpsvisualizer.com/geocoder/>. [ultima consultazione 1 Settembre 2019].
62. *Approssimazione di Stirling.*
https://it.wikipedia.org/w/index.php?title=Approssimazione_di_Stirling&oldid=101768732. [ultima consultazione 21 Agosto 2019].
63. *Regressione lineare e metodo dei minimi quadrati.*
<http://www.edutecnica.it/calcolo/reg/reg.htm>. [ultima consultazione 21 Agosto 2019].
64. *Modellatore grafico.*
https://docs.qgis.org/2.14/it/docs/user_manual/processing/modeler.html. [ultima consultazione 1 Settembre 2019].
65. *La città di Brugherio.* <http://www.comune.brugherio.mb.it/citt/la-citt/la-citta/>.
[ultima consultazione 25 Agosto 2019].

APPENDICI

APPENDICE A

Prima si presenta la scheda di “rilevazione degli incidenti stradali con lesioni persone” del 2019 di ISTAT che dovrebbe essere la base italiana:



RILEVAZIONE IST-00142



ISTITUTO NAZIONALE DI STATISTICA

ISTAT CTT/INC - Edizione 2019

RILEVAZIONE DEGLI INCIDENTI STRADALI CON LESIONI A PERSONE

DATA E LOCALITÀ DELL'INCIDENTE		ORGANO DI RILEVAZIONE		ORGANO COORDINATORE	
ANNO	MESE	1	Agente di Polizia Stradale	1	Sezione Polizia Stradale
ORA	MINUTI	2	Carabiniere	2	Gruppo Carabiniere
PROVINCIA*	GIORNO	Identificativo del Comando Staz. dei Carabiniere		Uff. Comunale di Statistica dei Capoluoghi di Provincia:	
COMUNE*		3	Agente di Pubblica Sicurezza	3	Comune con oltre 250.000 abitanti
		4	Agente di Polizia Municipale o Locale	4	Altro capoluogo di Provincia
		5	Altri	5	
		6	Agente di Polizia Provinciale	6	

*L'elenco codici è disponibile sul sito www.istat.it (Strumenti/Definizioni e Classificatori).

1. Localizzazione dell'incidente		TRONCO DI STRADA O AUTOSTRADA	
(Specificare la denominazione della strada, numero, eventuale n° civico in forma chiara e leggibile)			
NELL'ABITATO			
1 Strada urbana		diramazione; dir. A 1	
2 Provinciale entro l'abitato	SP N*	dir. B; radd. 2	
3 Statale entro l'abitato	SS N*	bis; dir. C 3	
4 Regionale entro l'abitato	SR N*	ter; bis dir. 4	
FUORI ABITATO		quater; racc.; bis racc. 5	
4 Comunale extraurbana		Autostrada carreggiata sinistra 6	
5 Provinciale	SP N*	Autostrada carreggiata destra 7	
6 Statale	SS N*	Autostrada svincolo entrata 8	
7 Autostrada	N*	Autostrada svincolo uscita 9	
8 Altra strada		Autostrada svincolo tronco d.c. 10	
9 Regionale	SR N*	Autostrada stazione 11	
Indicare il codice Istat corrispondente ai raccordi autostradali e alle tangenziali, disponibile nella seconda pagina di copertina del presente blocco.		Altri casi 12	
Progressiva chilometrica (indicare chilometri e metri)			

2. Luogo dell'incidente	
TIPO DI STRADA	PAVIMENTAZIONE
Una carr. senso unico 1	1 Strada pavimentata
Una carr. doppio senso 2	2 Strada pavimentata dissestata
Due carreggiate 3	3 Strada non pavimentata
Più di 2 carreggiate 4	
INTERSEZIONE	NON INTERSEZIONE
1 Incrocio	1 Rettilinea
2 Rotatoria	2 Curva
3 Intersezione segnalata	3 Dossò, strettola
4 Intersezione con semaforo o vigile	4 Pendenza
5 Intersezione non segnalata	5 Gall. illuminata
6 Passaggio a livello	6 Gall. non illuminata
FONDO STRADALE	SEGNALETICA
1 Asciutto	1 Assente
2 Bagnato	2 Verticale
3 Sbruciolabile	3 Orizzontale
4 Ghiacciato	4 Verticale e orizzontale
5 Innevato	5 Temporanea di cantiere
CONDIZIONI METEOROLOGICHE	
1 Sereno	
2 Nebbia	
3 Pioggia	
4 Grandine	
5 Neve	
6 Vento forte	
7 Altro	

3. Natura dell'incidente		4. Tipo di veicoli coinvolti		
A) TRA VEICOLI IN MARCIA		VEICOLO:		
1 Scontro frontale		A	B	C
2 Scontro frontale-laterale		1	1	1
3 Scontro laterale		2	2	2
4 Tamponamento		3	3	3
B) TRA VEICOLO E PEDONI		4	4	4
5 Investimento di pedoni		5	5	5
C) VEICOLO IN MARCIA CHE URTA VEICOLO FERMO O ALTRO		6	6	6
6 Urto con veicolo in fermata o in arresto		7	7	7
7 Urto con veicolo in sosta		8	8	8
8 Urto con ostacolo		9	9	9
9 Urto con treno		10	10	10
D) VEICOLO IN MARCIA SENZA URTO		11	11	11
10 Fuoriuscita (sbandamento...)		12	12	12
11 Infortunio per frenata improvvisa		13	13	13
12 Infortunio per caduta da veicolo		14	14	14
		15	15	15
		16	16	16
		17	17	17
		18	18	18
		19	19	19
		20	20	20
		21	21	21

5. Circostanze presunte dell'incidente		
Per inconvenienti di circolazione	Per difetti o avarie del veicolo	Per stato psico-fisico del conducente
Veicolo A		
Veicolo B, Pedone od ostacolo		
Indicare il codice Istat corrispondente alla circostanza presunta di incidente, disponibile nella seconda pagina di copertina del presente blocco		
CILINDRATA cc		
Veic. A	Veic. B	Veic. C
PESO TOTALE A PIENO CARICO Q. II (SOLO VEICOLI TRASPORTO MERCI)		
Veic. A	Veic. B	Veic. C

6. Veicoli coinvolti	
Targa se veicolo nazionale	Segla se veicolo estero
Veicolo A	
Veicolo B	
Veicolo C	
ANNO DI PRIMA IMMATICOLAZIONE (ultime due cifre)	
Veicolo A	
Veicolo B	
Veicolo C	

7. Conseguenze dell'incidente alle persone														
CONDUCENTI COINVOLTI					PASSEGGERI INFORTUNATI ESCLUSO IL CONDUCENTE									
V E I C O L O	Età conducente		Patente ciclomotori		Anno di rilascio della patente (ultime due cifre)		Morti		Età		Sesso			
	Sesso		Patente Tipo A		Conducente coinvolto in incidente su strada durante lo svolgimento della propria attività lavorativa		Sedile anteriore		Sedile anteriore		Sedile anteriore			
	Cittadinanza italiana o straniera del conducente		Patente Tipo B		Conducente coinvolto in incidente su strada durante il tragitto casa-lavoro o lavoro-casa		Sedile posteriore		Sedile posteriore		Sedile posteriore			
	Cittadinanza del conducente		Patente Tipo C		Durante il tragitto casa-lavoro o lavoro-casa		Sedile anteriore		Sedile anteriore		Sedile anteriore			
	Codici Istat Stati esteri *		Patente Tipo D		Non indicare le due modalità sopra riportate nel caso di tratti di altro tipo di tragitto o di incidente avvenuto al di fuori dell'attività lavorativa.		Sedile posteriore		Sedile posteriore		Sedile posteriore			
A	Incoltume		ABC speciale		Indicare la modalità 1 nel caso in cui si tratti di conducente professionista o altro conducente di veicolo esclusivamente se al momento dell'incidente stavano svolgendo la propria attività lavorativa.		Morti		Età		Sesso			
	Ferito		Non richiesta		Indicare la modalità 2 solo nel caso in cui si tratti di conducente di veicolo esclusivamente se al momento dell'incidente stavano compiendo il tragitto casa-lavoro o lavoro-casa.		Maschi		Maschi		Femmine			
	Morto entro 24 ore		Foglio rosa		Sprovvisori		NEL VEICOLO A		Morti		Femmine			
	Morto entro 30 giorni		Sprovvisori				NEL VEICOLO B		Morti		Femmine			
	*Necessari i codici di appartenenza (Gruppi/Divisioni e Classificazioni).						NEL VEICOLO C		Morti		Femmine			
V E I C O L O	Età conducente		Patente ciclomotori		Anno di rilascio della patente (ultime due cifre)		Morti		Età		Sesso			
	Sesso		Patente Tipo A		Conducente coinvolto in incidente su strada durante lo svolgimento della propria attività lavorativa		Sedile anteriore		Sedile anteriore		Sedile anteriore			
	Cittadinanza italiana o straniera del conducente		Patente Tipo B		Conducente coinvolto in incidente su strada durante il tragitto casa-lavoro o lavoro-casa		Sedile posteriore		Sedile posteriore		Sedile posteriore			
	Cittadinanza del conducente		Patente Tipo C		Durante il tragitto casa-lavoro o lavoro-casa		Sedile anteriore		Sedile anteriore		Sedile anteriore			
	Codici Istat Stati esteri *		Patente Tipo D		Non indicare le due modalità sopra riportate nel caso di tratti di altro tipo di tragitto o di incidente avvenuto al di fuori dell'attività lavorativa.		Sedile posteriore		Sedile posteriore		Sedile posteriore			
B	Incoltume		ABC speciale		Indicare la modalità 1 nel caso in cui si tratti di conducente professionista o altro conducente di veicolo esclusivamente se al momento dell'incidente stavano svolgendo la propria attività lavorativa.		Morti		Età		Sesso			
	Ferito		Non richiesta		Indicare la modalità 2 solo nel caso in cui si tratti di conducente di veicolo esclusivamente se al momento dell'incidente stavano compiendo il tragitto casa-lavoro o lavoro-casa.		Maschi		Maschi		Femmine			
	Morto entro 24 ore		Foglio rosa		Sprovvisori		NEL VEICOLO B		Morti		Femmine			
	Morto entro 30 giorni		Sprovvisori				NEL VEICOLO C		Morti		Femmine			
	*Necessari i codici di appartenenza (Gruppi/Divisioni e Classificazioni).						NEL VEICOLO C		Morti		Femmine			
V E I C O L O	Età conducente		Patente ciclomotori		Anno di rilascio della patente (ultime due cifre)		Morti		Età		Sesso			
	Sesso		Patente Tipo A		Conducente coinvolto in incidente su strada durante lo svolgimento della propria attività lavorativa		Sedile anteriore		Sedile anteriore		Sedile anteriore			
	Cittadinanza italiana o straniera del conducente		Patente Tipo B		Conducente coinvolto in incidente su strada durante il tragitto casa-lavoro o lavoro-casa		Sedile posteriore		Sedile posteriore		Sedile posteriore			
	Cittadinanza del conducente		Patente Tipo C		Durante il tragitto casa-lavoro o lavoro-casa		Sedile anteriore		Sedile anteriore		Sedile anteriore			
	Codici Istat Stati esteri *		Patente Tipo D		Non indicare le due modalità sopra riportate nel caso di tratti di altro tipo di tragitto o di incidente avvenuto al di fuori dell'attività lavorativa.		Sedile posteriore		Sedile posteriore		Sedile posteriore			
C	Incoltume		ABC speciale		Indicare la modalità 1 nel caso in cui si tratti di conducente professionista o altro conducente di veicolo esclusivamente se al momento dell'incidente stavano svolgendo la propria attività lavorativa.		Morti		Età		Sesso			
	Ferito		Non richiesta		Indicare la modalità 2 solo nel caso in cui si tratti di conducente di veicolo esclusivamente se al momento dell'incidente stavano compiendo il tragitto casa-lavoro o lavoro-casa.		Maschi		Maschi		Femmine			
	Morto entro 24 ore		Foglio rosa		Sprovvisori		NEL VEICOLO B		Morti		Femmine			
	Morto entro 30 giorni		Sprovvisori				NEL VEICOLO C		Morti		Femmine			
	*Necessari i codici di appartenenza (Gruppi/Divisioni e Classificazioni).						NEL VEICOLO C		Morti		Femmine			
PEDONI COINVOLTI					NUMERO DI VEICOLI COINVOLTI OLTRE AI VEICOLI A,B,C					RIEPILOGO INFORTUNATI				
Morti					PERSONE COINVOLTE SU ALTRI VEICOLI OLTRE AI VEICOLI A-B-C					Morti entro le 24 ore				
Maschio Femmina					Maschio Femmina					Morti dal 2° al 30° giorno				
1 2					1 2					Feriti				
1 2					1 2					Il totale riportato nel riepilogo deve corrispondere alla somma dei morti e dei feriti indicati distintamente nella sezione 7 del modello				

8. Nominativo dei morti

NOME	COGNOME
_____	_____
_____	_____

9. Nominativo dei feriti e Istituto di ricovero

NOME	COGNOME	ISTITUTO DI RICOVERO
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

SEGRETO STATISTICO, OBBLIGO DI RISPOSTA, TUTELA DELLA RISERVATEZZA E DIRITTI DEGLI INTERESSATI

- Decreto legislativo 6 settembre 1989, n. 322, "Norme sul Sistema statistico nazionale e sulla riorganizzazione dell'Istituto nazionale di statistica" - art. 6-bis (trattamenti di dati personali), art. 7 (obbligo di fornire dati statistici), art. 8 (segreto d'ufficio degli addetti agli uffici di statistica), art. 9 (disposizioni per la tutela del segreto statistico), art. 13 (Programma statistico nazionale);

- Decreto del Presidente della Repubblica 7 settembre 2010, n. 166, "Regolamento recante il rordino dell'Istituto nazionale di statistica";

- Regolamento (UE) 2016/679 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 27 aprile 2016, relativo alla protezione delle persone fisiche con riguardo al trattamento dei dati personali, nonché alla libera circolazione di tali dati e che abroga la direttiva 95/46/CE (Regolamento generale sulla protezione dei dati);

- Decreto legislativo 30 giugno 2003, n. 196, "Codice in materia di protezione dei dati personali";

- Regole deontologiche per trattamenti a fini statistici o di ricerca scientifica effettuati nell'ambito del Sistema statistico nazionale - Delibera del Garante per la protezione dei dati personali n. 514 del 19 dicembre 2018 (GU Serie Generale n. 11 del 14-01-2019);

- Decreto legislativo 10 agosto 2018, n. 101 "Disposizioni per l'adempimento delle normative nazionali alle disposizioni del regolamento (UE) 2016/679 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 27 aprile 2016, relativo alla protezione delle persone fisiche con riguardo al trattamento dei dati personali, nonché alla libera circolazione di tali dati e che abroga la direttiva 95/46/CE" (Regolamento generale sulla protezione dei dati);

- Decreto legislativo 14 marzo 2013, n. 33 "Riordino della disciplina riguardante il diritto di accesso civico e gli obblighi di pubblicità, trasparenza e diffusione di informazioni da parte di Pubbliche Amministrazioni" - art. 5 ter (accesso per fini scientifiche ai dati elementari raccolti per finalità statistiche);

La rilevazione è inserita nel Programma statistico nazionale 2017-2019, (codice IST-00142) approvato con DPR 31 gennaio 2018 e nel Programma statistico nazionale 2017-2019 - Aggiornamento 2018-2019, in corso di adozione.

Il Programma statistico nazionale in vigore è consultabile sul sito internet dell'Istat all'indirizzo: <https://www.istat.it/it/organizzazione-e-attività/organizzazione-programmi>

Le informazioni raccolte, tutelate dal segreto statistico (art. 9 d.lgs. n. 322/1989) e nel caso di dati personali, sottoposte alla normativa in materia di protezione dei dati personali (Regolamento (UE) 2016/679, d.lgs. n. 196/2003 e d.lgs. n. 101/2018), potranno essere utilizzate, anche per successivi trattamenti dall'Istat e dagli altri soggetti del Sistema statistico nazionale, esclusivamente per fini statistiche, nonché essere comunicate per finalità di ricerca scientifica alle condizioni e secondo le modalità previste dall'art. 5 ter del d.lgs. n. 33/2013.

L'obbligo di risposta per questa rilevazione è sancito dall'art. 7 comma 1 del decreto legislativo n. 322/1989 e dal DPR 31 gennaio 2018 che saranno opportunamente segnalati nel corso dell'intervista.

I responsabili del trattamento statistico dei dati raccolti nell'ambito della presente indagine sono il Direttore centrale per le indagini sociali e il censimento della popolazione e il Direttore centrale per la Raccolta dati dell'Istat.

Per il trattamento dei dati personali, ai sensi dell'art. 24 del Regolamento (UE) 2016/679, l'Istituto è l'Istituto nazionale di statistica, Via Cesare Balbo, 16 - 00184 Roma che, per le fasi della rilevazione di rispettiva competenza, ha attribuito specifici compiti e funzioni connessi al trattamento dei dati personali ai Direttori centrali sopra indicati (art. 2-quaterdecies, comma 1, d.lgs. n. 196/2003).

Al Direttore centrale per la raccolta dati è possibile rivolgersi anche per conoscere i nominativi dei responsabili del trattamento che, ai sensi dell'art. 28 del medesimo Regolamento (UE) 2016/679, effettuano il trattamento dei dati personali per conto dell'Istat esclusivamente alle fasi di raccolta dei dati.

Tuttavia, poiché la normativa in materia statistica (art. 7 comma 2, del d.lgs. n. 322/1989) stabilisce che non può essere imposto l'obbligo di risposta su dati sensibili, qualora il conducente del veicolo abbia manifestato la volontà contraria all'uso statistico dei dati relativi al proprio stato psico-fisico al momento dell'incidente, i dati che lo riguardano possono essere trasmessi all'Istat solo in forma anonima, senza che sia possibile risalire all'identità dell'interessato nemmeno in modo indiretto.

Nel caso di decesso del diritto interessato tale volontà può essere espressa da altro soggetto legittimato.

In questi casi, il modello Istat CITI/NC dovrà comunque essere compilato ai fini della rilevazione dell'evento, garantendo l'anonimato dell'interessato con l'esclusione dei seguenti campi: Sezione 8: Nominativo dei morti; Nome e Cognome dei morti coinvolti nell'incidente; Sezione 9: Nominativo dei feriti; Nome e Cognome dei feriti coinvolti nell'incidente.

Le modalità sopra illustrate dovranno, comunque, essere adottate per la compilazione del modello Istat CITI/NC fino alla pubblicazione in Gazzetta Ufficiale del decreto di approvazione del Programma statistico nazionale 2018-2019, in corso di adozione, in conformità all'art. 4-bis del "Codice di deontologia e di buona condotta per i trattamenti di dati personali a scopi statistici e di ricerca scientifica effettuati nell'ambito del Sistema statistico nazionale".

