

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti

DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, I SISTEMI INFORMATIVI E STATISTICI
DIREZIONE GENERALE PER I SISTEMI INFORMATIVI E STATISTICI (DGSIS)
Div. 3 - Ufficio di Statistica

PROGRAMMAZIONE STRATEGICA 2020

**OBIETTIVO STRATEGICO:
MIGLIORARE LA SICUREZZA NELLE VARIE
MODALITA' DI TRASPORTO**



ISTITUTO NAZIONALE PER L'ASSICURAZIONE
CONTRO GLI INFORTUNI SUL LAVORO

Capitolo II

CITTA' METROPOLITANE:

**ANALISI DEGLI INDICI DI INFORTUNIO SUL LAVORO "CON MEZZO DI
TRASPORTO COINVOLTO" RIFERITI AI NODI DELLA RETE STRADALE**

**(a cura dell'INAIL - Dipartimento innovazioni tecnologiche e sicurezza degli impianti,
prodotti ed insediamenti antropici)**

Città metropolitane: Analisi degli indici di Infortunio sul lavoro “con mezzo di trasporto coinvolto” riferiti ai nodi della rete stradale

A cura di: Antonella Pireddu

INAIL - Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro - Dipartimento innovazioni tecnologiche e sicurezza degli impianti, prodotti ed insediamenti antropici

Tra le recenti raccomandazioni dell'European Transport Safety Council (ETSC) per arginare l'incidentalità stradale nelle città metropolitane, figura un approccio sistemico basato su livelli di sicurezza stradale, integrati nei cosiddetti (SUMP) piani di Mobilità Urbana Sostenibile. Tali aree rappresentano la matrice all'interno della quale si concentrano alti livelli di urbanizzazione, attività produttive e reti infrastrutturali di trasporto dove, a causa degli elevati volumi di traffico veicolare e pedonale, le interazioni tra utenti stradali, inclusi quelli vulnerabili, sono più intense. Al loro interno, nei cosiddetti “punti di conflitto” corrispondenti agli *attraversamenti*, *semafori* e *stop*, si intersecano le correnti veicolari o pedonali e il rischio infortunistico è più intenso. Tenendo conto di queste criticità è stata fornita una panoramica relativa agli indici di infortunio in detti punti.

Gli Enti di zona vasta, sono stati istituiti di recente con la legge 7 aprile 2014 n. 56 e di essi è trattato nell'articolo 114 della Costituzione italiana. Si tratta di 14 enti le cui finalità sono la cura dello sviluppo strategico del territorio, la promozione e gestione integrata dei servizi, delle infrastrutture e delle reti di comunicazione, nonché la pianificazione territoriale generale. In tale attività rientra la strutturazione e organizzazione dei servizi pubblici di interesse generale, la mobilità e viabilità, la verifica di coerenza tra la pianificazione urbanistica e la promozione e coordinamento dei sistemi di informatizzazione e di digitalizzazione.

Con riferimento a tali aree, considerando le banche dati Inail sugli *infortuni sul lavoro*, è stato estratto l'insieme degli *infortuni sul lavoro con mezzo di trasporto*, relativo al primo semestre 2019 e al primo semestre 2020. Il primo caratterizzato da condizioni di traffico “ordinarie” e il secondo caratterizzato da condizioni di traffico “eccezionale”. Nel corso di quest'ultimo, a seguito dei Decreti emanati dal Governo per il contenimento della pandemia da SARS-CoV-2 (DCPM del 9 marzo 2020 e successivi) e di misure come il *lockdown* e lo *smart working*, si è registrata un'eccezionale inflessione dei volumi di traffico veicolare. In ragione di questa inflessione pertanto è stato possibile fornire un'analisi empirica “comparata” del fenomeno infortunistico, nei due semestri.

Dalle banche dati geografiche Openstreetmap (OSM) sono stati estratti due insiemi di dati relativi all'infrastruttura: i vettori polilinee, corrispondenti all'*estensione stradale chilometrica* e i vettori punto, corrispondenti ai *nodi o punti di conflitto* all'interno dei limiti geografici delle 14 aree vaste. I primi rappresentano lo sviluppo dei tratti di carreggiata espressi in chilometri mentre, i secondi corrispondono agli *attraversamenti*, *stop* e *semafori* presenti in ogni città. Ognuna di esse poi è stata suddivisa in zone pari al numero di nodi, con la poligonazione di Voronoi o tassellatura di Dirichlet. È stata così ottenuta l'area di influenza di ogni singolo *attraversamento*, *stop* o *semaforo*, dove si concentrano le origini e le destinazioni del traffico e dove i flussi veicolari e pedonali provenienti dalle diverse correnti, hanno una maggiore probabilità che si intersechino¹. All'interno di ogni punto e della relativa area, sono stati analizzati gli infortuni sul lavoro con uso di mezzo di trasporto ed è stato determinato un indice di infortunio Iv, riferito ai due semestri.

¹ In corrispondenza degli stop o ai semafori, nella svolta a sinistra, può in generale, aumentare la probabilità che si verifichi un incidente, per il fatto che [1] il conducente fermo, ad un certo punto ritiene intollerabile l'attesa e accetta anche intervalli tra veicoli dell'altra corrente molto piccoli, anche a svantaggio della sicurezza

Termini e definizioni

Infortuni con mezzo di trasporto coinvolto. Rappresentano l'insieme degli infortuni “in itinere” e “in occasione di lavoro” avvenuti in un'area aperta alla pubblica circolazione, col concorso di almeno un mezzo di trasporto (veicoli terrestri e non). Ai sensi dell'art. 12 d.lgs. 38/2000 è considerato “in itinere” l'infortunio avvenuto durante il normale tragitto di andata e ritorno tra l'abitazione e il luogo di lavoro o da un luogo di lavoro a un altro (nel caso di rapporti di lavoro plurimi), oppure durante il tragitto abituale per la consumazione dei pasti se non esiste una mensa aziendale. È considerato “in occasione di lavoro” l'infortunio verificatosi in connessione con le condizioni in cui si svolge l'attività lavorativa. Sono esclusi da questa classificazione gli infortuni legati a incidenti tra veicoli o mezzi agricoli all'interno di un cantiere o nei campi, non trattandosi di aree aperte alla pubblica circolazione. Gli infortuni con mezzo di trasporto coinvolto considerati ai fini del presente contributo sono stati estratti dagli Opendata Inail “DatiConCadenzaMensileInfortuniRegione” per regione e per provincia, aggiornati al 31/08/2020 e fanno riferimento al I semestre 2019-2020.

Gravità media. Ai fini del presente contributo, è stata definita “Gravità media” il rapporto tra il numero complessivo di giorni di indennizzo, relativi ai casi di infortunio accertato e il numero complessivo di infortuni denunciati nello stesso periodo di riferimento. Per la determinazione della gravità media sono stati considerati i casi di infortunio sul lavoro con il coinvolgimento di mezzo di trasporto, in itinere e in occasione di lavoro, estratti dagli Opendata Inail “DatiConCadenzaSemestraleInfortuniRegione” per provincia, relativi al quinquennio 2015-2019, aggiornati al 30/04/2020.

Nodi o punti di conflitto² dell'infrastruttura stradale. I punti di intersezione tra le traiettorie dei flussi veicolari e pedonali provenienti dalle diverse correnti, vengono tecnicamente definiti nodi e nel presente contributo, corrispondono alternativamente ad un attraversamento o semaforo o stop, georiferenziato. I punti (vettori) così definiti sono stati estratti dalle banche dati Openstreetmap (vettori punto).

Estensione stradale chilometrica (estesa). Consiste nel complesso dei tratti stradali ricompresi in una determinata area. Nel nostro caso costituisce l'estensione, espressa in chilometri, della lunghezza degli elementi vettoriali *linea* della carreggiata, insistenti in ogni singola area metropolitana (E_{CM}) o in ogni suo poligono di Voronoi (E_V). L'estensione stradale considerata nel presente contributo è stata estratta dalle banche dati geografiche Openstreetmap (Vettori linea).

Poligoni di Voronoi. La decomposizione di Voronoi o tassellatura di Dirichlet è un particolare tipo di decomposizione di uno spazio, determinata dalle distanze rispetto ad un insieme discreto di elementi (punti) di esso. Le proprietà geometriche di tali poligoni riguardano la conservazione delle proprietà del suo spazio e pertanto di tutte le sue linee. Anche i punti all'interno del tracciato stradale godono infatti della proprietà di essere equidistanti all'insieme dei punti discreto sui cui è costruita la poligonazione. Ai fini del presente contributo la tassellatura riguarda l'insieme p dei nodi o punti di

² Gli *attraversamenti*, *stop* e segnali *semaforici* sono considerati punti di conflitto della rete in quanto presentano criticità dovute alla riduzione delle velocità dei flussi in transito, necessaria ai conducenti dei veicoli e ai pedoni per assicurarsi che la traiettoria che intendono percorrere sia momentaneamente libera e inoltre, dovute alla ripartizione del *tempo di via libera* che impedisce a ciascuna corrente, di eseguire l'attraversamento o la svolta previsti, nel tragitto da percorrere, alla stessa velocità tenuta nei tratti stradali senza nodi.