E poi quella della polizia dell'Oregon (USA) riportata dal manuale americano Highway Safety Manual (HSM):

DMV OREGON POLICE TRAFFIC CRASH REPORT										PAGE	OF			
POLICE INCIDENT / CASE NUMBER		CRASH DATE		DAY OF WEEK M T W TH F S S S	CRASH TIME AM PM		POLICE NOTIFIED AM PM	POLICE ARRIVAL AM PM	DMV FILE NUMBER					
COUNTY		ROAD ON WHICH CRASH OCCURRED						MILE POST		DMV CODE				
<input type="checkbox"/> WITHIN _____ FEET N S OF NEAREST INTERSECTING ROAD				<input type="checkbox"/> WITHIN _____ FEET N S OF NEAREST CITY / TOWN				<input type="checkbox"/> NEAR _____ MILES E W		<input type="checkbox"/> NEAR _____ MILES E W				
<input type="checkbox"/> PROPERTY DAMAGE		<input type="checkbox"/> PUBLIC PROPERTY DAMAGE		<input type="checkbox"/> INJURY		<input type="checkbox"/> FATAL		<input type="checkbox"/> HAZARDOUS MATERIALS		<input type="checkbox"/> HT AND RIN				
<input type="checkbox"/> PHOTOS TAKEN		<input type="checkbox"/> DRUNK		<input type="checkbox"/> TRUCK / BUS										
UNIT #	NAME (LAST, FIRST, MIDDLE)						DRIVER LICENSE NUMBER		STATE	SEX	RACE	DOB		
PED	ADDRESS						HOME PHONE ()							
PRK	VEHICLE OWNER						WORK PHONE ()							
PRP	<input type="checkbox"/> SAME													
REL	Y N	STD SPD	PST SPD	INSURANCE COMPANY <input type="checkbox"/> NONE		INSURANCE POLICY NUMBER								
EJECTD	Y P N	Y N	Y N	VEHICLE IDENTIFICATION NUMBER (VIN)		LICENSE PLATE NUMBER		STATE	YEAR	MAKE	MODEL / STYLE	COLOR		
VEHICLE TOWED Y N				<input type="checkbox"/> UNKNOWN TO		DRIVER TAKEN Y N		<input type="checkbox"/> UNKNOWN TO						
VEHICLE DAMAGE				DAMAGE ESTIMATE		ROLL OVER		INJURY:						
FRONT				<input type="checkbox"/> NONE		<input type="checkbox"/> UNDER CAR		<input type="checkbox"/> NONE						
				<input type="checkbox"/> UNDER \$1500		<input type="checkbox"/> TOTALED		<input type="checkbox"/> POSSIBLE						
				<input type="checkbox"/> OVER \$1500		<input type="checkbox"/> UNKNOWN		<input type="checkbox"/> MINOR						
								<input type="checkbox"/> SERIOUS						
								<input type="checkbox"/> FATAL						
								EQUIPMENT:						
								<input type="checkbox"/> NO EQP USED						
								<input type="checkbox"/> LAP ONLY						
								<input type="checkbox"/> LAP / SHLDR						
								<input type="checkbox"/> CHILD RST FRP						
								<input type="checkbox"/> AIRBAG DEPLYD						
								<input type="checkbox"/> NONE INSTLD						
								<input type="checkbox"/> UNKNOWN						
								<input type="checkbox"/> SHLDR ONLY						
								<input type="checkbox"/> HELMET						
								<input type="checkbox"/> CHILD RST AMPR						
								<input type="checkbox"/> AIRBAG NOT OP						
ACTION / ARREST / NOTES														
SUSPECT NAME										AAA	IN CUSTODY Y N			
ADDRESS										OTHER INFORMATION:				
SEX	RACE	DOB	HT	WT	HAIR	EYES	LOCAL ID							
UNIT #	NAME (LAST, FIRST, MIDDLE)						DRIVER LICENSE NUMBER		STATE	SEX	RACE	DOB		
PED	ADDRESS						HOME PHONE ()							
PRK	VEHICLE OWNER						WORK PHONE ()							
PRP	<input type="checkbox"/> SAME													
REL	Y N	STD SPD	PST SPD	INSURANCE COMPANY <input type="checkbox"/> NONE		INSURANCE POLICY NUMBER								
EJECTD	Y P N	Y N	Y N	VEHICLE IDENTIFICATION NUMBER (VIN)		LICENSE PLATE NUMBER		STATE	YEAR	MAKE	MODEL / STYLE	COLOR		
VEHICLE TOWED Y N				<input type="checkbox"/> UNKNOWN TO		DRIVER TAKEN Y N		<input type="checkbox"/> UNKNOWN TO						
VEHICLE DAMAGE				DAMAGE ESTIMATE		ROLL OVER		INJURY:						
FRONT				<input type="checkbox"/> NONE		<input type="checkbox"/> UNDER CAR		<input type="checkbox"/> NONE						
				<input type="checkbox"/> UNDER \$1500		<input type="checkbox"/> TOTALED		<input type="checkbox"/> POSSIBLE						
				<input type="checkbox"/> OVER \$1500		<input type="checkbox"/> UNKNOWN		<input type="checkbox"/> MINOR						
								<input type="checkbox"/> SERIOUS						
								<input type="checkbox"/> FATAL						
								EQUIPMENT:						
								<input type="checkbox"/> NO EQP USED						
								<input type="checkbox"/> LAP ONLY						
								<input type="checkbox"/> LAP / SHLDR						
								<input type="checkbox"/> CHILD RST FRP						
								<input type="checkbox"/> AIRBAG DEPLYD						
								<input type="checkbox"/> NONE INSTLD						
								<input type="checkbox"/> UNKNOWN						
								<input type="checkbox"/> SHLDR ONLY						
								<input type="checkbox"/> HELMET						
								<input type="checkbox"/> CHILD RST AMPR						
								<input type="checkbox"/> AIRBAG NOT OP						
ACTION / ARREST / NOTES														
UNIT #	<input type="checkbox"/> PASSENGER NAME						ADDRESS		INJURY		LOCATION	OTHER	EJECTD	EXTRCTD
	<input type="checkbox"/> WITNESS								<input type="checkbox"/> NONE		<input type="checkbox"/> DR	<input type="checkbox"/> CR	<input type="checkbox"/> SF	<input type="checkbox"/> RST
	SEX	RACE	DOB	HOME PHONE ()		WORK PHONE ()		<input type="checkbox"/> POSSIBLE		<input type="checkbox"/> DR	<input type="checkbox"/> CR	<input type="checkbox"/> SF	<input type="checkbox"/> RST	
								<input type="checkbox"/> MINOR		<input type="checkbox"/> DR	<input type="checkbox"/> CR	<input type="checkbox"/> SF	<input type="checkbox"/> RST	
								<input type="checkbox"/> FATAL		<input type="checkbox"/> DR	<input type="checkbox"/> CR	<input type="checkbox"/> SF	<input type="checkbox"/> RST	
	PASSENGER TAKEN Y N						<input type="checkbox"/> UNKNOWN TO							
	<input type="checkbox"/> PASSENGER NAME						ADDRESS		INJURY		LOCATION	OTHER	EJECTD	EXTRCTD
	<input type="checkbox"/> WITNESS								<input type="checkbox"/> NONE		<input type="checkbox"/> DR	<input type="checkbox"/> CR	<input type="checkbox"/> SF	<input type="checkbox"/> RST
	SEX	RACE	DOB	HOME PHONE ()		WORK PHONE ()		<input type="checkbox"/> POSSIBLE		<input type="checkbox"/> DR	<input type="checkbox"/> CR	<input type="checkbox"/> SF	<input type="checkbox"/> RST	
								<input type="checkbox"/> MINOR		<input type="checkbox"/> DR	<input type="checkbox"/> CR	<input type="checkbox"/> SF	<input type="checkbox"/> RST	
								<input type="checkbox"/> FATAL		<input type="checkbox"/> DR	<input type="checkbox"/> CR	<input type="checkbox"/> SF	<input type="checkbox"/> RST	
	PASSENGER TAKEN Y N						<input type="checkbox"/> UNKNOWN TO							
	<input type="checkbox"/> PASSENGER NAME						ADDRESS		INJURY		LOCATION	OTHER	EJECTD	EXTRCTD
	<input type="checkbox"/> WITNESS								<input type="checkbox"/> NONE		<input type="checkbox"/> DR	<input type="checkbox"/> CR	<input type="checkbox"/> SF	<input type="checkbox"/> RST
	SEX	RACE	DOB	HOME PHONE ()		WORK PHONE ()		<input type="checkbox"/> POSSIBLE		<input type="checkbox"/> DR	<input type="checkbox"/> CR	<input type="checkbox"/> SF	<input type="checkbox"/> RST	
								<input type="checkbox"/> MINOR		<input type="checkbox"/> DR	<input type="checkbox"/> CR	<input type="checkbox"/> SF	<input type="checkbox"/> RST	
								<input type="checkbox"/> FATAL		<input type="checkbox"/> DR	<input type="checkbox"/> CR	<input type="checkbox"/> SF	<input type="checkbox"/> RST	
	PASSENGER TAKEN Y N						<input type="checkbox"/> UNKNOWN TO							
DISTRIBUTION														
OFFICER NAME / NUMBER						DATE		AGENCY		APPROVED BY				

735-46A (1-04)

STR# 300018

POLICE INCIDENT / CASE NUMBER	BMS NOTIFIED	BMS ARRIVAL	LOCAL CODES	PAGE	OF
	AM PM	AM PM	A B C D E		
Check ONE box in all categories. Check ALL boxes that apply in categories with (★).					
FIRST HARMFUL EVENT NON COLLISION <input type="checkbox"/> OVERTURN <input type="checkbox"/> FIRE / EXPLOSION <input type="checkbox"/> IMMERSION <input type="checkbox"/> GAS INHALATION <input type="checkbox"/> OTHER NON COLLISION <input type="checkbox"/> MEDICAL (Explain) COLLISION WITH <input type="checkbox"/> PEDESTRIAN <input type="checkbox"/> PARKED MOTOR VEHICLE <input type="checkbox"/> RAILWAY TRAIN <input type="checkbox"/> BICYCLIST CRASH TYPE <input type="checkbox"/> HEAD ON <input type="checkbox"/> REAR-END <input type="checkbox"/> ANGLE <input type="checkbox"/> SIDE SWIPE <input type="checkbox"/> MANEUVER UNKNOWN FIXED OBJECT <input type="checkbox"/> BARRICADE <input type="checkbox"/> BOULDER / ROCK <input type="checkbox"/> BRIDGE OMPASS or RAILING <input type="checkbox"/> BUILDING <input type="checkbox"/> CULVERT HEADWALL <input type="checkbox"/> CURBING <input type="checkbox"/> DITCH <input type="checkbox"/> DIVIDER - CONCR or STEEL <input type="checkbox"/> FENCE - NOT MEDIAN <input type="checkbox"/> FIRE HYDRANT <input type="checkbox"/> HIGHWAY GUARDRAIL <input type="checkbox"/> HIGHWAY SIGN <input type="checkbox"/> IMPACT ABSORBER <input type="checkbox"/> LIGHT STANDARD <input type="checkbox"/> MAILBOX <input type="checkbox"/> OVERHEAD SIGN POST <input type="checkbox"/> OVERHEAD STRUCTURE <input type="checkbox"/> PIER or COLUMN <input type="checkbox"/> RE TANNING WALL <input type="checkbox"/> SIDE SLOPE EARTH <input type="checkbox"/> SIDE SLOPE ROCK or STONE <input type="checkbox"/> TRAFFIC SIGNAL POST <input type="checkbox"/> TREE <input type="checkbox"/> UNDERPASS TUNNEL <input type="checkbox"/> UTILITY POLE <input type="checkbox"/> OTHER FIXED (Explain) OTHER OBJECT (NOT FIXED) <input type="checkbox"/> ANIMAL <input type="checkbox"/> THROWN / FALLING OBJECT <input type="checkbox"/> UNKNOWN <input type="checkbox"/> OTHER OBJECT (Explain)	WEATHER <input type="checkbox"/> CLEAR <input type="checkbox"/> CLOUDY (OVERCAST) <input type="checkbox"/> RAIN <input type="checkbox"/> SNOW <input type="checkbox"/> SLEET / HAIL / ETC <input type="checkbox"/> FOG / SMOG <input type="checkbox"/> SMOKE <input type="checkbox"/> BLOWING SAND / DIRT <input type="checkbox"/> SEVERE CROSSWIND <input type="checkbox"/> OTHER / UNKNOWN SURFACE CONDITION <input type="checkbox"/> DRY <input type="checkbox"/> WET <input type="checkbox"/> DEBRIS <input type="checkbox"/> SNOW / SLUSH <input type="checkbox"/> ICY <input type="checkbox"/> MUDDY <input type="checkbox"/> DEBRIS <input type="checkbox"/> RUTS / HOLES / BUMPS <input type="checkbox"/> WORN / POLISHED <input type="checkbox"/> LOW / SOFT SHOULDER <input type="checkbox"/> OTHER / UNKNOWN SURFACE TYPE <input type="checkbox"/> CONCRETE <input type="checkbox"/> BLACKTOP / ASPHALT <input type="checkbox"/> GRAVEL <input type="checkbox"/> DIRT <input type="checkbox"/> OTHER LIGHT <input type="checkbox"/> FULL DAYLIGHT <input type="checkbox"/> DAWN <input type="checkbox"/> DUSK <input type="checkbox"/> DARK - LIGHTED WAY <input type="checkbox"/> DARK - NOT LIGHTED <input type="checkbox"/> UNKNOWN TRAFFIC CONTROL TYPE <input type="checkbox"/> NONE <input type="checkbox"/> SCHOOL BUS LIGHTS <input type="checkbox"/> OFFICER / CROSSING <input type="checkbox"/> GUARD or FLAGGER <input type="checkbox"/> TRAFFIC SIGNAL w/ <input type="checkbox"/> PEDESTRIAN CONTROL <input type="checkbox"/> TRAFFIC SIGNAL <input type="checkbox"/> FLASHING BEACON <input type="checkbox"/> STOP SIGN <input type="checkbox"/> YIELD SIGN <input type="checkbox"/> RR CROSSING GATES <input type="checkbox"/> RR CROSSING BUCKS <input type="checkbox"/> RR FLASHING SIGNAL <input type="checkbox"/> RR CROSSING w/ <input type="checkbox"/> PAVEMENT MARKINGS <input type="checkbox"/> LANE CONTROL / LINES <input type="checkbox"/> STRIPES / DEVICES <input type="checkbox"/> SCHOOL SIGNAL <input type="checkbox"/> OTHER REG SIGN <input type="checkbox"/> TURN LANE'S <input type="checkbox"/> UNKNOWN TRAFFIC CONTROL DEVICE CONDITION <input type="checkbox"/> NO MALFUNCTION <input type="checkbox"/> DOWN / MISSING <input type="checkbox"/> TURNED FROM <input type="checkbox"/> PROPER POSITION <input type="checkbox"/> OBSCURED BY <input type="checkbox"/> OTHER SIGNS <input type="checkbox"/> OBSCURED BY <input type="checkbox"/> PARKED VEHICLE <input type="checkbox"/> OBSCURED BY <input type="checkbox"/> VEGETATION <input type="checkbox"/> LIGHTS MALFUNCTION <input type="checkbox"/> LIGHTS STUCK <input type="checkbox"/> GATES INOPERATIVE <input type="checkbox"/> GATE ARM MISSING <input type="checkbox"/> OTHER RR MALFUNCTION <input type="checkbox"/> OTHER IMPAIRMENT <input type="checkbox"/> UNKNOWN	ROAD CHARACTER <input type="checkbox"/> #1 #2 STRAIGHT and LEVEL <input type="checkbox"/> STRAIGHT w/ GRADE <input type="checkbox"/> CURVED and LEVEL <input type="checkbox"/> CURVED w/ GRADE VEH #1 — NUMBER OF LANES VEH #2 — NUMBER OF LANES — TOTAL NUMBER OF LANES ROAD FLOW <input type="checkbox"/> #1 #2 ONE WAY TRAFFIC <input type="checkbox"/> NOT PHYSICALLY DIVIDED MEDIAN TYPE <input type="checkbox"/> UNPAVED <input type="checkbox"/> BARBER <input type="checkbox"/> PAVED <input type="checkbox"/> CONT LEFT TURN DRIVER LICENSE VIOLATION <input type="checkbox"/> DRIVER #1 #2 <input type="checkbox"/> NONE <input type="checkbox"/> INSTRUCTION PERMIT <input type="checkbox"/> LICENSE RESTRICTION <input type="checkbox"/> EXPIRED LICENSE <input type="checkbox"/> OUT OF CLASS <input type="checkbox"/> SUSPENDED / REVOKED <input type="checkbox"/> UNLICENSED ★ DRIVER FACTORS <input type="checkbox"/> DRIVER #1 #2 <input type="checkbox"/> NONE <input type="checkbox"/> CELL PHONE USE <input type="checkbox"/> OBSTRUCTED VIEW <input type="checkbox"/> FAILED TO YIELD ROW <input type="checkbox"/> DISOARD TRAF SIGN <input type="checkbox"/> TOO FAST FOR COND <input type="checkbox"/> MADE IMPROPER TURN <input type="checkbox"/> WRONG SIDEWAY <input type="checkbox"/> FOLLOW TOO CLOSELY <input type="checkbox"/> IMPROPER LANE CHNG <input type="checkbox"/> IMPROPER BACKING <input type="checkbox"/> IMPROPER PASSING <input type="checkbox"/> IMPROPER SIGNAL <input type="checkbox"/> IMPROPER PARKING <input type="checkbox"/> FATIGUE / DROWSY <input type="checkbox"/> ILL / BLACKOUT <input type="checkbox"/> UNKNOWN <input type="checkbox"/> OTHER ★ IMPAIRMENT <input type="checkbox"/> DRIVER #1 #2 <input type="checkbox"/> NONE <input type="checkbox"/> UNDERINFL - DRUGS <input type="checkbox"/> UNDERINFL - ALCOHOL <input type="checkbox"/> UNDERINFL - MEDS <input type="checkbox"/> UNKNOWN DETERMINED BY: <input type="checkbox"/> INT OLYZER TEST <input type="checkbox"/> BLOOD OR URINE TEST <input type="checkbox"/> FIELD SOB. TEST <input type="checkbox"/> OBSERVED SPEECH <input type="checkbox"/> (ODOR, ETC.) <input type="checkbox"/> DRE EVALUATION <input type="checkbox"/> STATEMENTS <input type="checkbox"/> UNKNOWN <input type="checkbox"/> OTHER RESULTS OF TEST: <input type="checkbox"/> D1 % D2 % <input type="checkbox"/> NO TEST GIVEN <input type="checkbox"/> TEST REFUSED <input type="checkbox"/> TESTED FOR DRUGS <input type="checkbox"/> RESULTS NOT AVAILABLE	★ VEH RELATED FACTORS <input type="checkbox"/> #1 #2 <input type="checkbox"/> NONE <input type="checkbox"/> BRAKES <input type="checkbox"/> STEERING <input type="checkbox"/> POWER PLANT <input type="checkbox"/> SUSPENSION <input type="checkbox"/> TIRES <input type="checkbox"/> EXHAUST <input type="checkbox"/> LIGHTS <input type="checkbox"/> SIGNALS <input type="checkbox"/> WINDOWS / WINDSHLD <input type="checkbox"/> RESTRAINT SYSTEM <input type="checkbox"/> WHEELS <input type="checkbox"/> COUPLING <input type="checkbox"/> CARGO <input type="checkbox"/> OTHER WEIGHT / MOVEMENT <input type="checkbox"/> #1 #2 <input type="checkbox"/> BACKING <input type="checkbox"/> STOPPED <input type="checkbox"/> STRAIGHT AHEAD <input type="checkbox"/> TURNING RIGHT <input type="checkbox"/> TURNING LEFT <input type="checkbox"/> MAKING U-TURN <input type="checkbox"/> ENTER TRAFFIC LANE <input type="checkbox"/> LEAVE TRAFFIC LANE <input type="checkbox"/> OVERTAKING <input type="checkbox"/> CHANGING LANES <input type="checkbox"/> AVOIDING MANEUVER <input type="checkbox"/> MERGING <input type="checkbox"/> PARKING <input type="checkbox"/> NEGOTIATING A CURVE <input type="checkbox"/> OTHER TRAILER TYPE <input type="checkbox"/> #1 #2 <input type="checkbox"/> LOG BUNK <input type="checkbox"/> SEMITRAILER <input type="checkbox"/> POLE TRAILER <input type="checkbox"/> FULL TRAILER <input type="checkbox"/> MOBILE HOME <input type="checkbox"/> UTILITY TRAILER <input type="checkbox"/> TRAVEL TRAILER <input type="checkbox"/> BOAT TRAILER <input type="checkbox"/> FARM EQUIPMENT <input type="checkbox"/> HORSE TRAILER <input type="checkbox"/> VEHICLE IN TOW <input type="checkbox"/> OTHER / UNKNOWN	TRUCK CONFIGURATION <input type="checkbox"/> #1 #2 <input type="checkbox"/> TRUCK (2 or 3 AXLE) <input type="checkbox"/> TRUCK / TRACTOR-SEMI <input type="checkbox"/> TRUCK and TRAILER <input type="checkbox"/> DOUBLE TRAILERS <input type="checkbox"/> TRIPLE TRAILERS <input type="checkbox"/> DROMEDARY and SEMI <input type="checkbox"/> HEAVY HAUL CONFIG <input type="checkbox"/> BUS <input type="checkbox"/> OTHER ★ PASSENGER FACTORS <input type="checkbox"/> PASS #1 #2 <input type="checkbox"/> UNIT #1 <input type="checkbox"/> NONE <input type="checkbox"/> INTERFERED w/ DRIVER <input type="checkbox"/> UNDER INFL - DRUGS <input type="checkbox"/> UNDER INFL - ALCOHOL <input type="checkbox"/> UNKNOWN <input type="checkbox"/> OTHER (Explain) <input type="checkbox"/> PASS #1 #2 <input type="checkbox"/> UNIT #2 <input type="checkbox"/> NONE <input type="checkbox"/> INTERFERED w/ DRIVER <input type="checkbox"/> UNDER INFL - DRUGS <input type="checkbox"/> UNDER INFL - ALCOHOL <input type="checkbox"/> UNKNOWN <input type="checkbox"/> OTHER (Explain) PEDESTRIAN LOCATION <input type="checkbox"/> IN ROAD <input type="checkbox"/> IN X-WALK <input type="checkbox"/> NOT IN X-WALK <input type="checkbox"/> NO X-WALK AVAILABLE INTERSECTION <input type="checkbox"/> IN X-WALK <input type="checkbox"/> NOT IN X-WALK <input type="checkbox"/> NO X-WALK AVAILABLE OTHER <input type="checkbox"/> NOT IN ROADWAY <input type="checkbox"/> SHOULDER <input type="checkbox"/> MEDIAN <input type="checkbox"/> BIKE LANE <input type="checkbox"/> UNKNOWN	PEDESTRIAN TYPE <input type="checkbox"/> NONE <input type="checkbox"/> PEDESTRIAN <input type="checkbox"/> BICYCLIST <input type="checkbox"/> CONVEYANCE <input type="checkbox"/> WHEELCHAIR <input type="checkbox"/> ANIMAL RIDER <input type="checkbox"/> RIDER of ANIM DRAWN VEH <input type="checkbox"/> UNKNOWN <input type="checkbox"/> OTHER (Explain) ★ PEDESTRIAN ACTION <input type="checkbox"/> ENTER / CROSS ROAD <input type="checkbox"/> WALK / RIDE w/ TRAFF <input type="checkbox"/> WALK / RIDE AGAINST <input type="checkbox"/> STEP ON / OFF VEHICLE <input type="checkbox"/> APPROACH / LEAVE SC BUS <input type="checkbox"/> APPROACH / LEAVE VEH <input type="checkbox"/> WORK / PUSHING VEHICLE <input type="checkbox"/> OTHER WORKING <input type="checkbox"/> PLAYING <input type="checkbox"/> LYING DOWN <input type="checkbox"/> UNKNOWN ★ PED / BIKE VISIBILITY CLOTHING <input type="checkbox"/> NO CONTRAST w/ BKGRND <input type="checkbox"/> CONTRASTED w/ BKGRND <input type="checkbox"/> REFLECTIVE OTHER <input type="checkbox"/> OTHER LIGHT SOURCE <input type="checkbox"/> UNKNOWN ★ PED / BIKE FACTORS <input type="checkbox"/> NONE <input type="checkbox"/> FAILED TO YIELD ROW <input type="checkbox"/> DISREGARD TRAFFIC SIGN <input type="checkbox"/> ILLEGALLY IN ROAD <input type="checkbox"/> EQUIPMENT VIOLATION <input type="checkbox"/> CLOTHING NOT VISIBLE <input type="checkbox"/> UNDERINFL - DRUGS <input type="checkbox"/> UNDERINFL - ALCOHOL <input type="checkbox"/> UNKNOWN <input type="checkbox"/> OTHER (Explain)
SKETCH & NARRATIVE					
UNIT 1 2 SKID MARKS TO (FEET) _____ DISTANCE AFTER (FEET) _____ (NOT TO SCALE)					

APPENDICE B

Si riporta una tabella in cui sono scritte tutte le funzioni del “calcolatore di campi” utilizzate nel capitolo 4, nella prima colonna si riporta la funzione così come descritta nella guida di QGIS mentre nella seconda c’è una spiegazione della funzione e dei parametri di ingresso.

FUNZIONE	DESCRIZIONE GENERALE
concatenate (<i>expression</i> [, <i>group_by</i>] [, <i>filter</i>] [, <i>concatenator</i>])	Serve per unire in un'unica stringa di testo i valori di differenti campi (<i>expression</i>) che abbiano in comune un altro campo (<i>group by</i>) eventualmente l'unione può essere ulteriormente filtrata (<i>filter</i>) ed effettuata con segni grafici (<i>concatenator</i>)
count (<i>expression</i> [, <i>group_by</i>] [, <i>filter</i>])	Serve per contare il numero di campi (<i>expression</i>) che hanno in comune un altro campo (<i>group by</i>). Eventualmente si possono usare dei filtri (<i>filter</i>)
maximum (<i>expression</i> [, <i>group_by</i>] [, <i>filter</i>])	Serve per calcolare il massimo di un campo (<i>expression</i>) con la possibilità di farlo per campo in comune (<i>group by</i>) o con dei filtri (<i>filter</i>)
mean (<i>expression</i> [, <i>group_by</i>] [, <i>filter</i>])	Serve per calcolare la media di un campo (<i>expression</i>) con la possibilità di farlo per campo in comune (<i>group by</i>) o con dei filtri (<i>filter</i>)
minimum (<i>expression</i> [, <i>group_by</i>] [, <i>filter</i>])	Serve per calcolare il minimo di un campo (<i>expression</i>) con la possibilità di farlo per campo in comune (<i>group by</i>) o con dei filtri (<i>filter</i>)
relation_aggregate (<i>relation</i> , <i>aggregate</i> , <i>expression</i> [, <i>concatenator</i>])	Serve per effettuare alcune operazioni (<i>aggregate</i> , come somma, media, conteggio ...) con dei campi (<i>expression</i>) di un altro layer che però abbia con quello in uso una relazione attiva (<i>relation</i>)
sum (<i>expression</i> [, <i>group_by</i>] [, <i>filter</i>])	Serve per calcolare la somma di un campo (<i>expression</i>) con la possibilità di farlo per campo in comune (<i>group by</i>) o con dei filtri (<i>filter</i>)
array_contains (<i>array</i> , <i>value</i>)	Restituisce true o false a seconda che il valore cercato (<i>value</i>) è contenuto nell'array inserito (<i>array</i>)
array_distinct (<i>array</i>)	Restituisce un array che rispetto a quello in ingresso (<i>array</i>) non contiene valori duplicati

<code>array_to_string (array[, delimiter=', '][, empty_value=''])</code>	Trasforma un array (array) in una stringa di testo delimitata da caratteri (<i>delimiter</i>)
<code>string_to_array (string[, delimiter=', '][, empty_value=''])</code>	Trasforma una stringa di testo (<i>string</i>) delimitata da caratteri (<i>delimiter</i>) in un array
<code>CASE WHEN condition THEN result [...n] [ELSE result] END</code>	La funzione CASE permette di esprimere più possibilità chiedendo di fare una certa operazione (<i>THEN result</i>) se si verifica una condizione (<i>WHEN condition</i>) infine è possibile compiere un'operazione (<i>ELSE result</i>) quando non si ricade in nessuna delle possibilità precedenti.
<code>if (condition, result_when_true, result_when_false)</code>	La funzione IF permette di eseguire un'operazione differente a seconda che la condizione inserita (<i>condition</i>) risulti vera o falsa
<code>\$length</code>	Calcola la lunghezza dell'elemento (<i>solo per linee</i>)
<code>\$x</code>	Calcola posizione sull'asse delle ascisse di una geometria nel sistema di riferimento adottato
<code>\$y</code>	Calcola posizione sull'asse delle ordinate di una geometria nel sistema di riferimento adottato
<code>geomdistance('targetLayer', 'targetField', distanceCheck)</code>	Riporta per ogni elemento il valore di un campo (<i>targetField</i>) di un altro elemento contenuto in un altro layer (<i>targetLayer</i>). L'elemento target è quello più vicino a quello in esame ma all'interno di un raggio definito (<i>distanceCheck</i>). Se non c'è nulla nel raggio di ricerca la funzione restituisce '-1'.
<code>geomnearest('targetLayer', 'targetField')</code>	Riporta per ogni elemento il valore di un campo (<i>targetField</i>) di un altro elemento contenuto in un altro layer (<i>targetLayer</i>). L'elemento target è quello più vicino a quello in esame.
<code>\$id</code>	Calcola un numero progressivo per ogni geometria in elenco.

APPENDICE C

In questa appendice vengono presentati tutti gli output ottenuti dall'applicazione del modello alla città di Brugherio. Per ogni scenario di incidentalità si presenta sia il layer degli archi, che rappresenta gli elementi lineari della rete colorati in base all'indice di pericolosità risultante, sia quello dei nodi, che sono rappresentati da elementi puntuali anch'essi colorati in base all'indice di pericolosità dell'intersezione. Inoltre, sotto ad ogni figura riferita agli specifici layer, si è inserita una tabella con i 3 black-spot risultati dall'elaborazione del modello, che primeggiano per numero di incidenti, per i criteri presentati, per la classifica generale o che sono utili per esprimere alcune considerazioni sul modello.

SCENARIO 0 – INCIDENTI IN TOTALE

In questo scenario si sono considerati tutti gli incidenti accaduti in 10 anni; per questo motivo si vede come il numero di black-spot risulti particolarmente elevato: 83 archi e 81 nodi.

ARCHI

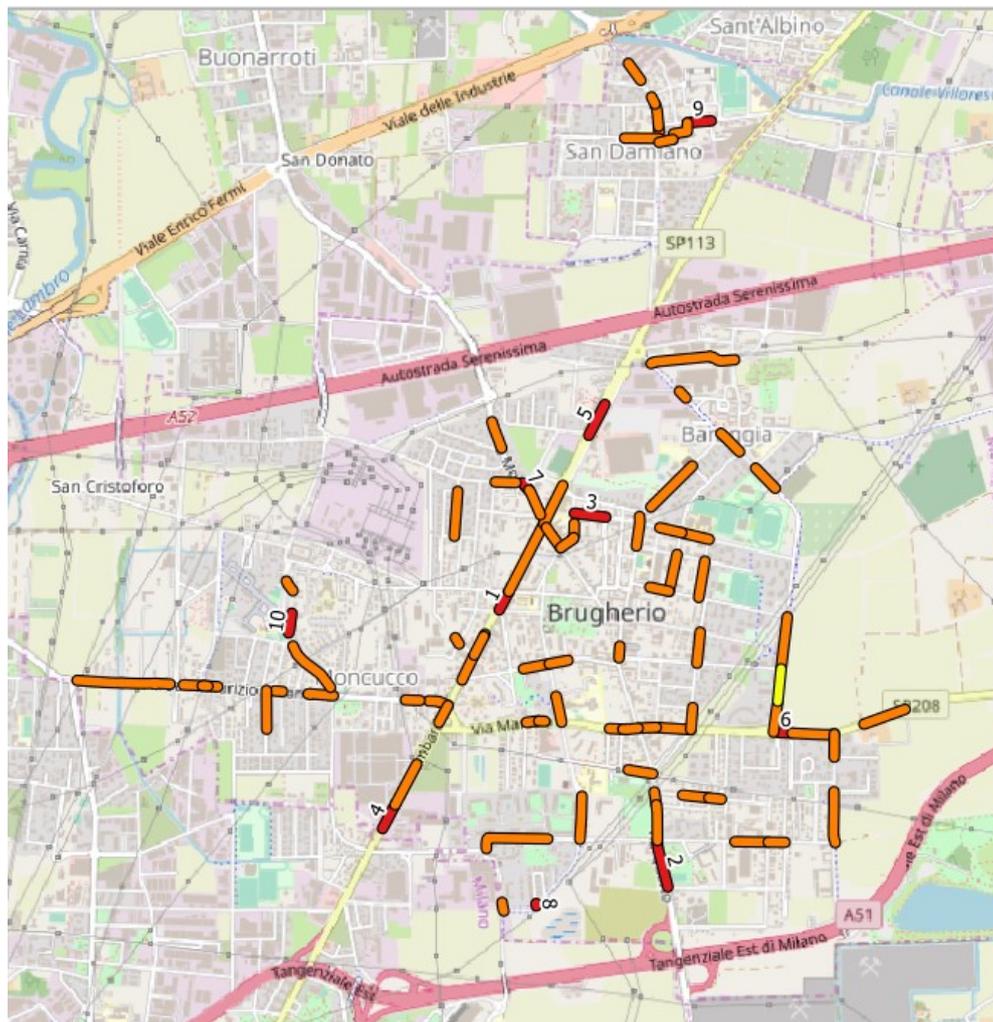


Figura 138: archi critici nello scenario 0 per la città di Brugherio.

Non si riportano ulteriori commenti dato che questo layer è già stato commentato ampiamente nel capitolo 5, si ricorda solo che per questo scenario le etichette degli archi (figura 138) sono proprie solo dei primi 10 classificati (per un miglior risultato grafico).

NODI

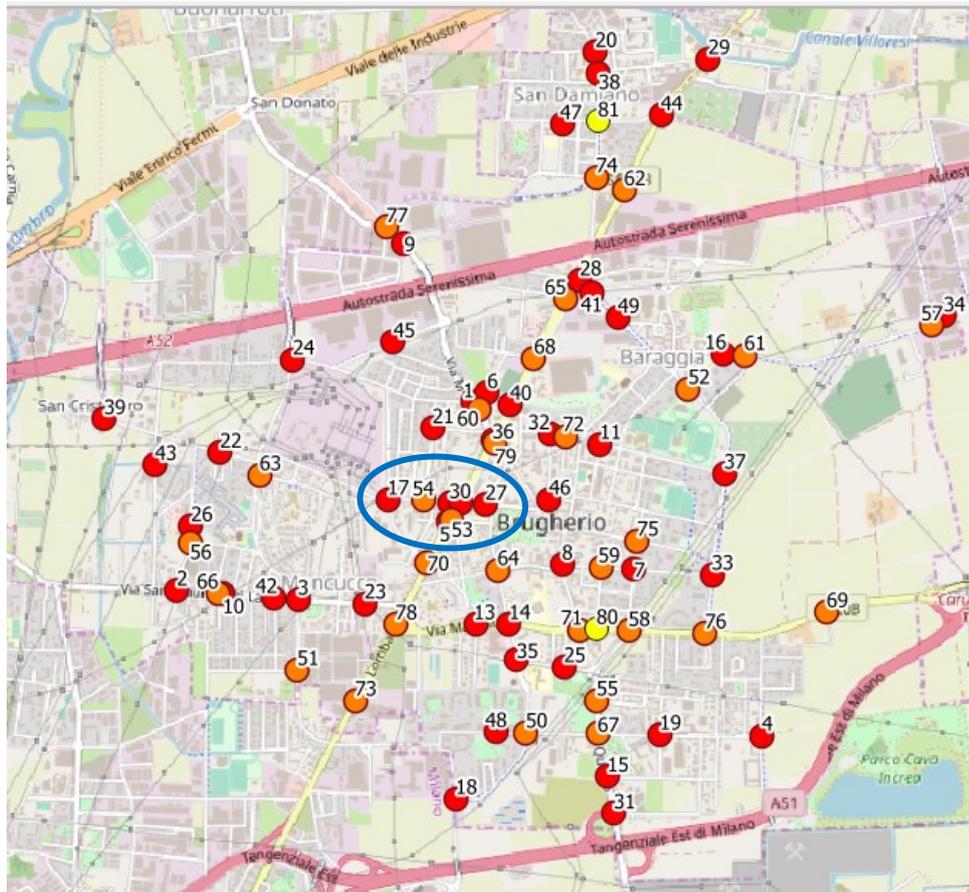


Figura 139: nodi critici nello scenario 0 per la città di Brugherio.

Dal punto di vista grafico si può notare che i punti sono distribuiti sulle principali direttrici della città: via Quarto, via dei Mille, via Marsala, via San Maurizio al Lambro e viale Lombardia. Una particolare concentrazione, invece, può essere rilevata nell'intersezione tra le vie Lombardia, De Gasperi e Nazario Sauro (cerchio blu di figura 139).

In termini assoluti le intersezioni più critiche sono quelle non semaforizzate (48 punti neri) ma se confrontate col numero di questa tipologia sul territorio le percentuali più elevate sono per le intersezioni semaforizzate e le rotonde (rispettivamente 56% e 52%).

SCENARIO 0: NODI			
ID	280	215	159
NOME	Via Giacomo Matteotti, Via Monza	Via San Maurizio al Lambro, Via San Carlo, Via Torazza	Via Quarto, Svincolo A51
TIPO	Non semaforizzata	Semaforizzata	Non semaforizzata
N°INC	5	9	11
INC_2014	0	0	1
INC_2015	0	0	0
INC_2016	1	0	1
INC_2017	1	2	1
INC_2018	1	2	1
MORTALI	1	0	0
FERITI	0	6	6
PDO	4	0	5
C-NUM	22	40	1
C-IG	1	29	61
C-TREND	8	1	28
C-TOT	1	3	31

Tabella 53: statistiche dei nodi più critici per lo scenario 0.

In tabella 53 si sono analizzati nello specifico 3 nodi, risultati di interesse per specifiche ragioni:

- Nodo 280, intersezione regolata da stop, è rilevante poiché dai dati incidentali storici risulta essere avvenuto un decesso nel 2017, in più dal 2016 al 2018 si è registrato sempre almeno un incidente;
- Nodo 215, intersezione semaforizzata, interessante poiché presenta 2 incidenti per ciascuno degli ultimi due anni, aspetto che indica un trend in crescita dato che negli anni precedenti non si erano verificati eventi;
- Nodo 159, costituito da un'intersezione regolata da stop, risulta al 31° posto in classifica principalmente perché non ci sono mai stati decessi. Si considera comunque interessante poiché il numero di incidenti avvenuti in dieci anni risultano 11, ponendolo al primo posto per il criterio numerico. Questo indica che, rispetto alle altre intersezioni, presenta una più bassa probabilità di accadimento di quel numero di incidenti e può essere visto come un numero di sinistri troppo elevato per essere considerata una casualità.

SCENARIO 1 – SOLO UN VEICOLO

In questo scenario si registrano 28 black-spot per gli archi e 33 per i nodi, gli incidenti in analisi sono 195 e c'è una riduzione negli ultimi 10 anni (-0,28) ma una crescita negli ultimi 5 (0,7).

ARCHI

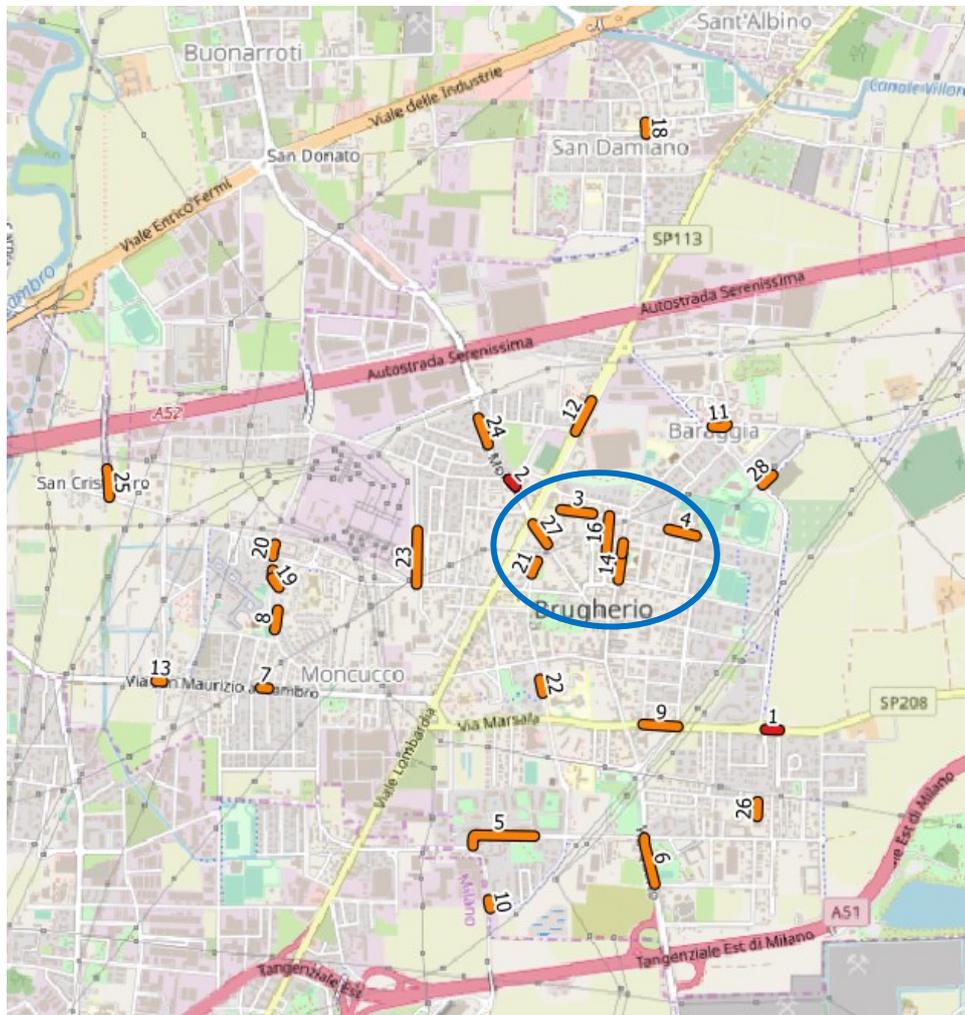


Figura 140: archi critici nello scenario 1 per la città di Brugherio.