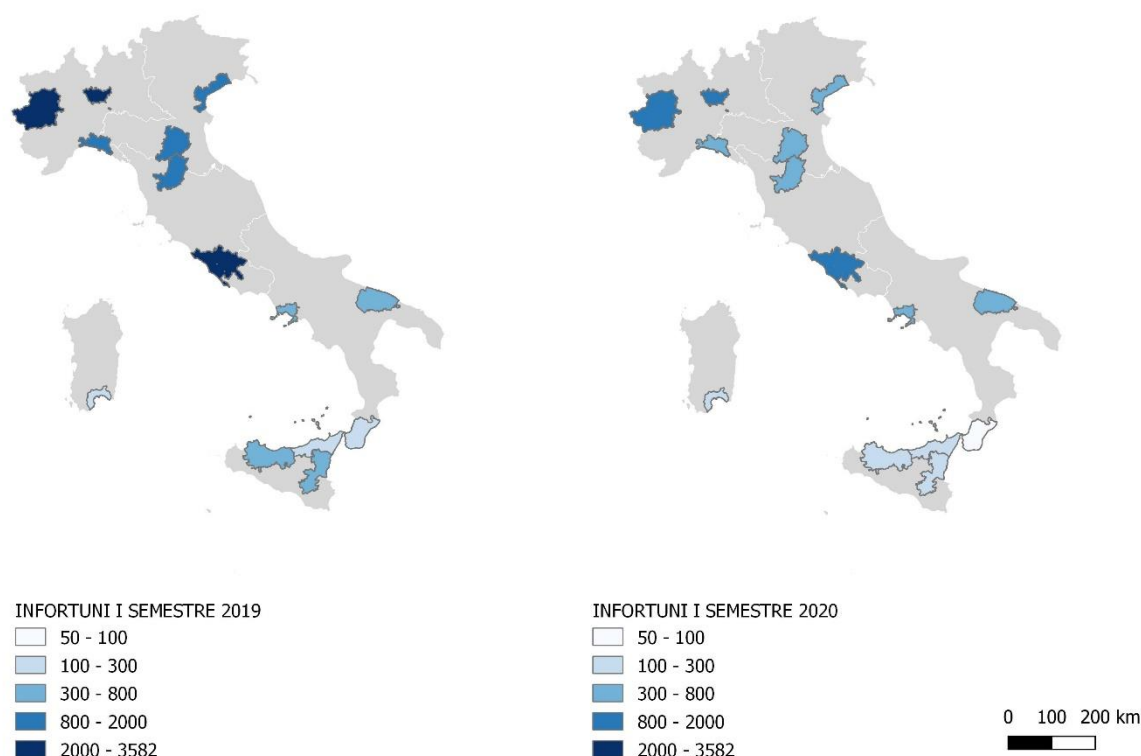
attraversamento, semaforo, stop, georiferiti, presenti nelle 14 città metropolitane. Le aree di influenza in kmq, ottenute dalla poligonazione, hanno le seguenti proprietà geometriche:

- ad ogni poligono o sito $V(p)$, corrisponde un solo p (attraversamento o semaforo o stop);
- tutti i punti all'interno del perimetro di $V(p)$ risultano più vicini a p che a qualunque altro attraversamento, semaforo o stop della stessa Città metropolitana;
- i tratti stradali all'interno del perimetro $V(p)$ risultano più vicini a p che a qualunque altro attraversamento, semaforo o stop, della stessa Città metropolitana.

Indice di infortunio con mezzo di trasporto coinvolto (I_v). Ai fini del presente studio si definisce I_v l'indice determinato dal prodotto tra il totale degli infortuni sul lavoro con mezzo di trasporto coinvolto avvenuti in un periodo di riferimento in ogni Città metropolitana (I_{CM}) e il rapporto tra l'Estensione stradale (E_v) del singolo poligono di Voronoi e Estensione stradale (E_{CM}) della stessa Città metropolitana. ($I_v = I_{CM} \cdot E_v/E_{CM}$).