Una concentrazione maggiore di archi critici la si può rilevare nella zona più centrale di Brugherio (in figura 140 è evidenziata in blu), essa può dipendere dalla particolare configurazione delle vie, tra cui la larghezza ridotta della carreggiata e dalla presenza di molti sensi unici, che può trarre in inganno i conducenti inducendoli all'errore (tipica causa degli incidenti appartenenti a questo scenario).

SCENARIO 1: ARCHI			
ID	1020	338	440
NOME	Via dei Mille	Via Federico Sciviero	Viale Lombardia
	Tra via Calvino e Carlo Pisacane	Tra via Antonio Gramsci e via Sabotino	Tra il numero civico 263 e 275
N°INC	2	2	8
INC_2014	0	0	1
INC_2015	0	0	1
INC_2016	0	2	1
INC_2017	0	0	1
INC_2018	2	0	1
MORTALI	0	1	0
FERITI	2	1	6
PDO	0	0	2
C-NUM	4	8	1
C-IG	3	2	25
C-TREND	1	12	10
C-TOT	1	3	12

Tabella 54: statistiche degli archi più critici per lo scenario 1.

Nella tabella 54 sono stati evidenziati 3 archi critici:

- Arco 1020 di via dei Mille è stato evidenziato poiché si trova in 1° posizione in classifica generale, il motivo principale è il trend in aumento più degli altri archi (primo per criterio temporale), dato che si sono verificati 2 incidenti nell'ultimo anno;
- Arco 338 di via Federico Sciviero è critico perché è stato registrato un decesso, in classifica, però, è solo 3°, infatti, i due incidenti avvenuti risalgono al 2016, quindi, il modello lo reputa una casualità risolta.
- Arco 440 di viale Lombardia è interessante poiché sono stati rilevati 8 incidenti, un numero molto superiore alla media evidenziato anche dalla prima posizione per il criterio numerico. Si trova in 12° posizione in classifica generale poiché sono avvenuti, oltre a nessun decesso, anche incidenti con solo danni a cose e il trend è stabile, infatti, negli ultimi cinque anni è avvenuto sempre e solo un incidente.

NODI

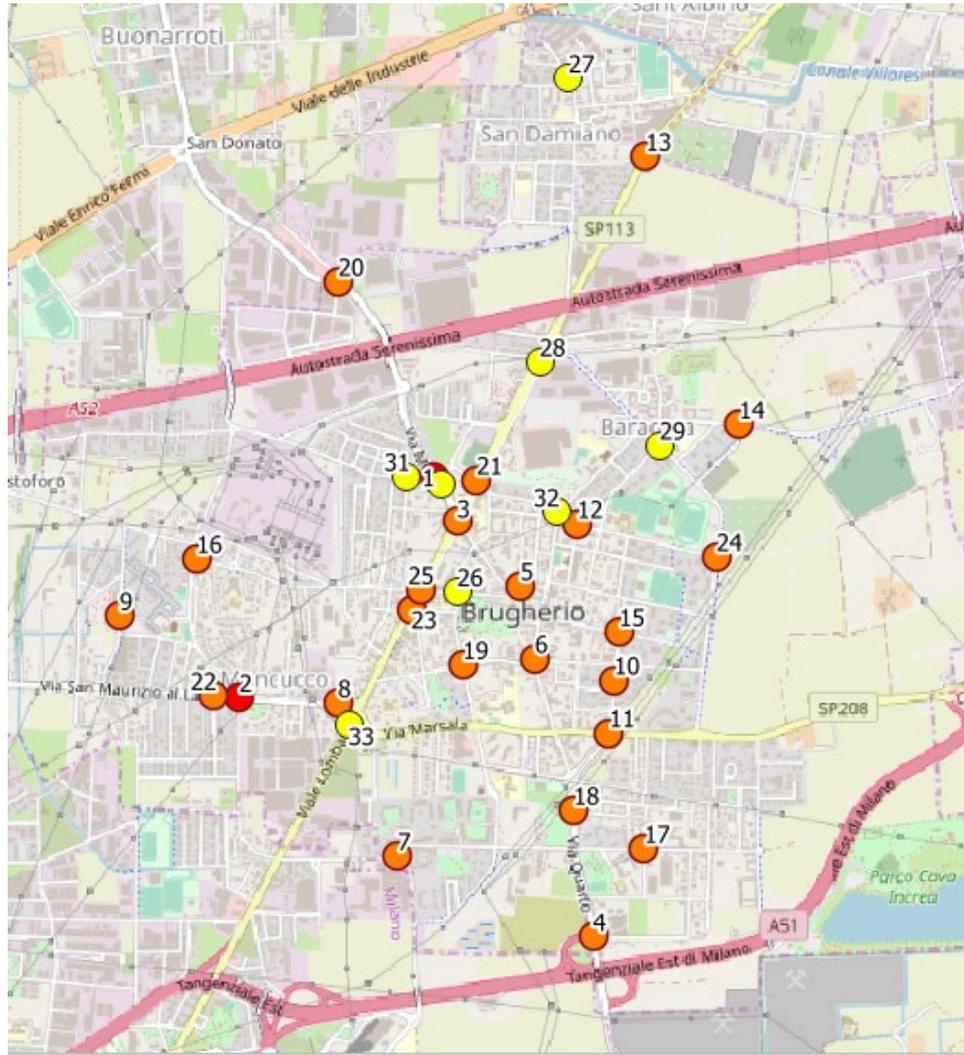


Figura 141: nodi critici nello scenario 1 per la città di Brugherio.

In questo caso non ci sono concentrazioni di punti neri così evidenti, infatti, sembrano distribuiti in modo uniforme sul territorio.

Anche per questo scenario in termini assoluti sono maggiormente evidenziate come critiche le intersezioni non semaforizzate (19 punti neri) e in termini percentuali sono quelle semaforizzate (6 punti neri, il 33% dei nodi con questa tipologia nel territorio).

SCENARIO 1: NODI			
ID	280	215	416
NOME	Via Monza, via Giacomo Matteotti	Via San Maurizio al Lambro, via San Carlo, via Torrazza	Via Tre Re, via Angelo Cazzaniga
TIPO	Non semaforizzata	Semaforizzata	Non semaforizzata
N°INC	1	4	8
INC_2014	0	0	1
INC_2015	0	0	1
INC_2016	0	0	0
INC_2017	1	1	1
INC_2018	0	1	1
MORTALI	1	0	0
FERITI	0	4	8
PDO	0	0	0
C-NUM	24	13	1
C-IG	1	2	9
C-TREND	8	1	10
C-TOT	1	2	6

Tabella 55: statistiche dei nodi più critici per lo scenario 1.

In tabella 55 vengono riportati 3 nodi interessanti per differenti caratteristiche:

- Nodo 280, intersezione non semaforizzata regolata da stop, è 1° in classifica unicamente perché il solo incidente che è avvenuto ha riportato conseguenze mortali.
- Nodo 215, intersezione semaforizzata, viene segnalata poiché negli ultimi due anni è avvenuto un incidente all'anno e, quindi, risulta prima nel criterio temporale.
- Nodo 416, intersezione non semaforizzata regolata da precedenza, è interessante poiché sono avvenuti 8 incidenti e è prima per il criterio numerico, quindi, sono considerati un'eccezione.

SCENARIO 2 - SOSTA

Nello scenario in cui si analizzano gli incidenti contro auto in sosta si rilevano 13 black-spot solo per gli archi dato che questa tipologia di incidente è propria di questi elementi.

La tabella delle statistiche ci informa che sono avvenuti 43 incidenti in calo negli ultimi 10 anni (-0,67) in leggero aumento negli ultimi 5 anni (0,1).

ARCHI

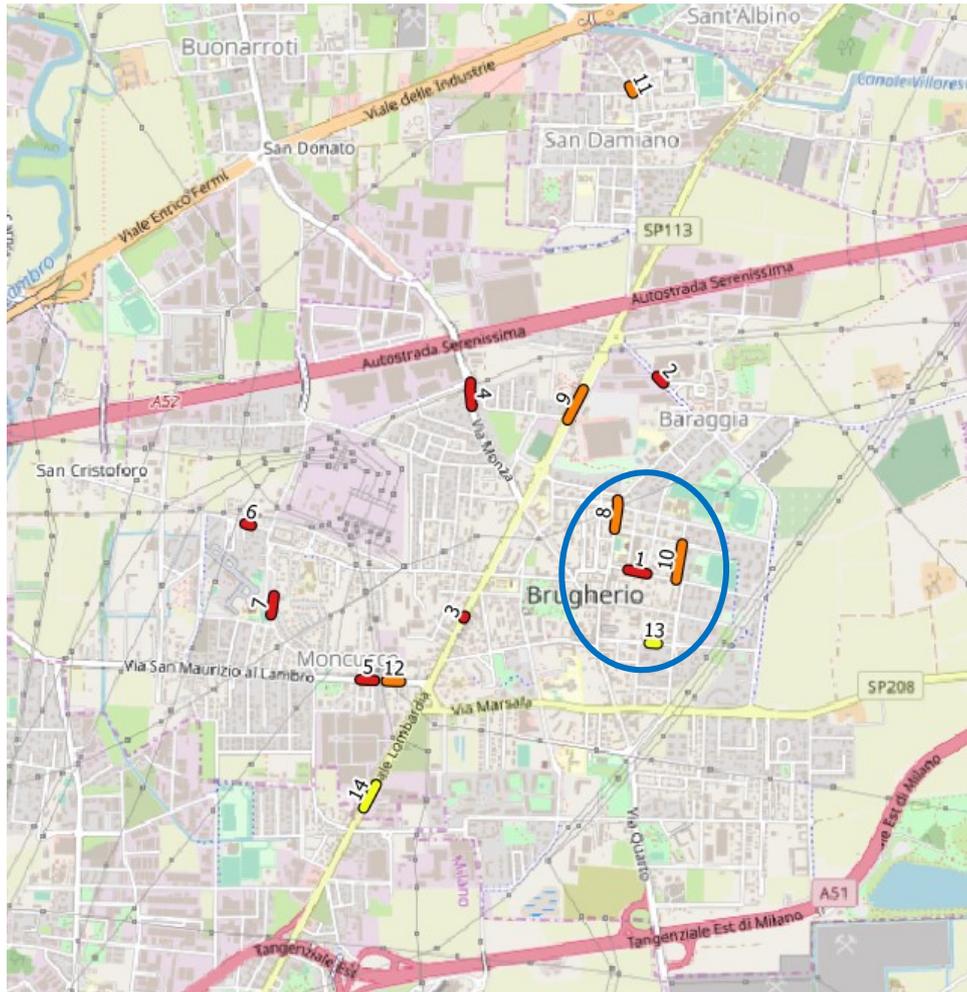


Figura 142: archi critici nello scenario 2 per la città di Brugherio.

Nonostante con un basso numero di black-spot sia difficile esprimere dei giudizi, si può notare nelle vie centrali di Brugherio (cerchiate in blu in figura 142) un raggruppamento anomalo, spiegato da carreggiate strette che lo diventano di più quando ci sono auto in sosta.

SCENARIO 2: ARCHI			
ID	851	119	440
NOME	Via Daniele Manin	Viale Europa	Viale Lombardia
	Tra via Enrico Fermi e via San Pio X	Tra via Giacomo Bassi e strada di servizio	Tra il numero civico 263 e 275
N°INC	1	1	2
INC_2014	0	0	0
INC_2015	0	0	0
INC_2016	0	0	0
INC_2017	0	1	0
INC_2018	1	0	0
MORTALI	0	0	0
FERITI	1	1	0
PDO	0	0	2
C-NUM	10	11	1
C-IG	1	4	6
C-TREND	1	4	11
C-TOT	1	2	9
NOTE	Sosta	Sosta	No

Tabella 56: statistiche degli archi più critici per lo scenario 2.

In tabella 56 si sono analizzati nello specifico 3 archi, risultati di interesse per specifiche ragioni:

- L'arco 851, di via Daniele Manin, e l'arco 119, di viale Europa, sono segnalati poiché sono 1° e 2° in classifica ma effettivamente non rappresentano un'effettiva problematica, infatti, è avvenuto solo un incidente in entrambi gli elementi. Quindi, sono stati inseriti soprattutto per far notare che, in uno scenario con un dataset ridotto rispetto al totale (4%) il modello considera critici elementi che ai fini pratici non lo sono e, quindi, devono essere esaminati con attenzione.
- L'arco 440 di Viale Lombardia è interessante poiché sono avvenuti 2 incidenti ed è anche quello dove la sosta non è consentita. Se gli incidenti fossero localizzati correttamente (infatti, c'è la presenza di un controviale) si consiglia un ulteriore approfondimento.

SCENARIO 3 – INVESTIMENTO DI PEDONE

Per gli investimenti di pedone si ha a disposizione 103 sinistri che danno luogo a 7 nodi e 21 archi critici. Il trend è in leggera salita nei 10 anni (0,42) e lo è maggiormente negli ultimi 5 (1,8).

ARCHI

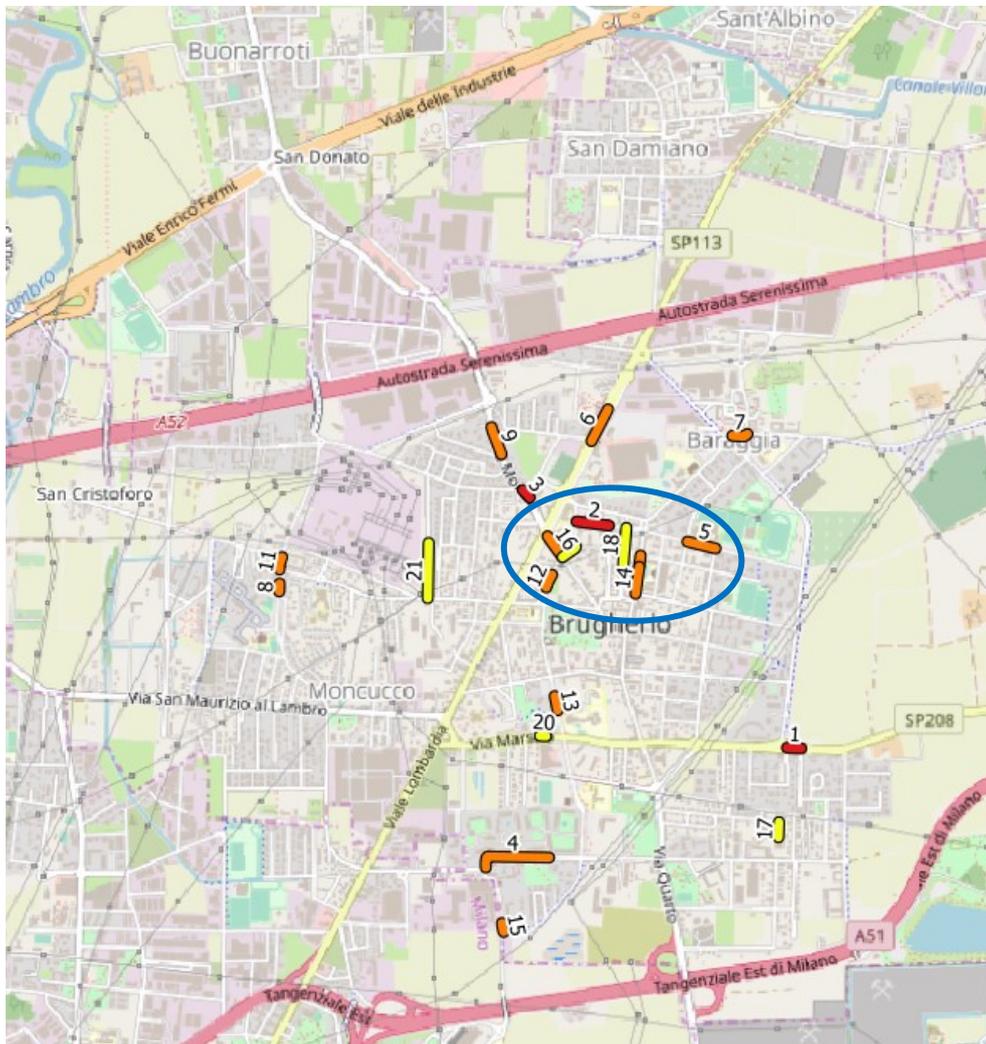


Figura 143: archi critici nello scenario 3 per la città di Brugherio.

Graficamente si può notare, come peraltro già evidenziato nel capitolo 5, che c'è la parte del centro città più a Nord con un'alta densità di incidenti dovuti sia al maggior utilizzo di questa modalità di trasporto che alla sede stradale ristretta.

SCENARIO 3: ARCHI			
ID	1020	338	440
NOME	Via dei Mille	Via Federico Sciviero	Viale Lombardia
	Tra Via Carlo Pisacane e Via Italo Calvino	Tra Via Sabotino e Via Antonio Gramsci	Tra n° civico 263 e 275
N°INC	2	2	7
INC_2014	0	0	1
INC_2015	0	0	0
INC_2016	0	2	1
INC_2017	0	0	1
INC_2018	2	0	1
MORTALI	0	1	0
FERITI	2	1	7
PDO	0	0	0
C-NUM	3	6	1
C-IG	2	1	7
C-TREND	1	9	6
C-TOT	1	2	6
NOTE	Assenza di attraversamento pedonale	Assenza di attraversamento pedonale	Assenza di attraversamento pedonale

Tabella 57: statistiche degli archi più critici per lo scenario 3.

Nella tabella 57 sono stati evidenziati 3 archi critici:

- Arco 1020 di via dei Mille è stato evidenziato poiché si trova in 1° posizione in classifica generale, il motivo principale è il trend in aumento più degli altri archi (primo per criterio temporale), dato che si sono verificati 2 incidenti nell'ultimo anno;
- Arco 338 di via Federico Sciviero è interessante poiché sono avvenuti solo 2 incidenti ma concentrati nello stesso anno tra cui uno mortale, il motivo per cui è 2° in classifica generale è che i due incidenti sono avvenuti 3 anni fa, nel 2016.
- Arco 440 di viale Lombardia è interessante poiché sono stati rilevati 7 incidenti, un numero molto superiore alla media evidenziato anche dalla prima posizione per il criterio numerico e anche perché negli ultimi tre anni è avvenuto sempre un incidente di questa tipologia.

NODI

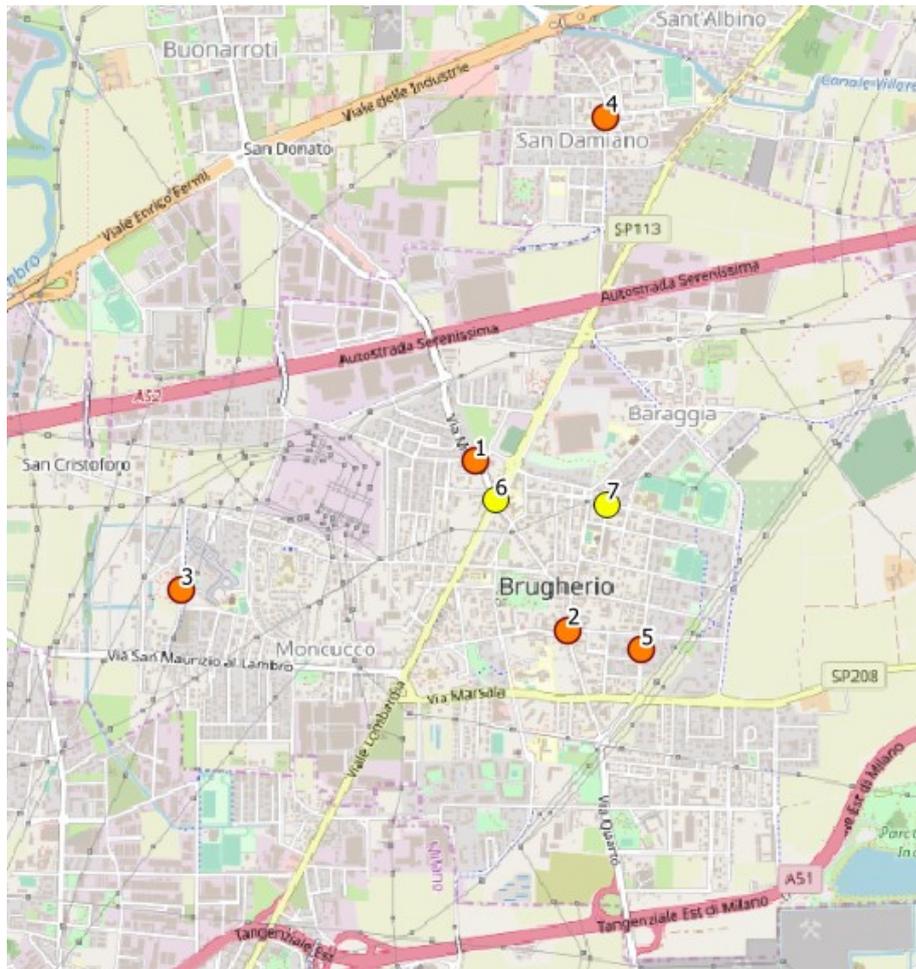


Figura 144: nodi critici nello scenario 3 per la città di Brugherio.

Dato l'esiguo numero di black-spot non si evidenziano raggruppamenti.

Anche le tipologie di nodo risentono di questa situazione, infatti, si può solo evidenziare che la maggior parte (6 su 7 punti neri) sono non semaforizzati o di servizio, quindi regolati da precedenza o stop.

SCENARIO 3: NODI			
ID	280	416	57
NOME	Via Giacomo Matteotti, Via Monza	Via Tre re, Via Angelo Cazzaniga	Via Enrico Fermi, Via San Giovanni Bosco, Piazza Giovanni XXIII
TIPO	Non semaforizzata	Non semaforizzata	Non semaforizzata
N°INC	1	7	3
INC_2014	0	1	0
INC_2015	0	1	1
INC_2016	0	0	1
INC_2017	1	1	0
INC_2018	0	1	0
MORTALI	1	0	0
FERITI	0	7	3
PDO	0	0	0
C-NUM	6	1	2
C-IG	1	4	7
C-TREND	2	4	7
C-TOT	1	2	7

Tabella 58: statistiche dei nodi più critici per lo scenario 3.

Nella tabella 58 sono stati evidenziati 3 nodi critici:

- Il nodo 280, regolato da stop, è 1° in classifica poiché l'incidente mortale falsa sempre le statistiche soprattutto se è l'unico del data set in analisi, infatti nell'intersezione tra via Matteotti e via Monza è avvenuto solo quell'incidente, quindi, potrebbe essere valutato solo come una tragica fatalità, niente di prevedibile.
- Il nodo 416, regolato da precedenza, è più interessante poiché presenta 7 incidenti ed al primo posto in classifica per la probabilità di accadimento.
- Il nodo 57, regolato da stop, è stato scelto poiché secondo in classifica sia per numero di incidenti che per il criterio numerico.

SCENARIO 4 - VELOCIPEDI

Gli incidenti che hanno coinvolto almeno un velocipede nella città di Brugherio sono 168 e danno luogo a 13 nodi e 27 archi critici, in questo caso negli ultimi 10 anni c'è un leggero aumento (0,21) ma negli ultimi 5 c'è stata un'inversione di tendenza (-0,1).

ARCHI

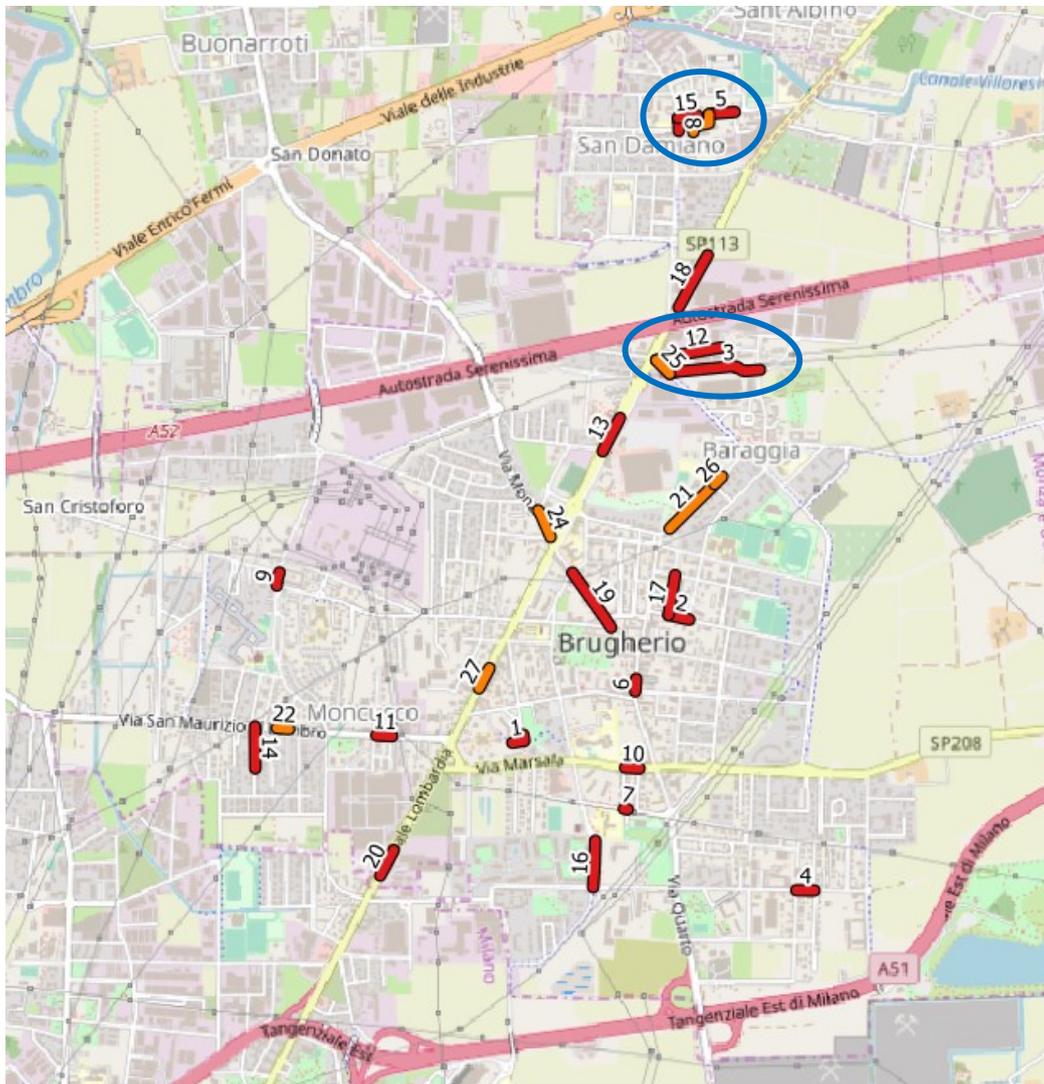


Figura 145: archi critici nello scenario 4 per la città di Brugherio.

Le due principali concentrazioni (evidenziate nella figura 145 con un cerchio blu) sono già state evidenziate e discusse nel capitolo 5.

SCENARIO 4: ARCHI			
ID	844	440	120
NOME	Via Ugo Foscolo	Viale Lombardia	Viale Santa Caterina da Siena
	Via Ugo Foscolo civico 16	Tra n° civico 263 e 275	Tra Via Giovanni Pascoli e Piazza Giovanni XXIII
N°INC	1	9	3
INC_2014	0	1	0
INC_2015	0	1	0
INC_2016	0	4	0
INC_2017	0	1	0
INC_2018	1	1	1
MORTALI	0	0	0
FERITI	1	8	3
PDO	0	1	0
C-NUM	16	1	66
C-IG	2	22	1
C-TREND	2	9	1
C-TOT	1	13	21
NOTE	Assenza di pista ciclabile	Presenza di pista ciclabile	Assenza di pista ciclabile

Tabella 59: statistiche degli archi più critici per lo scenario 4.

Nella tabella 59 sono stati evidenziati 3 archi critici:

- L'arco 844 di via Ugo Foscolo è stato evidenziato solo poiché è 1° in classifica generale ma evidentemente si tratta solo di una particolare combinazione di fattori, infatti, è avvenuto un solo incidente e neanche mortale.
- L'arco 440 di viale Lombardia è l'elemento più interessante, per primo poiché più volte evidenziato nelle precedenti tabelle e secondariamente poiché in questo caso presenta il maggior numero di incidenti ed è anche l'unico che presenta la pista ciclabile. Una possibile spiegazione è che, giustamente, i ciclisti si sentano più sicuri dove è segnalata la loro possibile presenza e gli automobilisti non prestino sufficiente attenzione a queste zone.
- L'arco 10 di viale Santa Caterina da Siena è particolare poiché presenta gli stessi valori di trend e indice di gravità del primo elemento ma avendo un numero di incidenti superiore è primo in classifica per questi due criteri ma in quella generale è solo 21° poiché il numero di incidenti è poco probabile (66° per criterio numerico).

NODI

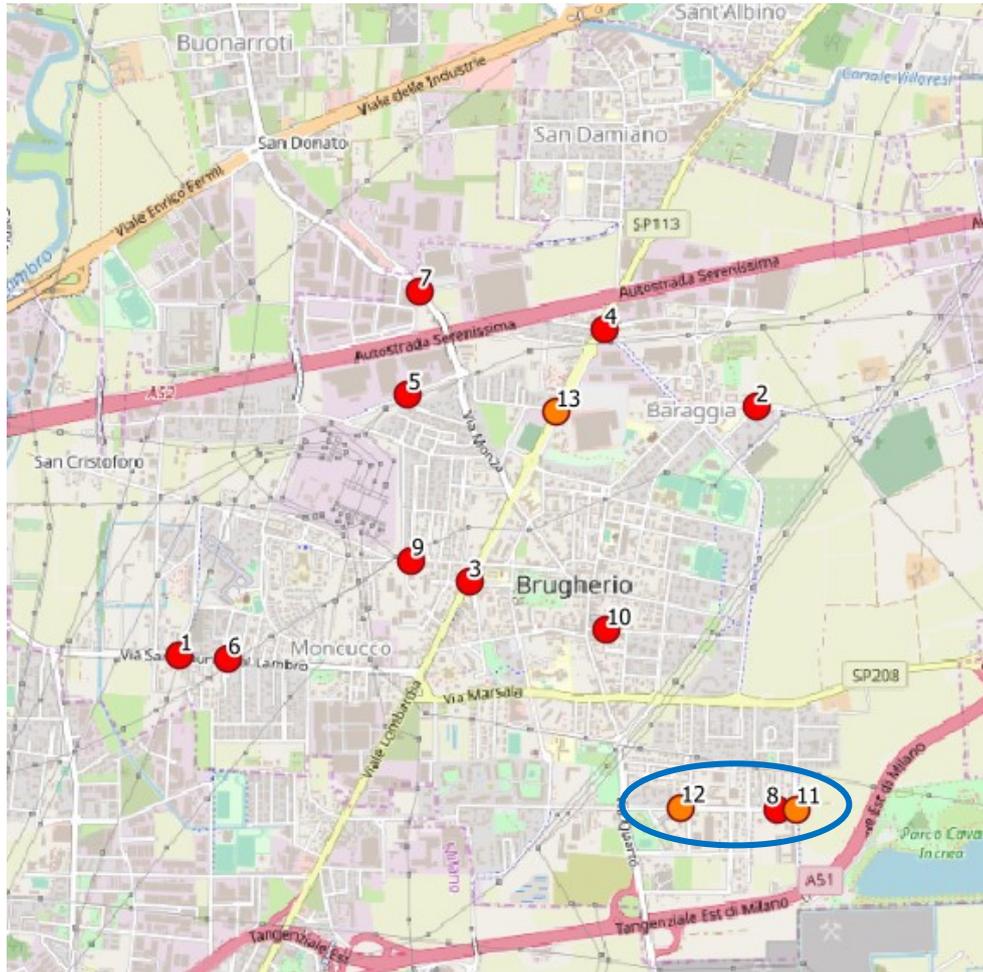


Figura 146: nodi critici nello scenario 4 per la città di Brugherio.

L'unica concentrazione visibile è quella di via Dorderio (cerchia in blu in figura 146) anch'essa già evidenziata nel capitolo 5.

Le tipologie di nodo maggiormente evidenziate come punti neri sono le rotonde (3 elementi per il 14% sul totale di questo elemento strutturale nel territorio) e le intersezioni non semaforizzate (10 elementi per il 3% sul territorio).

SCENARIO 4: NODI			
ID	184	16	61
NOME	Via Paolo Andreani, Via San Maurizio al Lambro	Viale Europa, Viale Lombardia	Via Increa, Via Dorderio
TIPO	Non semaforizzata	Rotatoria	Rotatoria
N°INC	3	7	3
INC_2014	0	0	0
INC_2015	0	0	0
INC_2016	0	1	0
INC_2017	2	0	1
INC_2018	0	0	1
MORTALI	0	0	0
FERITI	3	6	3
PDO	0	1	0
C-NUM	1	4	65
C-IG	2	12	1
C-TREND	2	4	1
C-TOT	1	4	11
NOTE	Assenza di pista ciclabile su uno o più rami	Assenza di pista ciclabile su uno o più rami	Assenza di pista ciclabile su uno o più rami

Tabella 60: statistiche dei nodi più critici per lo scenario 4.

Nella tabella 60 sono descritte le informazioni di 3 nodi critici del territorio per lo scenario 4:

- Il nodo 184, regolato da precedenza, è stato evidenziato poiché è 1° in classifica generale e per criterio numerico, quindi, anche sono avvenuti solo 3 incidenti questi sono stati giudicati dal modello poco probabili.
- Il nodo 16 è quello dove sono avvenuti il maggior numero di incidenti ma considerando sia la gravità (nessuno mortale e uno con solo danni a cose) che un solo evento registrato negli ultimi cinque anni, in classifica generale è solo in 4° posizione.
- Il nodo 61 è evidenziato soprattutto per il trend in aumento e per confronto con l'elemento 184, infatti, considerando che in entrambi gli elementi sono avvenuti 3 incidenti e che uno è primo in classifica per criterio numerico e l'altro sessantacinquesimo si deduce, che nelle rotatorie, è considerato più probabile, per la città di Brugherio, incorrere in un incidente di questo tipo che non in una intersezione a T non semaforizzata.

SCENARIO 5 – VEICOLI A DUE RUOTE MOTORE

Sono 298 gli incidenti che hanno coinvolto almeno un veicolo a due ruote motore a Brugherio negli ultimi 10 anni. I black-spot sono 52 nodi e 20 archi. Nonostante l'alto numero di incidenti si può rilevare un trend in diminuzione sia nei 10 anni (-1,78) che negli ultimi 5 (-0,5).

ARCHI

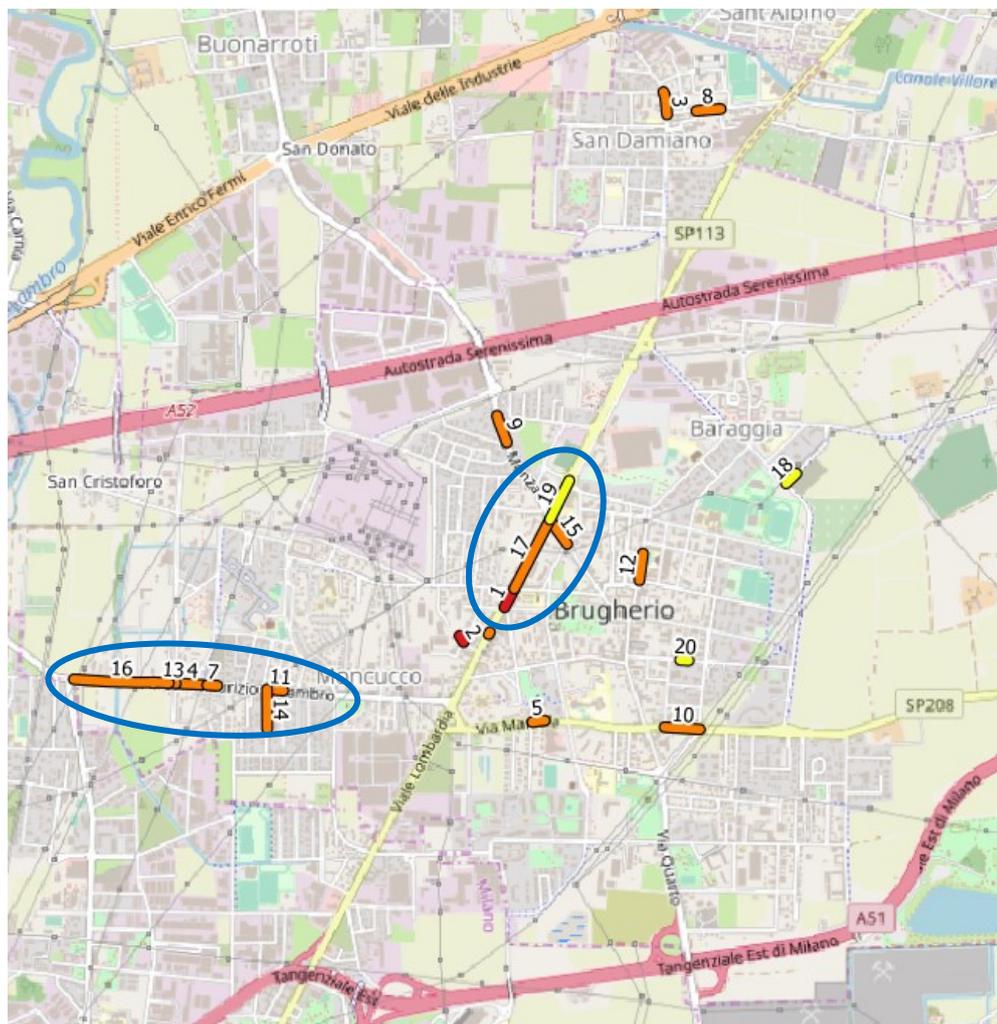


Figura 147: archi critici nello scenario 5 per la città di Brugherio.

Anche in questo caso, visivamente, si possono fare dei commenti: è molto evidente che ci sono dei tratti di strada con un'alta concentrazione di black-spot, si tratta delle parti cerchiare in blu di via San Maurizio al Lambro e viale Lombardia di figura 147.

SCENARIO 5: ARCHI			
ID	867	0	990
NOME	Viale Lombardia	Via Santa Maria	Viale Lombardia
	Tra Via Francesco Baracca e Via Alcide De Gasperi	Numero civico 20	Tra Via Ghisallo e il confine territoriale
N°INC	2	3	7
INC_2014	0	0	0
INC_2015	0	0	1
INC_2016	0	0	2
INC_2017	0	2	0
INC_2018	1	1	0
MORTALI	1	0	0
FERITI	1	1	5
PDO	0	2	2
C-NUM	17	1	11
C-IG	1	18	14
C-TREND	4	1	17
C-TOT	1	2	16

Tabella 61: statistiche degli archi più critici per lo scenario 5.

In tabella 61 vengono riportati 3 archi interessanti per differenti caratteristiche:

- Arco 867 di viale Lombardia viene evidenziato come 1° in classifica generale, soprattutto poiché è avvenuto un incidente mortale nel recente periodo (ultimo anno a disposizione).
- Arco 0 di via Santa Maria presenta 3 incidenti ed è 2° in classifica generale, nonostante abbia un trend in aumento e sia primo anche per la probabilità di accadimento l'indice di gravità è molto minore se confrontato con l'incidente mortale.
- Arco 990 di via San Maurizio al Lambro è stato selezionato poiché l'arco con più incidenti per questo scenario anche se è solo 16° in classifica generale poiché per questo elemento il numero di incidenti avvenuti è considerato abbastanza probabile e negli ultimi due anni non si sono verificati incidenti.