Per una data Città metropolitana e per il periodo di riferimento, l'indice I_v restituisce una stima degli infortuni all'interno di ogni area di influenza di ogni attraversamento o semaforo o stop considerato. La somma degli indici così ottenuti corrisponde al totale degli infortuni sul lavoro con mezzo di trasporto coinvolto proveniente dagli Opendata Inail, nello stesso periodo di riferimento. (Appendice I e Appendice II).

Figura 1. Città metropolitane. Infortuni sul lavoro "con mezzo di trasporto coinvolto" risultanti dalle Banche dati Inail. Infortuni nel primo semestre 2019 (sinistra) e nel primo semestre 2020 (destra)



Fonte: Inail - Open data mensili rilevati al 31/08/2020 per il I semestre 2019-2020 - Openstreetmap traffic/roads- Limiti Istat. QGIS.
(Rielaborazione Dit Inail Raggruppamento Natural Breaks)

Tavola 1 – Città metropolitane. Italia. Elementi del territorio e dell'Infrastruttura e Infortuni sul lavoro con mezzo di trasporto denunciati.

Città metropolitana	AREA (kmq)	ESTENSIONE STRADALE (km)	NODI O PUNTI (Attraversamenti, stop e semafori)	INFORTUNI 2015-2019	GRAVITA' MEDIA 2015-2019	INFORTUNI I SEM 2019	INFORTUNI I SEM 2020
<i>Totale</i>	46.638	209.682	97.697	175.977	26,7	16.123	9.118
Bari	3863	16194,4	2738	7054	22,7	664	424
Bologna	3702	15332,5	3913	13540	22,2	1159	647
Cagliari	1249	5010,23	1139	3752	30,3	281	195
Catania	3574	12202,8	3433	4765	32,7	329	255
Firenze	3514	16498,2	8012	14731	24,7	1509	724
Genova	1834	10742,8	5731	9406	25,1	858	569
Messina	3266	13715,2	4588	2469	30,1	237	135
Milano	1575	17443,8	35519	39137	18,5	3582	1.822
Napoli	1179	9673,5	2579	6750	27,2	597	434
Palermo	5009	13740	987	4545	35,7	419	291
Reggio di Calabria	3210	9656,86	620	1131	37,1	106	50
Roma	5363	28619,7	9579	38240	26,2	3296	1.981
Torino	6827	30763,8	13242	21314	19,6	2156	1.159
Venezia	2473	10088,3	5617	9143	22,1	930	432

Fonte: Inail - Open data semestrali rilevati al 30/04/2020 per il quinquennio 2015-2019 e Open data mensili rilevati al 31/08/2020 per il I semestre 2019-2020 - Openstreetmap traffic/roads- Limiti Istat. QGIS (Rielaborazione Dit Inail)

Città metropolitane. Analisi multivariata relativa ad alcune variabili del fenomeno infortunistico e dell'infrastruttura e successiva decomposizione di Voronoi.