NODI

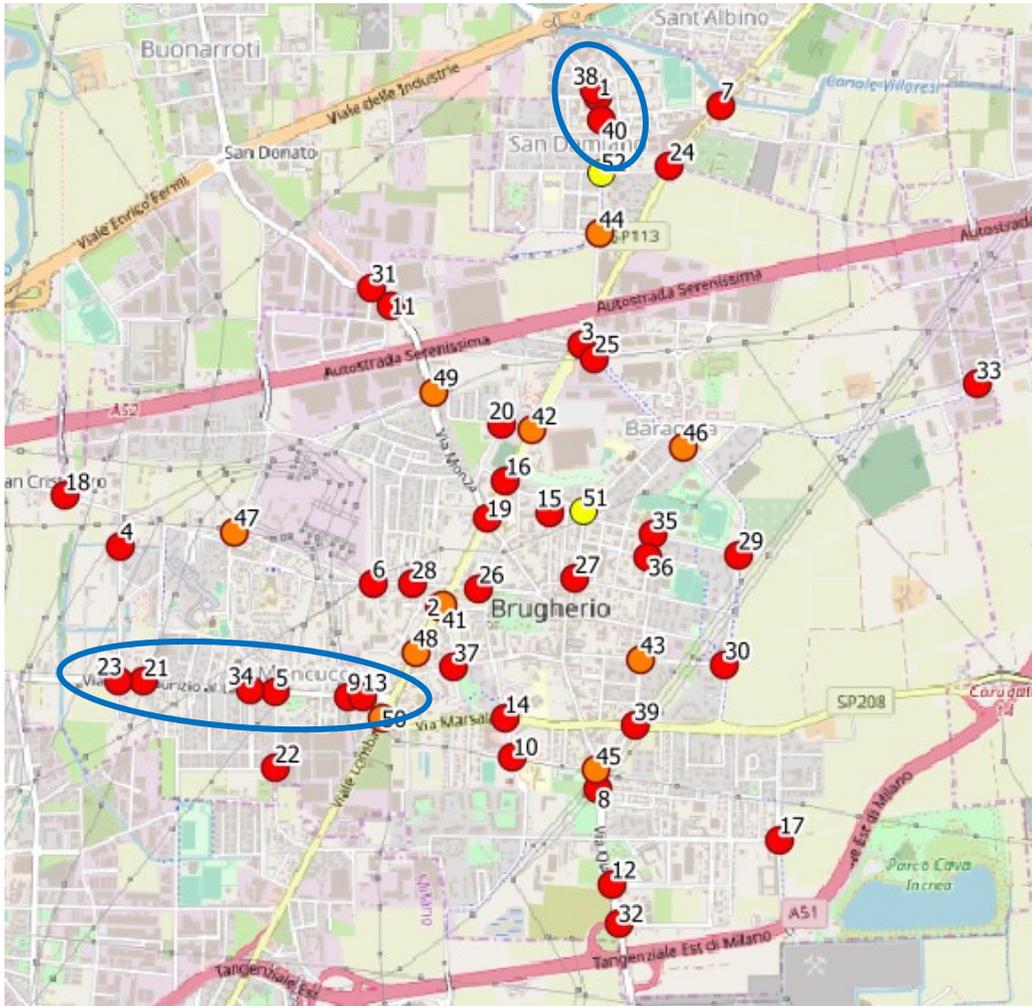


Figura 148: nodi critici nello scenario 5 per la città di Brugherio.

Sono presenti molti punti neri ma risultano ben distribuiti sul territorio, sono due le peculiarità riscontrabili (evidenziate in blu in figura 148): una particolare aggregazione in viale della Vittoria al centro di San Damiano e 6 punti neri su via San Maurizio al Lambro senza però alcuna aggregazione.

Tra le tipologie di nodi maggiormente evidenziate si registrano sempre 30 intersezioni non semaforizzate ma il dato più interessante sono le 10 rotatorie che rappresentano quasi la metà di quelle presenti sul territorio (48%).

SCENARIO 5: NODI			
ID	256	83	478
NOME	Viale della Vittoria, Via Piave	Viale Lombardia, Via San Giuseppe	Via Adda, Viale Lombardia, Via Sant'Anna
TIPO	Non semaforizzata	Non semaforizzata	Non semaforizzata
N°INC	3	3	7
INC_2014	0	0	1
INC_2015	0	0	0
INC_2016	1	0	0
INC_2017	1	0	0
INC_2018	1	1	1
1MORTALI	0	0	0
FERITI	3	3	7
PDO	0	0	0
C-NUM	11	3	1
C-IG	1	2	31
C-TREND	1	2	31
C-TOT	1	2	7

Tabella 62: statistiche dei nodi più critici per lo scenario 5.

In tabella 62 vengono riportati 3 nodi interessanti per differenti caratteristiche:

- Nodo 256, regolato da stop, viene segnalato poiché è primo in classifica sia per le lesioni (tutti con feriti) che per la serie storica, infatti, tutti e 3 gli incidenti sono avvenuti negli ultimi tre anni (uno all'anno). Infine, è 1° anche in classifica generale.
- Nodo 83, regolato da precedenza, è interessante per fare un confronto con il precedente, infatti, è 2° in classifica solo per un dato sulla serie storica meno interessante.
- Nodo 478, regolato da precedenza, viene citata perché presenta il numero di incidenti più elevato per lo scenario ed è anche prima per il criterio numerico, quindi, è considerata come un'eccezione da monitorare.

SCENARIO 6 – BAMBINI COINVOLTI

In questo scenario dove sono inclusi gli incidenti in cui è coinvolto almeno un bambino (età fino a 14 anni) si registrano 58 incidenti e 8 nodi e 9 archi critici. La parte più importante è che si evidenzia un trend in leggero aumento sia nei 10 anni (0,13) che negli ultimi 5 (0,3).

ARCHI

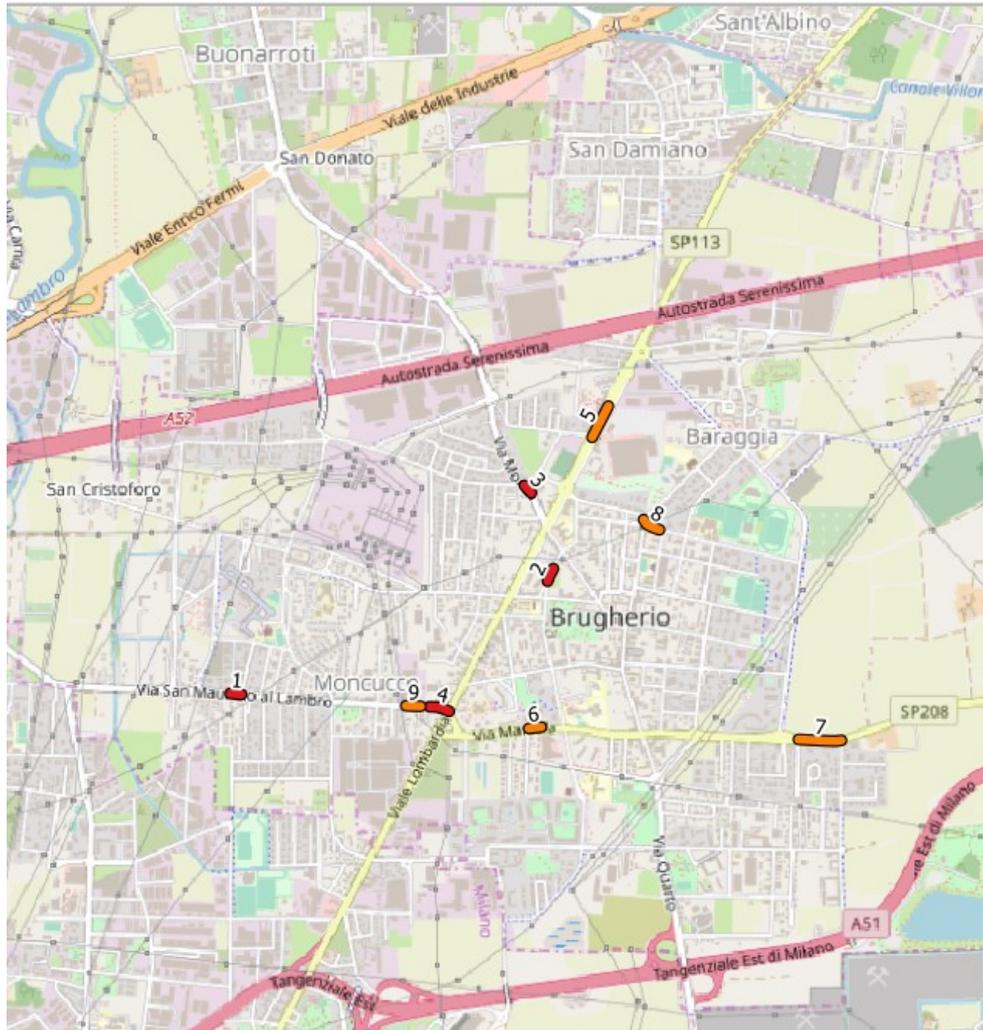


Figura 149: archi critici nello scenario 6 per la città di Brugherio.

Data il numero esiguo di archi critici non si rilevano particolari raggruppamenti o concatenazioni.

SCENARIO 6: ARCHI			
ID	394	440	1031
NOME	Via San Maurizio al Lambro	Viale Lombardia	Via dei Mille
	Numero civico 36	Tra n° civico 263 e 275	Tra Via Increa e Via Carlo Pisacane
N°INC	1	3	2
INC_2014	0	0	1
INC_2015	0	0	0
INC_2016	0	1	0
INC_2017	0	0	1
INC_2018	0	1	0
MORTALI	0	0	0
FERITI	1	1	2
PDO	0	2	0
C-NUM	2	1	6
C-IG	4	10	1
C-TREND	4	1	8
C-TOT	1	5	7

Tabella 63: statistiche degli archi più critici per lo scenario 6.

In tabella 63 vengono riportati 3 archi che il modello definisce critici per differenti aspetti:

- Arco 394 di via San Maurizio al Lambro nonostante sia 1° in classifica generale non presenta alcun elemento di spicco tra i criteri, la conclusione è che offre la migliore combinazione di punteggi per lo scenario in esame.
- Arco 440 di viale Lombardia presenta il numero di incidenti più elevato ed è primo sia per il criterio numerico che quello temporale (infatti, due dei tre incidenti sono avvenuti negli ultimi tre anni).
- Arco 1031 di via dei Mille viene segnalato poiché, in entrambi gli incidenti avvenuti, sono stati registrati dei feriti, quindi è primo per il criterio sulle lesioni.

NODI

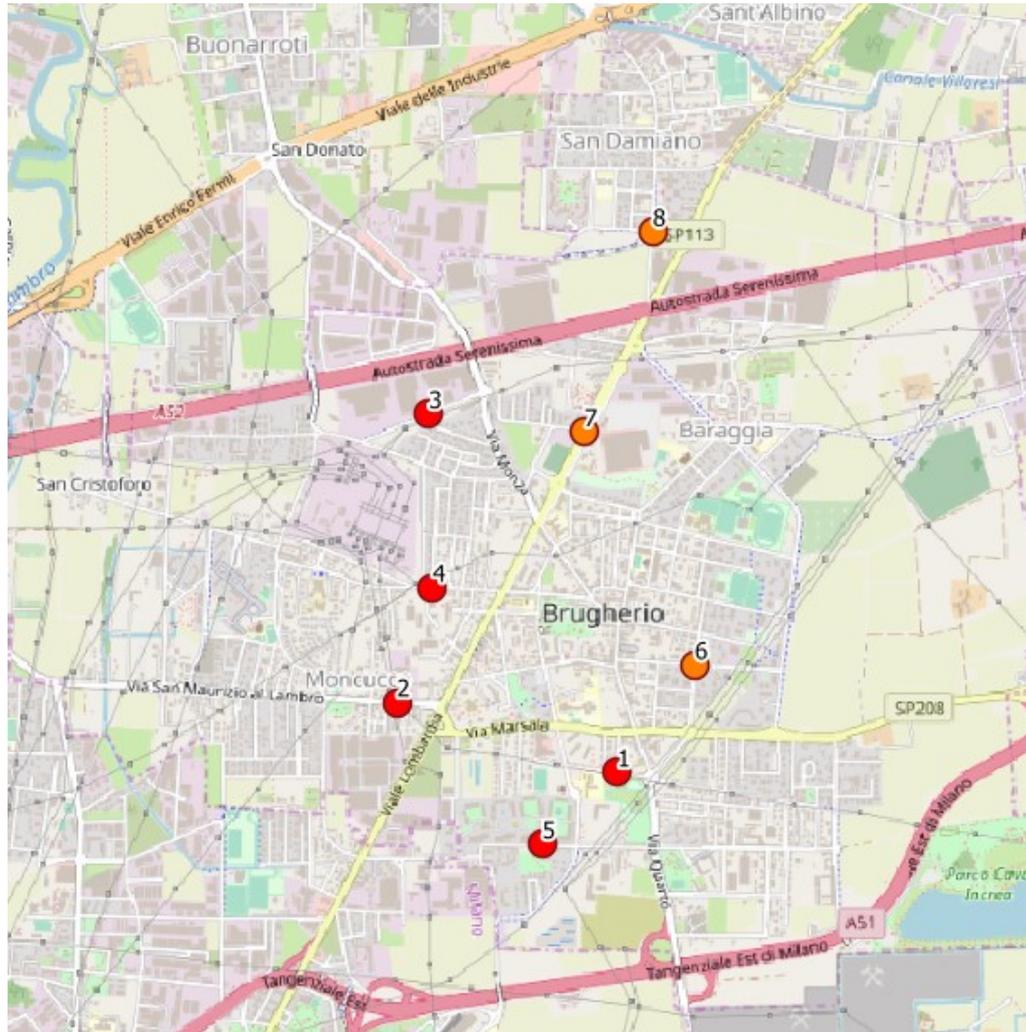


Figura 150: nodi critici nello scenario 6 per la città di Brugherio.

Nell'analisi grafica di figura 150 si rileva che i punti neri sono quasi equidistanti tra loro, quindi, nessuna particolare aggregazione viene riscontrata.

Anche tra le tipologie di nodo non si riscontrano particolarità, si può notare, però, che non è evidenziata, come critica, alcuna intersezione semaforizzata.

SCENARIO 6: NODI			
ID	29	127	19
NOME	Via Giacomo Balconi, Via XXV Aprile	Via San Maurizio al Lambro nei pressi del civico 29	Viale Lombardia, Via Maria Cajani
TIPO	Non semaforizzata	Uscita di servizio	Rotatoria
N°INC	1	1	3
INC_2014	0	0	1
INC_2015	0	0	0
INC_2016	0	0	0
INC_2017	1	0	0
INC_2018	0	0	0
MORTALI	0	0	0
FERITI	1	1	3
PDO	0	0	0
C-NUM	6	1	4
C-IG	3	4	7
C-TREND	3	4	9
C-TOT	1	2	7

Tabella 64 statistiche dei nodi più critici per lo scenario 6.

In tabella 64 vengono riportati 3 nodi interessanti per differenti caratteristiche:

- Nodo 29 regolato da precedenza, come per gli archi, l'elemento è 1° in classifica poiché presenta la migliore combinazione di punteggi.
- Nodo 127 regolato da precedenza, viene evidenziato poiché è primo per il criterio numerico anche se è avvenuto un solo incidente, il motivo per cui è ritenuto così improbabile è che è stato registrato in un'intersezione con una strada privata.
- Nodo 19 rotatoria è interessante poiché sono avvenuti 3 incidenti e in correlazione con l'arco 440 (dove si sono registrati 3 incidenti nel medesimo scenario) si può far presente che entrambi gli elementi sono locati nei pressi di un forte attrattore come un centro commerciale.

SCENARIO 7 - VELOCITÀ

Gli incidenti legati ad una velocità non corretta sono 107 e determinano 22 black-spot tra gli archi e 18 tra i nodi. Il trend è quasi stabile nei 10 anni (0,09) e in diminuzione negli ultimi 5 (-0,4).

ARCHI

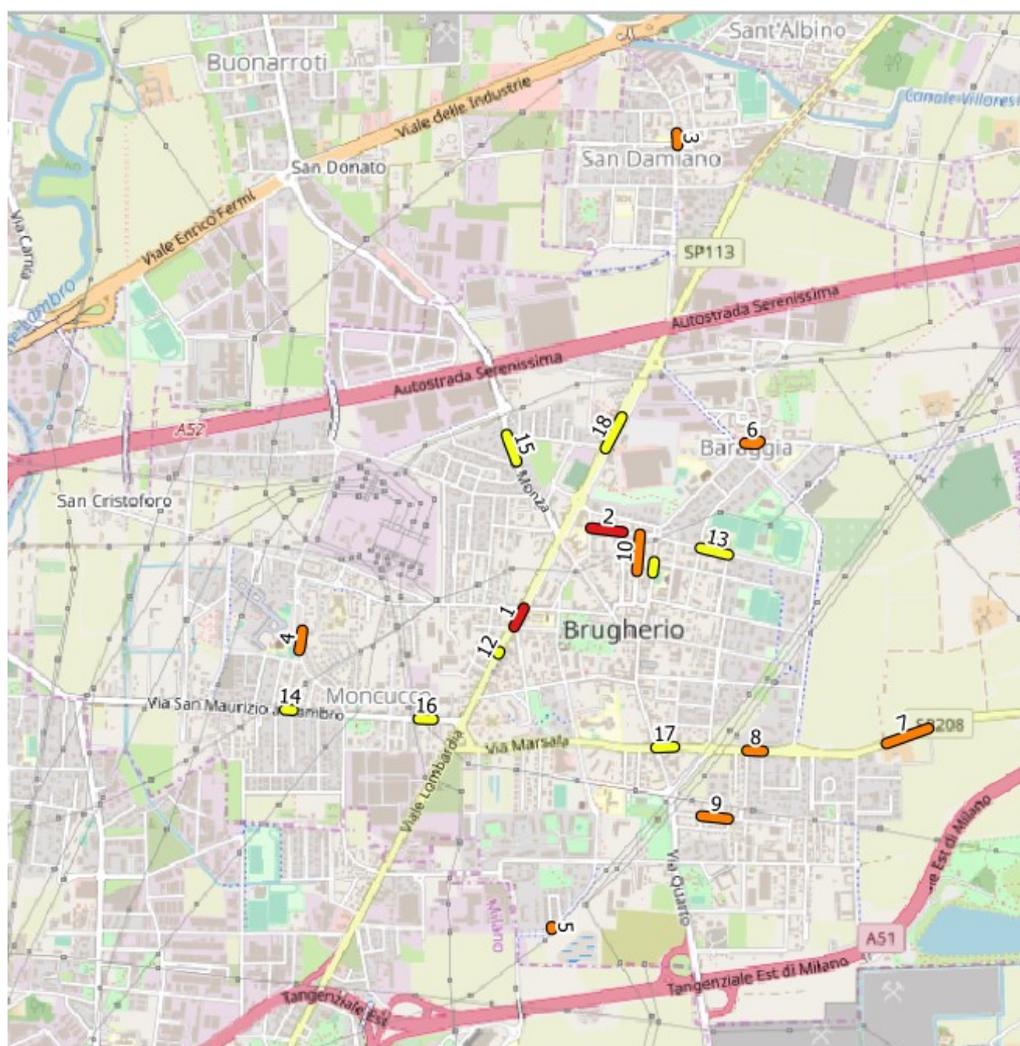


Figura 151: archi critici nello scenario 7 per la città di Brughiero.

Nonostante l'eccesso di velocità sia tra le prime cause d'incidente soprattutto negli archi, nel territorio di Brughiero, non si registrano aggregazioni tali da suggerire una via particolarmente problematica.

SCENARIO 7: ARCHI			
ID	867	338	221
NOME	Viale Lombardia	Via Federico Sciviero	Via dei Mille
	Tra Via Francesco Baracca e Via Alcide De Gasperi	Tra Via Sabotino e Via Antonio Gramsci	Nei presi della cascina Sant' Ambrogio
N°INC	2	2	3
INC_2014	0	0	1
INC_2015	0	0	0
INC_2016	0	2	0
INC_2017	1	0	1
INC_2018	1	0	0
MORTALI	1	1	0
FERITI	1	1	2
PDO	0	0	1
C-NUM	8	3	1
C-IG	1	2	11
C-TREND	1	6	14
C-TOT	1	2	7

Tabella 65: statistiche degli archi più critici per lo scenario 7.

Nella tabella 65 sono stati evidenziati 3 archi critici:

- Arco 867 di viale Lombardia viene segnalato poiché è 1° in classifica e, in questo scenario, non solo poiché è avvenuto un incidente mortale ma perché il trend è in aumento (entrambi gli incidenti avvenuti sono stati rilevati negli ultimi due anni).
- Arco 338 di via Federico Sciviero viene segnalato poiché anche in questo elemento si è registrata una vittima ma è secondo in classifica generale poiché gli incidenti si sono registrati nel 2016.
- Arco 221 di via dei Mille è interessante poiché il modello ritiene poco probabile l'avvenimento di 3 incidenti (primo in classifica per criterio numerico). In realtà quest'ultimo tratto è molto esterno e collocato quasi in ambiente extraurbano dove tipicamente la velocità massima consentita viene superata ma non rientra tra i parametri del modello.

NODI

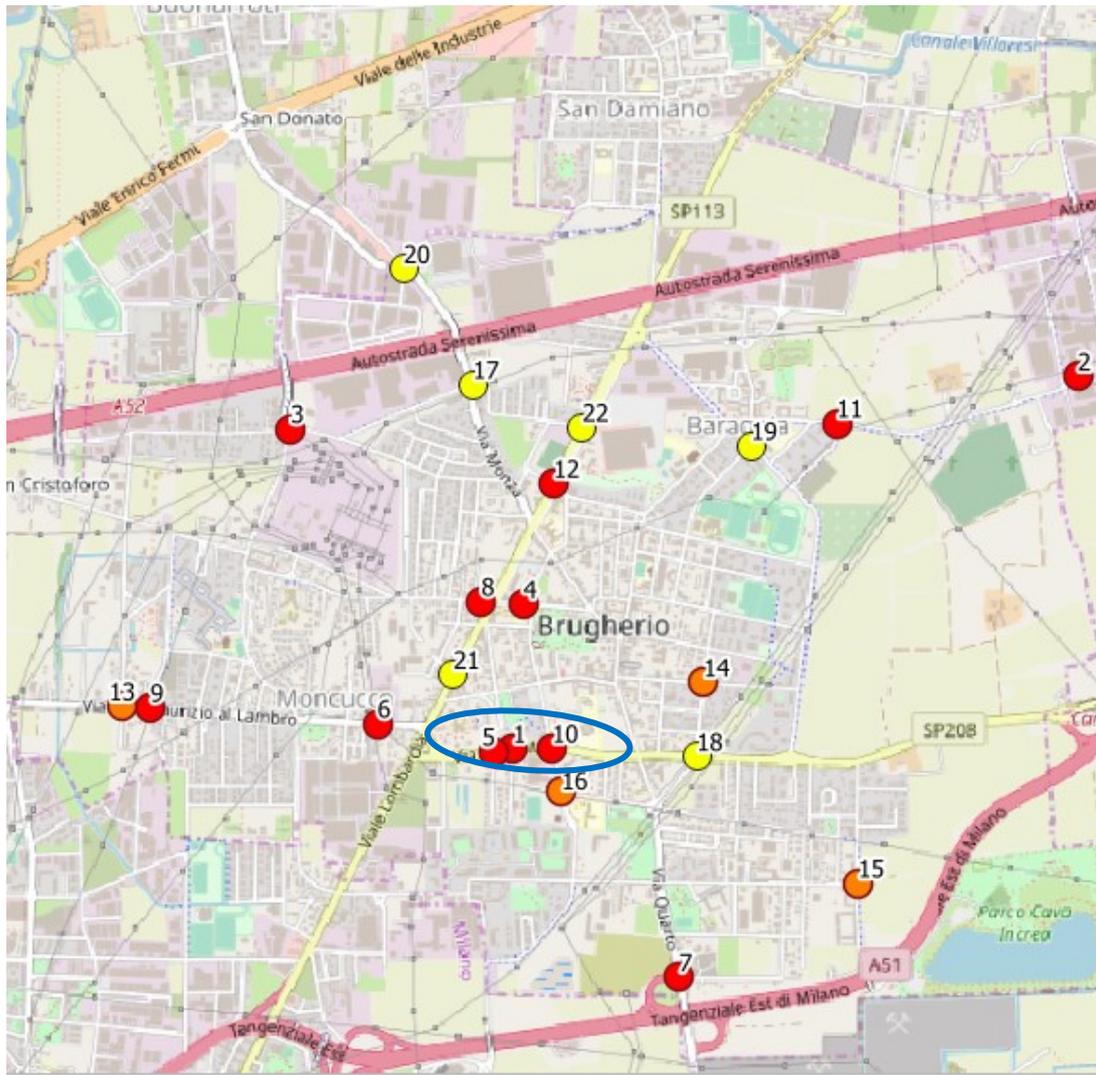


Figura 152: nodi critici nello scenario 7 per la città di Brughiero.

Si registra una particolare aggregazione di nodi critici nel tratto di via Marsala evidenziato in blu in figura 152.

Tra le tipologie di nodo più evidenziate ci sono le rotatorie (7 che rappresentano il 33% di quelle presenti sul territorio).

SCENARIO 7: NODI			
ID	21	225	26
NOME	Via Marsala, Via Nino Bixio	Via San Maurizio al Lambro, Via Monte Cervino	Via XXV Aprile, Via John e Robert Kennedy
TIPO	Non semaforizzata	Non semaforizzata	Non semaforizzata
N°INC	1	2	3
INC_2014	0	0	1
INC_2015	0	2	0
INC_2016	0	0	1
INC_2017	0	0	0
INC_2018	1	0	0
MORTALI	0	0	0
FERITI	1	2	1
PDO	0	0	2
C-NUM	2	1	8
C-IG	1	16	17
C-TREND	1	17	18
C-TOT	1	13	16

Tabella 66: statistiche dei nodi più critici per lo scenario 7.

Nella tabella 66 sono stati evidenziati 3 nodi interessanti per differenti aspetti:

- Nodo 21, regolato da precedenza, dato che vi è stato rilevato 1 solo incidente ma con feriti e nell'ultimo anno, l'elemento, primo per criterio sulle lesioni e temporale, diventa 1° anche in classifica generale. Questa valutazione non perfetta del modello dipende soprattutto dallo scenario che si sta analizzando, infatti, il numero massimo di incidenti riscontrati in un nodo è pari a 3.
- Nodo 225, regolato da precedenza, viene segnalato perché improbabile che avvengano 2 incidenti (è primo per il criterio numerico).
- Nodo 26, regolato da precedenza, viene scelto perché presenta il numero di incidenti più elevato per questo contesto, ma è solo 16° in classifica generale poiché, su 3 incidenti, 2 riportano solo danni a cose e negli ultimi 2 anni non ci sono stati incidenti (trend in diminuzione).

SCENARIO 8 – REGOLE DI CIRCOLAZIONE

A questo scenario appartengono 309 incidenti che determinano 67 nodi e 13 archi critici, questa disparità è dovuta al fatto che il non rispetto della precedenza, dello stop o del semaforo è tipico degli incidenti avvenuti nelle intersezioni. L'analisi temporale mostra stabilità nel lungo periodo (in 10 anni -0,02) e un leggero aumento negli ultimi 5 anni (0,3).

ARCHI

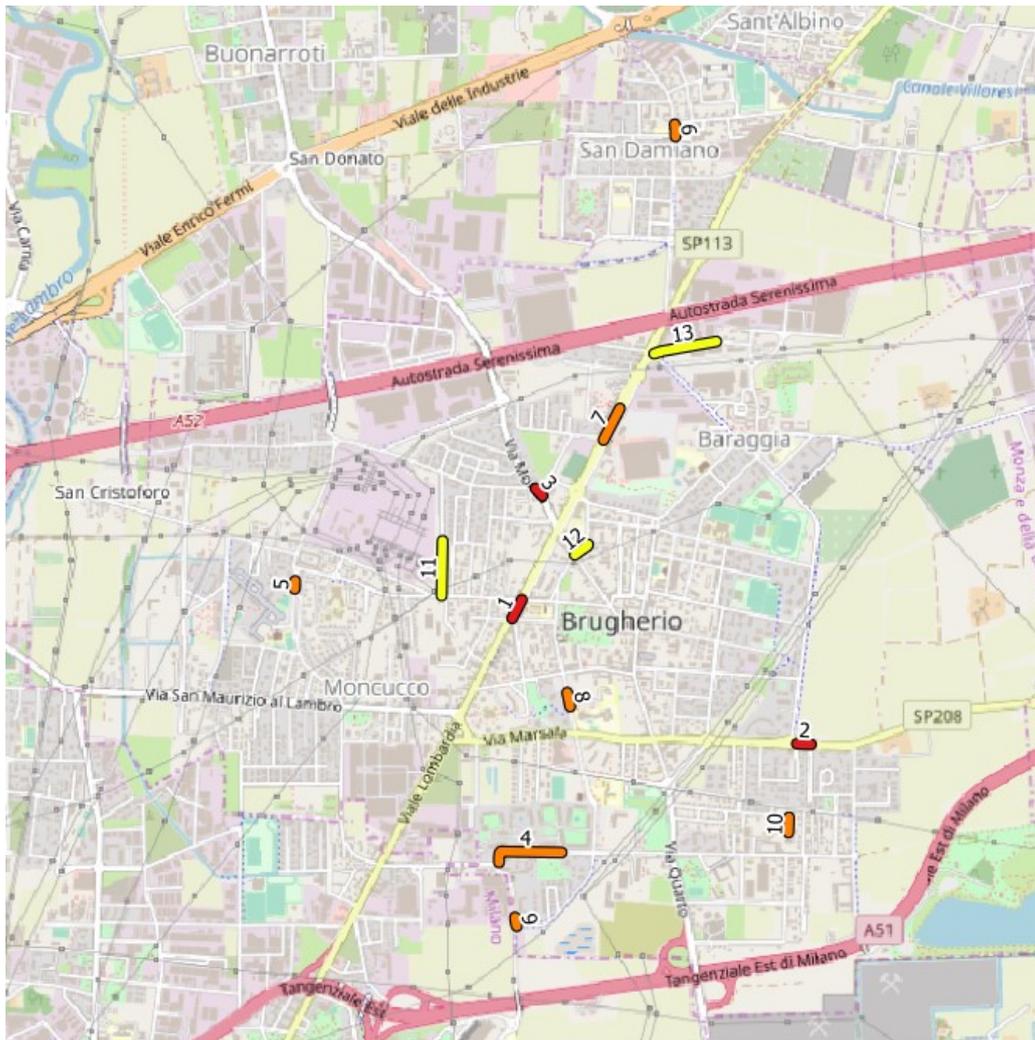


Figura 153: archi critici nello scenario 8 per la città di Brugherio.

Come già descritto nelle note di apertura in questo scenario sono i nodi i protagonisti, infatti anche graficamente non si riscontrano delle concentrazioni significative di archi in figura 153.

SCENARIO 8: ARCHI			
ID	867	1020	440
NOME	Viale Lombardia	Via dei Mille	Viale Lombardia
	Tra Via Francesco Baracca e Via Alcide De Gasperi	Tra Via Carlo Pisacane e Via Italo Calvino	Tra n° civico 263 e 275
N°INC	2	2	8
INC_2014	0	0	2
INC_2015	0	0	1
INC_2016	0	0	1
INC_2017	0	0	1
INC_2018	1	2	1
MORTALI	1	0	0
FERITI	1	2	7
PDO	0	0	1
C-NUM	4	3	1
C-IG	1	2	12
C-TREND	4	1	13
C-TOT	1	2	7

Tabella 67: statistiche degli archi più critici per lo scenario 8.

Nella tabella 67 sono stati scelti i 3 archi critici più interessanti:

- Arco 867 di viale Lombardia è stato ritenuto importante per il rilevamento di 1 incidente mortale, questo determina l'essere 1° in classifica per le lesioni e anche in quella generale (poiché è l'unico di questo scenario).
- Arco 1020 di via dei Mille viene evidenziato dal modello come primo per criterio temporale, infatti, gli unici due incidenti riscontrati sono avvenuti nell'ultimo anno di rilevazioni disponibile.
- Arco 440 di viale Lombardia presenta 8 eventi incidentali ed è primo per criterio numerico indicando una bassa probabilità di accadimento per questo elemento in questo scenario.

NODI

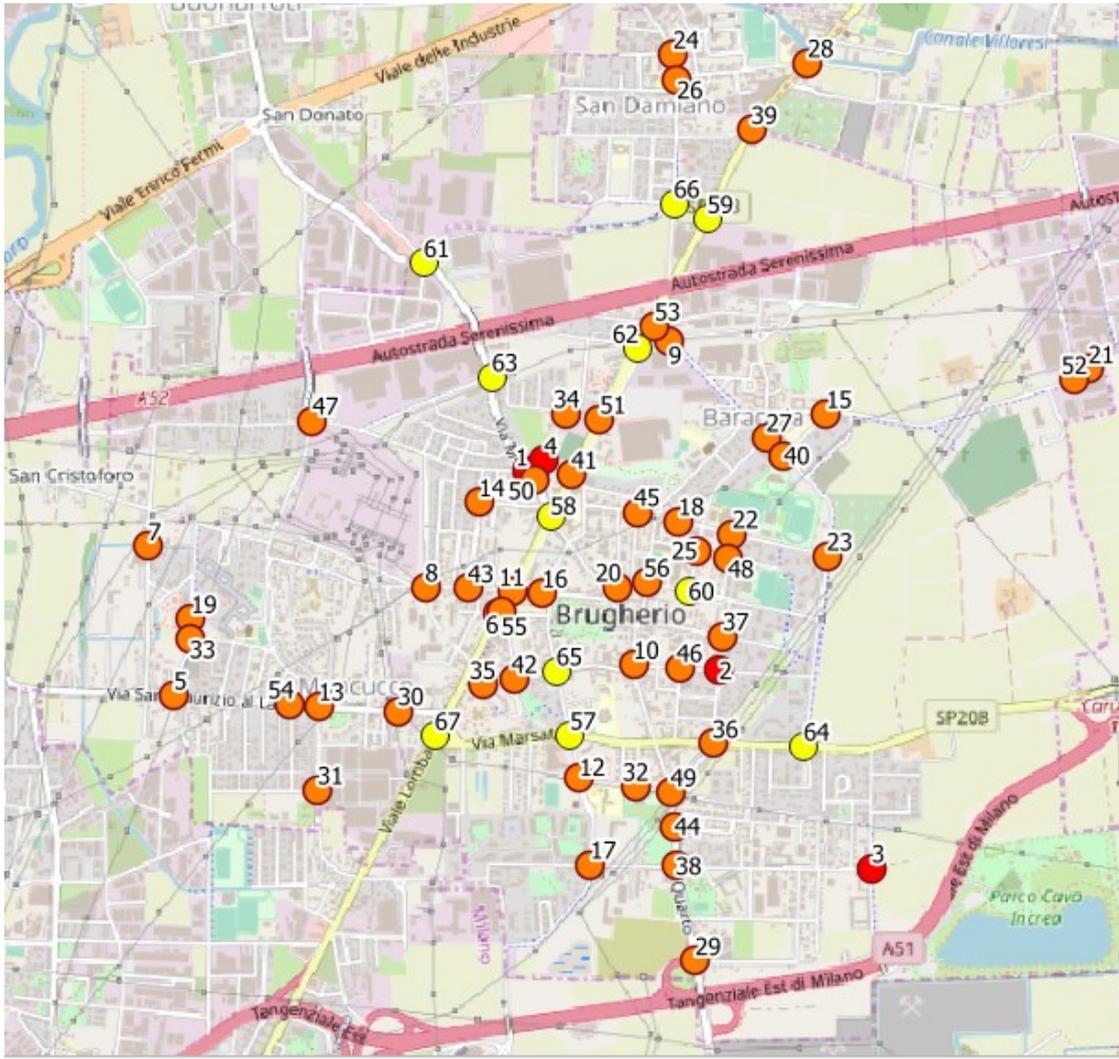


Figura 154: nodi critici nello scenario 8 per la città di Brugherio.

Dal punto di vista grafico lo scenario appare opposto a quello per gli archi (figura 153), cioè vi sono molti punti critici ma il risultato è lo stesso: non si riescono ad individuare delle zone a più alta densità di altre.

Interessanti sono le statistiche sulla tipologia dei nodi, infatti, si riscontrano tra quelli critici, 41 intersezioni non semaforizzate e 13 rotonde (che rappresentano il 62% di quelle totali presenti sul territorio), quindi, si può affermare che le infrazioni più diffuse, causa di incidenti, sono il mancato rispetto del segnale di precedenza o stop.

SCENARIO 8: NODI			
ID	280	521	159
NOME	Via Giacomo Matteotti, Via Monza	Via Santa Clotilde, Via Angelo Cazzaniga	Via Quarto, svincolo A51
TIPO	Non semaforizzata	Non semaforizzata	Non semaforizzata
N°INC	1	14	6
INC_2014	0	1	1
INC_2015	0	2	0
INC_2016	0	1	0
INC_2017	1	6	0
INC_2018	0	1	0
MORTALI	1	0	0
FERITI	0	11	4
PDO	0	3	2
C-NUM	50	15	1
C-IG	1	40	51
C-TREND	17	2	56
C-TOT	1	2	29

Tabella 68: statistiche dei nodi più critici per lo scenario 8.

Nella tabella 68 sono stati evidenziati 3 nodi critici:

- Nodo 280, regolato da stop, è avvenuto un incidente mortale, già analizzato come una fatalità, ma che ovviamente incidente sul modello (1° sia per criterio sulle lesioni che in classifica generale).
- Nodo 521 è interessante poiché è 2° in classifica ma solo quindicesima per criterio numerico anche se sono avvenuti 14 incidenti. Il motivo potrebbe essere ricercato nella tipologia, l'intersezione non semaforizzata, regolata da stop, a 4 rami non è molto frequente nella città di Brugherio (cioè ci sono pochi altri elementi con cui fare il confronto). Di ulteriore interesse è la serie storica che presenta un picco di 6 incidenti nel 2017, infatti, si potrebbe analizzare se ci sono state delle modifiche temporanee all'ambiente esterno in quel periodo che potrebbero aver determinato questa escalation (primo per criterio temporale) che fortunatamente non ha prodotto vittime.
- Nodo 159, regolato da stop, anche questo elemento è già stato segnalato come critico per la probabilità di accadimento di un considerevole numero di incidenti, confermandosi anche in questo scenario (primo per il criterio numerico).

SCENARIO 10 – FONDO STRADALE NON ASCIUTTO

I 222 incidenti con fondo stradale non asciutto hanno determinato 33 black-spot per i nodi e 19 per gli archi. Il trend è in forte diminuzione -1,83 in 10 anni e -2,3 negli ultimi 5.