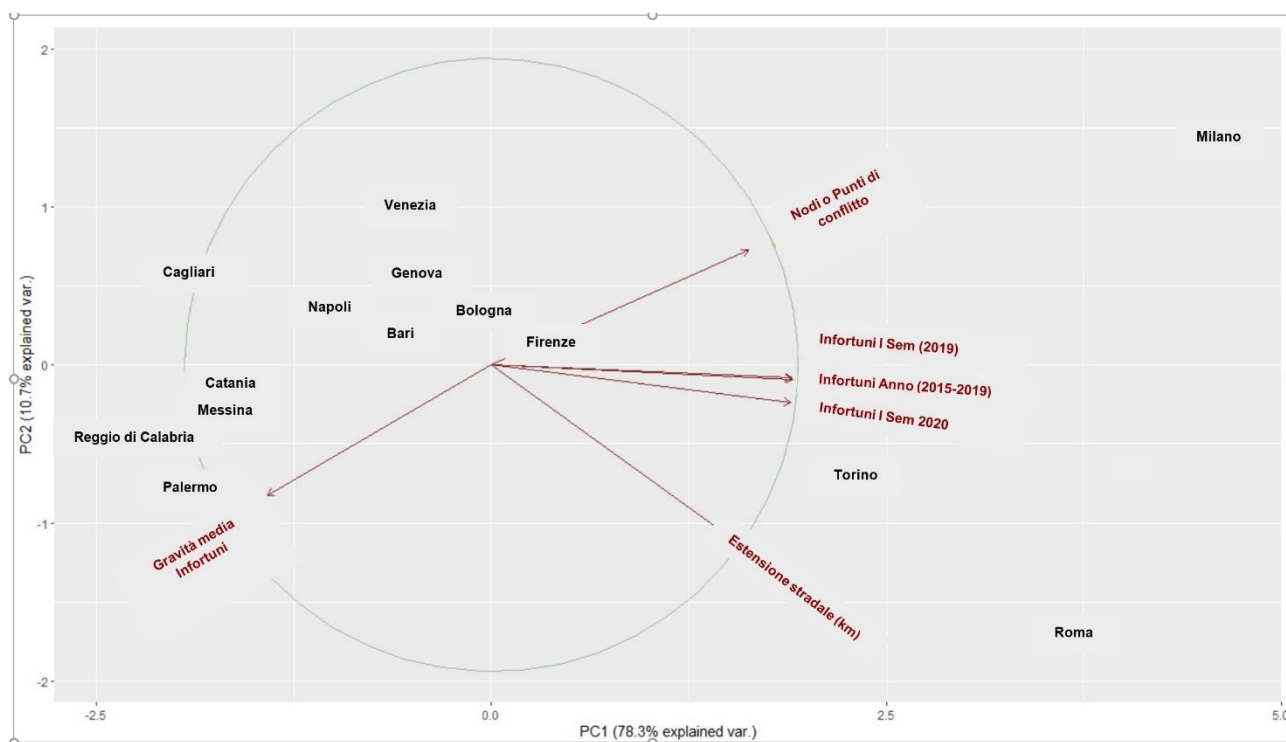
Un'analisi multivariata [2] basata sul metodo [3] *Principal component analysis* (PCA) ha fornito per ciascuna Città metropolitana, indicazioni sulla relazione tra alcune variabili associate al fenomeno infortunistico e alcune altre associate all'infrastruttura. Tra le variabili del *fenomeno infortunistico*³ sono state considerate la *frequenza* riferita ai due semestri 2019-2020 e la *gravità media* riferita al quinquennio 2015-2019, dedotte dagli Opendata Inail sugli infortuni con coinvolgimento di veicolo. Tra gli elementi dell'*infrastruttura* sono stati considerati *l'estensione* e i *nodi o punti di conflitto* (attraversamenti, stop e intersezioni semaforiche) tralasciando, per le finalità del contributo, variabili di natura socio – economica.

Una sintesi del risultato della PCA è riportata nel grafico *biplot* (figura 2), che mostra due aspetti del fenomeno studiato:

- la correlazione (interdipendenza) tra il fenomeno infortunistico (frequenza e gravità) e gli elementi dell'infrastruttura considerati (estensione stradale e numero di nodi);
- il grado di associazione tra Città metropolitana, fenomeno infortunistico e infrastruttura considerata.

Nel biplot le ascisse e le ordinate coincidono con le componenti principali PC1 e PC2, determinate con la PCA, che spiegano rispettivamente il 78.3% e il 10.7% della varianza delle variabili in gioco e dove queste ultime (tavola 1) risultano riproiettate.

Figura 2. Biplot. Analisi multivariata relativa a “Infortuni sul lavoro con mezzo di trasporto coinvolto”, “Gravità media”, “Estensione stradale”, “Punti conflitto” - Città metropolitane.



Fonte: Inail - Open data semestrali rilevati al 30/04/2020 per il quinquennio 2015-2019 e Open data mensili rilevati al 31/08/2020 per il I semestre 2019-2020 - Openstreetmap traffic/roads- Limiti Istat. QGIS (Rielaborazione Dit Inail)

³ Non sono stati considerati gli infortuni mortali, per ogni approfondimento relativo ai casi di infortunio mortale così come per dettagli relativi alla totalità degli infortuni con mezzi di trasporto si rimanda Capitolo I Inail.

Accertata la correlazione significativa tra “Infortuni I Sem 2019”, “Infortuni I Sem 2020” e le variabili “Punti di conflitto” ed “Estensione stradale”, si è potuto procedere nella seconda fase, (poligonazione di Voronoi), suddividendo le aree metropolitane in poligoni $V(p)$ che godono di proprietà geometriche, utili per un’analisi riferita ai nodi.

Ad ogni punto e poligono $V(p)$ del diagramma è stato attribuito un indice di infortunio (I_v), “ponderato” da un peso moltiplicativo, con la seguente relazione:

$$\text{Infortuni totali} / \text{Estesa totale} (E_v) = \text{Indice di Infortunio riferito al } V(p) / \text{Estesa nel } V(p)$$

$$I_{CM} / E_{CM} = I_v / E_v \quad \text{da cui}$$

$$(1) \quad I_v = I_{CM} \cdot E_v / E_{CM}$$

Il modello così ottenuto, con le assunzioni effettuate, riferito ai tre tipi di nodi considerati, pur non rispecchiando esattamente il dato infortunistico reale, ha fornito un’approssimazione del fenomeno nelle aree di influenza degli stessi nodi, per ogni area vasta, nei due semestri considerati.

Per ogni città metropolitana, oltre alla mappa tematica degli *attraversamenti*, *semafori* o *stop* e delle relative aree $V(p)$, sono state prodotte due mappe degli indici ponderati di infortunio I_v , calcolati nelle stesse aree, nel I semestre 2019 e I semestre 2020 ([Appendice I](#)).

È stata riportata una sintesi dei dati analizzati in appendice I, utile per un confronto tra diversi nodi di una stessa Area metropolitana e tra diverse Aree e lo stesso nodo, che riporta per ciascun $V(p)$, lo scostamento tra i due semestri ([Appendice II](#)).

Considerazioni sui risultati ottenuti e conclusioni

Il contributo rappresenta un'analisi degli infortuni sul lavoro con mezzo di trasporto coinvolto, “in occasione di lavoro” e “in itinere” relativi al I semestre 2019 e I semestre 2020, avvenuti nelle Città metropolitane italiane. Tali dati sono stati analizzati in particolari elementi dell'infrastruttura: gli attraversamenti, i semafori e gli stop. Preliminarmente è stata condotta un'analisi multivariata dei dati di infortunio e dell'infrastruttura col metodo PCA e successivamente, si è proceduto con operazioni vettoriali in ambiente GIS (Appendici I e II).

I risultati della PCA (figura 2) hanno riguardato i seguenti aspetti:

1. la correlazione (interdipendenza) tra il fenomeno infortunistico (frequenza e gravità) e gli elementi dell'infrastruttura considerati (estensione stradale e numero di nodi);
2. il grado di associazione tra Città metropolitana, fenomeno infortunistico e infrastruttura considerata.

Per i primi si evidenzia:

- Gli Infortuni del I Semestre 2019 e quelli del quinquennio 2015-2019 sono correlati tra loro e crescono con andamento simile (indice prossimo a 1 e angolo prossimo a 0°);
- Gli Infortuni del I Semestre 2020 sono correlati ai precedenti ma in misura minore e risultano più correlati all'Estensione stradale (km) che ai Punti di conflitto;
- I Punti di conflitto sembrano inversamente correlati alla Gravità media, ad una crescita dei primi corrisponde una riduzione della seconda (angolo prossimo a 180°);
- La Gravità media e i Punti di conflitto presentano una correlazione minima con la variabile “Estensione stradale”, (angolo tra le direzioni prossimo a 90°).

Per i secondi si evidenzia:

- Con frequenze di infortunio superiori alla media, Milano è disposta nella direzione “punti di conflitto”, Roma nella direzione “Estensione stradale” e Torino nella bisettrice delle due direzioni, ad indicare il maggior grado di associazione tra tali elementi dell'infrastruttura e gli infortuni;
- Gruppi (clusters) caratterizzati da minori frequenze di infortunio sono associabili alla variabile “Gravità media” e riguardano nell'ordine Reggio di Calabria, Palermo, Messina, Catania e marginalmente Cagliari e Napoli.

In generale, la probabilità del verificarsi di incidenti (infortuni), in prossimità di attraversamenti, stop e intersezioni semaforiche, si riduce in modo coerente con la riduzione [1] delle correnti di traffico veicolare o pedonale. Nel I semestre 2020 si è osservata una riduzione delle correnti di traffico, determinata dall'entrata in vigore delle norme per il contenimento della pandemia da SARS-CoV-2, che hanno introdotto il lavoro agile (*smart working*) e la chiusura di varie attività produttive (*lockdown*). Ciò potrebbe spiegare, per gli infortuni del I semestre 2020, una maggiore “dipendenza” dall’“Estensione stradale” che dai “Punti di conflitto” (figura 2).