ARCHI

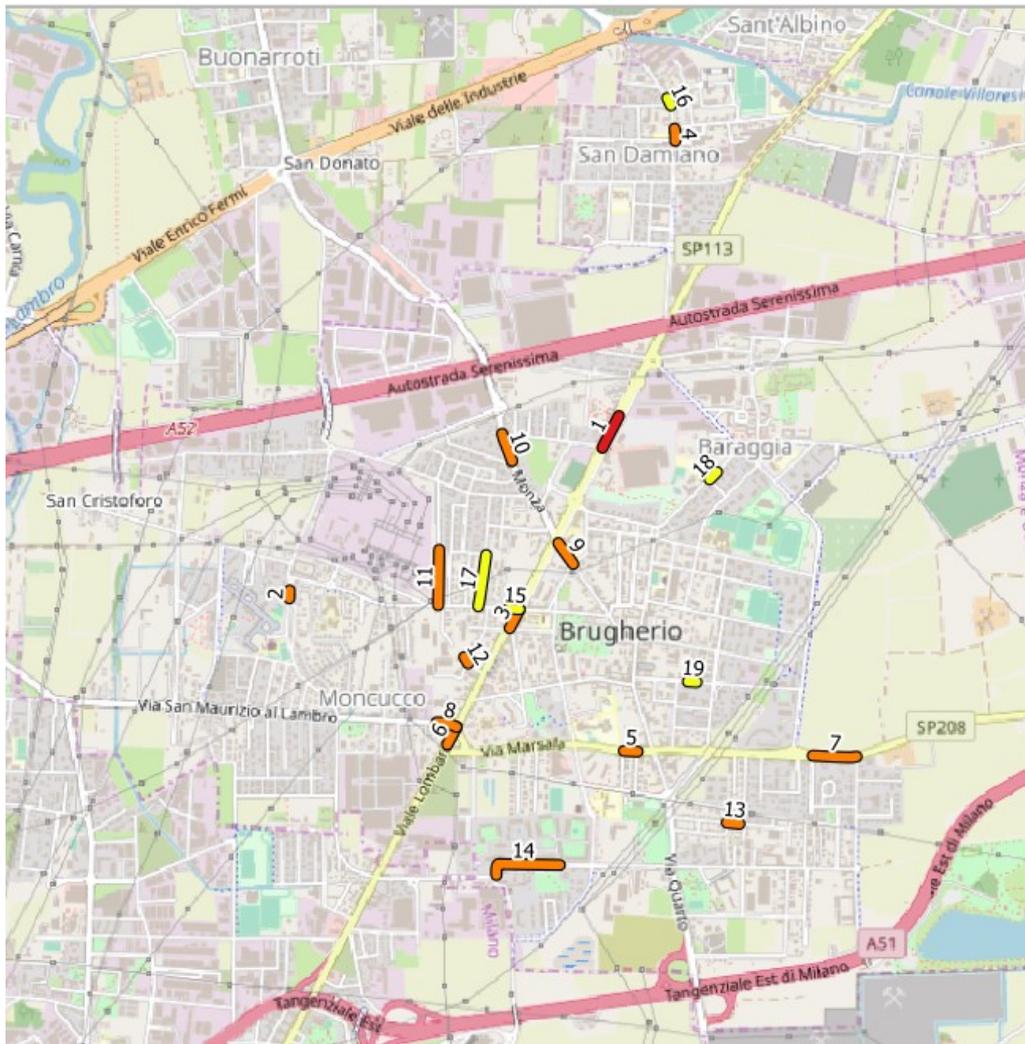


Figura 155: archi critici nello scenario 10 per la città di Brughiero.

In figura 155 non si rilevano addensanti o concatenazioni di archi critici.

SCENARIO 10: ARCHI			
ID	440	1031	570
NOME	Viale Lombardia	Via dei Mille	Viale Vittorio Veneto
	Tra il numero civico 263 e 275	Tra Via Giacomo Balconi e via Giuseppe Toniolo	Tra Viale Lombardia e Via Sabotino
N°INC	5	3	2
INC_2014	0	0	1
INC_2015	0	0	0
INC_2016	1	0	0
INC_2017	0	2	0
INC_2018	2	0	0
MORTALI	0	0	0
FERITI	3	1	2
PDO	2	2	0
C-NUM	1	10	12
C-IG	7	12	1
C-TREND	1	4	19
C-TOT	1	7	9

Tabella 69: statistiche degli archi più critici per lo scenario 10.

In tabella 69 vengono riportati i principali archi critici che si distinguono per differenti aspetti:

- Arco 440 di viale Lombardia può essere considerato critico per diversi motivi tra cui il criterio numerico e quello temporale, questo determina anche la 1° posizione in classifica generale.
- Arco 1031 di via dei Mille è stato scelto poiché presenta 3 incidenti (è secondo per numero di incidenti avvenuti ma non è un criterio, infatti, è solo 7° in classifica generale).
- Arco 570 di viale Vittorio Veneto viene segnalato poiché primo per il criterio sulle lesioni infatti, presenta entrambi gli incidenti accaduti con feriti.

NODI

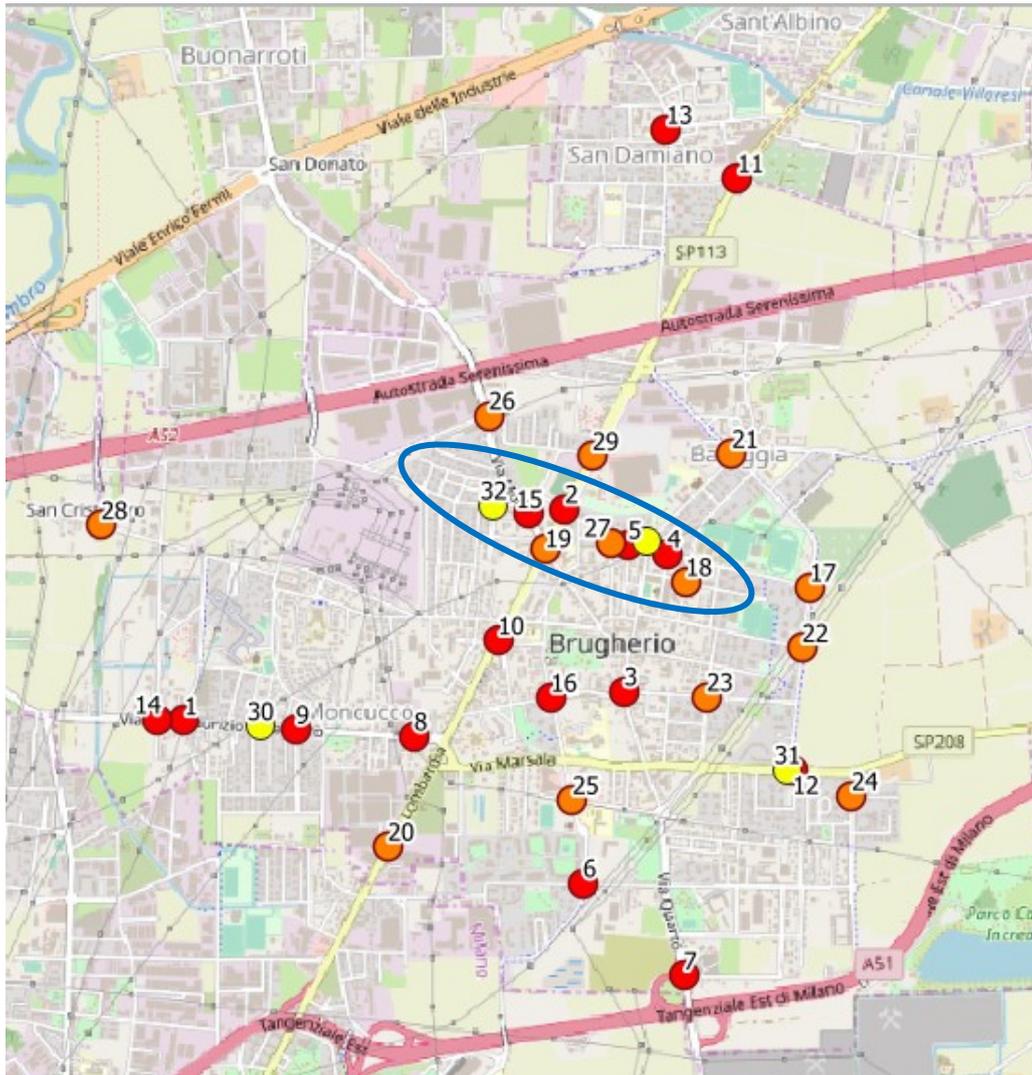


Figura 156: nodi critici nello scenario 10 per la città di Brugherio.

In questo scenario si possono distinguere due zone ad alta densità (cerchiate in blu in figura 156): la prima interessa le vie Sciviero, Lombardia e Monza, invece la seconda la via San Maurizio al Lambro.

Non ci sono particolari dislivelli nelle tipologie di nodo evidenziate: 21 non semaforizzate (7%), 6 rotonde (29%), 4 semaforizzate (22%).

SCENARIO 10: NODI			
ID	184	363	521
NOME	Via Paolo Andreani, Via san Maurizio al Lambro	Via Giuseppe Mazzini, Via Federico Sciviero	Via Santa Clotilde, Via Angelo Cazzaniga
TIPO	Non semaforizzata	Non semaforizzata	Non semaforizzata
N°INC	3	1	6
INC_2014	0	0	1
INC_2015	0	0	2
INC_2016	0	0	2
INC_2017	1	0	1
INC_2018	0	1	0
MORTALI	0	0	0
FERITI	3	1	4
PDO	0	0	2
C-NUM	5	30	14
C-IG	2	1	17
C-TREND	3	1	33
C-TOT	1	5	23

Tabella 70: statistiche dei nodi più critici per lo scenario 10.

In tabella 70 si sono analizzati nello specifico 3 nodi, risultati di interesse per specifiche ragioni:

- Nodo 184, regolato da precedenza, viene scelto poiché 1° in classifica generale, risulta tale non per una caratteristica in particolare ma per la migliore combinazione tra i punteggi.
- Nodo 363, regolato da stop, viene individuato poiché è primo in classifica sia per criterio temporale che sulle lesioni, ma con un solo incidente avvenuto non è possibile ritenerlo pericoloso.
- Nodo 521, regolato da stop, sono avvenuti 6 incidenti ma come rilevato questa intersezione è particolare, quindi, non risalta nel criterio numerico. Si può iniziare a identificare un problema visto che 6 incidenti su 18 totali sono avvenuti con fondo non asciutto soprattutto se togliamo dal totale quelli avvenuti nel 2017 (qui infatti ce ne sono solo uno) che si possono definire in circostanze separate come rilevato in tabella 68.

SCENARIO 11 – CONDIZIONI CLIMATICHE AVVERSE

Lo scenario degli incidenti avvenuti con condizioni meteorologiche non serene conta 327 incidenti e 52 nodi e 43 archi critici. La similarità con il precedente scenario (numero 10) è evidente anche nel trend: -1,87 in 10 anni e -4 negli ultimi 5 (forte diminuzione).

ARCHI

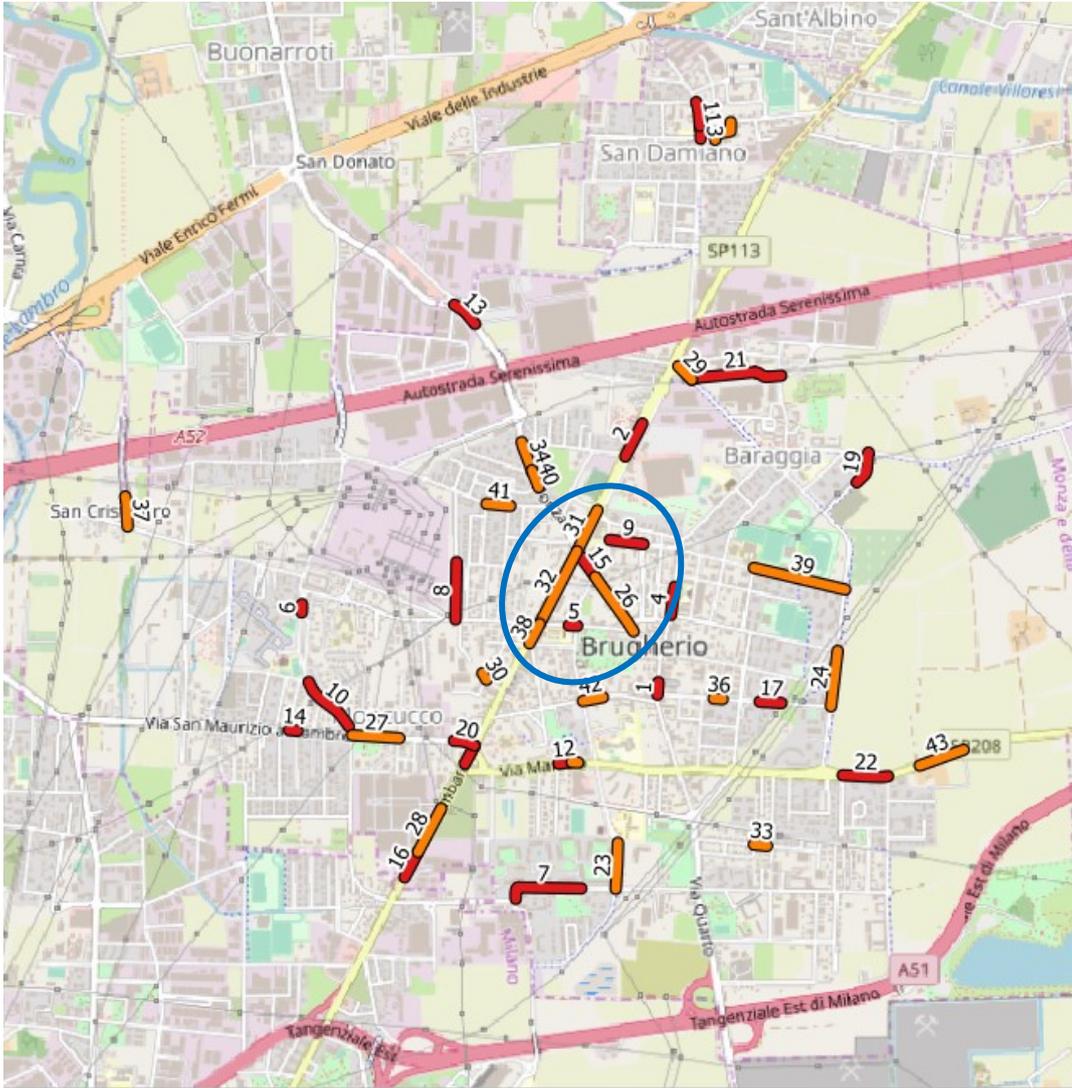


Figura 157: archi critici nello scenario 11 per la città di Brughiero.

In questo scenario, grazie anche all'elevato numero di archi critici, si evidenzia graficamente (in figura 157 cerchiati in blu) un'aggregazione (in questo caso una concatenazione di elementi) su viale Lombardia e viale Vittorio Veneto.

SCENARIO 11: ARCHI			
ID	710	440	548
NOME	Via Tre Re	Viale Lombardia	Viale della Vittoria
	Tra Via Angelo Cazzaniga e Via Ghirlanda	Tra il numero civico 263 e 275	Tra Via Filippo Corridoni e Via Sant'Anna
N°INC	1	8	2
INC_2014	0	1	0
INC_2015	0	0	0
INC_2016	0	1	0
INC_2017	0	1	0
INC_2018	1	2	0
MORTALI	0	0	0
FERITI	1	5	2
PDO	0	3	0
C-NUM	16	1	3
C-IG	4	1	25
C-TREND	3	21	15
C-TOT	1	2	3

Tabella 71: statistiche degli archi più critici per lo scenario 11.

In tabella 71 si sono analizzati nello specifico 3 archi, risultati di interesse per specifiche ragioni:

- Arco 710 di via Tre Re viene segnalato solo perché è 1° in classifica generale ma non evidenzia particolari problemi soprattutto nel numero di incidenti avvenuti.
- Arco 440 di viale Lombardia è interessante poiché presenta 8 incidenti ed è primo per criterio numerico e quello sulle lesioni.
- Arco 548 di viale della Vittoria viene scelto perché 3° in classifica generale e anche per criterio numerico, quindi, il principale aspetto da considerare sono un numero di incidenti abbastanza improbabile per la sua tipologia.

NODI

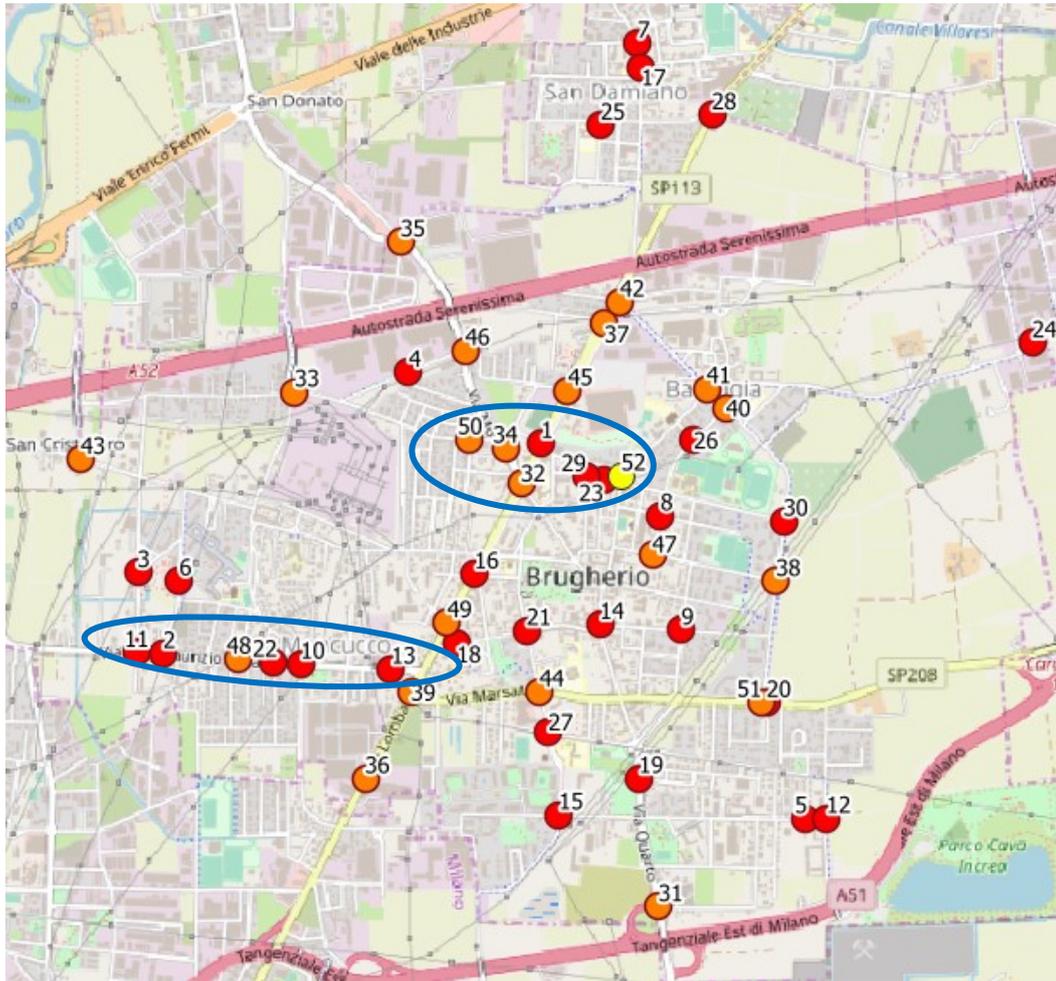


Figura 158: nodi critici nello scenario 11 per la città di Brugherio.

Come nella figura 156 (scenario 10, nodi) si rilevano gli stessi punti con delle aggregazioni di nodi critici (cerchiati in blu in figura 158). La peculiarità riscontrata in due scenari molto simili suggerisce ulteriori approfondimenti sia sulla dinamica dei sinistri che sulle effettive condizioni di pavimentazione e visibilità durante giorni con meteo non sereno.

La suddivisione dei nodi critici nelle varie tipologie non è statisticamente significativa.

SCENARIO 11: NODI			
ID	22	159	19
NOME	Viale Lombardia, Via Virgilio	Via Quarto, Svincolo A51	Viale Lombardia, Via Maria Cajani
TIPO	Rotatoria	Non semaforizzata	Rotatoria
N°INC	4	4	9
INC_2014	0	1	3
INC_2015	1	0	2
INC_2016	0	1	0
INC_2017	1	0	0
INC_2018	1	0	1
MORTALI	0	0	0
FERITI	4	2	3
PDO	0	2	6
C-NUM	19	1	5
C-IG	1	31	42
C-TREND	1	45	52
C-TOT	1	31	45

Tabella 72: statistiche dei nodi più critici per lo scenario 11.

In tabella 72 sono riportati 3 nodi critici interessanti per differenti aspetti:

- Nodo 22 è interessante come il modello evidenzia come 1° in classifica generale questa rotatoria poiché, a differenza dello scenario, c'è un trend in aumento, inoltre si registrano sempre dei feriti per ogni incidente rilevato.
- Nodo 159 regolato da stop si conferma critico, anche in questo scenario, per la probabilità di accadimento degli incidenti avvenuti (primo per criterio numerico).
- Nodo 19, la rotatoria viene scelta per un numero elevato di incidenti avvenuti in questa circostanza ma risulta 45° in classifica generale poiché il trend è in diminuzione (negli ultimi 3 anni è avvenuto solo un incidente) e due terzi del totale hanno solo riportato danni a cose.