Nella seconda fase, il ricorso alla tassellatura di Voronoi ([Appendice I](#)), ha messo in luce come ad una maggiore densità di punti e di $V(p)$ siano associati aree $V(p)$ e indici di infortunio I_v , minori. Fatto che appare più rilevante nei centri delle Città metropolitane, in cui si osserva una maggiore frequenza infortunistica e una riduzione degli indici I_v . Con l'abbattimento dei livelli di mobilità stradale e di circolazione dei veicoli del primo semestre 2020, indici di infortunio “ponderato” minimi, si estendono anche nelle $V(p)$ più esterne.

Gli indici Iv, nei due semestri, hanno assunto i seguenti valori ([Appendice II tavola 2](#)):

- **Attraversamenti.** Valori minimi a Reggio di Calabria (95 e 44) e Messina (132, 74) e massimi a Milano (2761 e 1404) e a Roma (2167 e 1302);
- **Semafori.** Valori minimi a Messina (3 e 2), Catania (7 e 5) e Reggio di Calabria (8 e 4) e massimi a Roma (684 e 411) e a Milano (416 e 209);
- **Stop.** Valori minimi a Reggio di Calabria (2 e 1) e Cagliari (49 e 34) e massimi a Roma (460 e 276), Torino (458 e 246) e a Milano (405 e 205).

Gli scostamenti di Iv tra i due semestri, hanno assunto i seguenti valori ([Appendice II tavola 3](#)):

- **Attraversamenti.** Scostamenti minimi nelle aree di Catania (23%) e di Napoli (27%) e massimi nelle aree di Venezia e Reggio di Calabria (54%) e Firenze (53%). Infine 40% e 49% nelle aree di Roma e Milano;
- **Semafori.** Scostamenti minimi nelle aree di Napoli, Catania e Palermo (27%, 27% e 29%) e massimi nelle aree di Venezia (54%), Firenze (53%) e Reggio di Calabria (50%). Infine 40% e 50% nelle aree di Roma e Milano;
- **Stop.** Scostamenti minimi nelle aree di Catania (23%) e di Napoli (27%) e massimi nelle aree di Venezia (53%), Firenze (52%) e di Reggio di Calabria (50%). Infine 40% e 49% nelle aree di Roma e Milano.

Complessivamente, in corrispondenza dei 76.278 attraversamenti, gli indici di infortunio Iv sono passati da 11.475 a 6.443 (scostamento 78%); in corrispondenza dei 11.303 semafori da 2.123 a 1.204 (76%). Infine, nei 10.116 stop, da 2.518 a 1.475 (72%). Le differenze più rilevanti riguardano pertanto gli attraversamenti, seguiti da semafori e stop.

Il modello ottenuto con le assunzioni effettuate, pur non rispecchiando esattamente il dato infortunistico reale di ogni città metropolitana, ha permesso di apprezzare l'interdipendenza del fenomeno infortunistico rispetto all'estensione stradale e al numero di nodi. È stata data una rappresentazione del grado di associazione tra ogni Città metropolitana, il fenomeno infortunistico e l'infrastruttura considerata.

Il modello ha fornito inoltre una rilettura locale, riferita alle aree di influenza degli attraversamenti, semafori e stop, degli infortuni sul lavoro con coinvolgimento di mezzo di trasporto e ha permesso di rilevare le differenze tra il I Semestre 2019, caratterizzato da condizioni di traffico "ordinarie" e il I semestre 2020, caratterizzato invece da condizioni di traffico "eccezionali", associate alle misure nazionali di contenimento della pandemia da SARS-CoV-2.

Riferimenti bibliografici

- [1] Ferrari, P., Giannini, F. Ingegneria stradale. Vol. 1: Geometria e progetto di strade, seconda edizione. Torino: ISEDI. 1987 [1977]. IL149997
- [2] Benzécri, J.-P. (1980). L'Analyse des Données. Tome (Vol.) 2: L'Analyse des Correspondances, 3rd edition. Paris: Dunod.
- [3] Bolasco S., Analisi multidimensionale dei dati. Metodi, strategie e criteri d'interpretazione, 6ª ed., Roma, Carocci, 2014 [1999]. ISBN 88-430-1401-3.

Ringraziamenti

Si ringraziano i Colleghi della Consulenza statistica attuariale dell'Inail per la verifica di congruenza della sintesi, tratta dagli Open data Inail, utilizzata nell'analisi.