



Corso di Laurea Magistrale  
in Ingegneria Civile

Tesi di Laurea Magistrale

**Analisi spaziale degli incidenti stradali che  
coinvolgono utenti vulnerabili.  
Applicazioni al caso studio di Torino.**

**Relatori**

Prof. Marco Bassani  
Ing. Lorenzo Catani

**Candidato**

Leonardo Rossetti

Ottobre 2018



# ABSTRACT

---

La mortalità stradale, nel contesto urbano, rappresenta un fenomeno iniquamente selettivo, in quanto riguarda principalmente pedoni, ciclisti e motociclisti, definiti “utenti vulnerabili”, a causa della loro insufficiente protezione fisica in caso di collisione con i veicoli. La significativa pericolosità dell’ambiente stradale urbano nei riguardi di questa specifica categoria di utenti ha suscitato, negli ultimi anni, una crescente attenzione nell’ambito scientifico di settore, nel tentativo di garantire loro adeguate contromisure di protezione. Alla base di ogni strategia di intervento per la messa in sicurezza della rete stradale vi è l’individuazione dei siti a più alta pericolosità, contraddistinti da un’elevata concentrazione di eventi incidentali.

Il presente lavoro si propone di determinare la distribuzione spaziale di incidenti che coinvolgono gli utenti vulnerabili nella città di Torino. Ciò è stato fatto a partire dalle informazioni contenute nel database incidentale ISTAT, relativamente al periodo 2006-2016. L’assenza di informazioni sulle coordinate degli incidenti antecedenti il 2011 ha previsto il ricorso a una procedura di geolocalizzazione degli stessi. A garanzia della qualità dello studio, l’intera banca dati è stata validata attraverso l’identificazione, la correzione e l’occasionale eliminazione di dati errati.

Per lo sviluppo di una metodologia di individuazione delle aggregazioni di dati (*cluster*) nella rete, gli eventi incidentali degli undici anni considerati sono stati geolocalizzati ricorrendo alle tecnologie GIS (Sistemi di Informazione Geografica). In una prima fase, sono stati applicati metodi utili alla definizione della tipologia di struttura dei punti nello spazio (*Point Pattern*); una volta riscontrata la presenza di una struttura fortemente “clusterizzata”, si è proceduto all’individuazione dei punti critici stessi tramite la stima Kernel di densità (*Kernel Density Estimation*) con l’ausilio del software QGIS.

L’analisi è stata condotta su diverse scale, al fine di poter osservare e comprendere i fenomeni caratteristici di ciascun livello dimensionale.

La scala locale ha consentito di evidenziare la presenza di falsi positivi e di falsi negativi, espressione del fenomeno della “regressione verso la media”; tale problema è stato risolto suddividendo il periodo di osservazione in cinque intervalli della durata di 2 o 3 anni ciascuno.

Per indagare gli effetti della realizzazione di una zona 30, una delle principali strategie per la messa in sicurezza delle utenze vulnerabili, è stata condotta un’analisi a livello di quartiere, nell’area di Via Castalgomberto a Mirafiori Nord.

L’individuazione dei principali punti critici della rete è stata perseguita attraverso un’analisi su scala globale; per evitare di incorrere in un’errata valutazione dell’effettiva frequenza incidentale, tipica degli studi condotti su brevi periodi, sono stati selezionati solo i siti la cui incidentalità è risultata elevata in tutti gli intervalli di osservazione. I risultati ottenuti mettono in evidenza come le maggiori criticità si concentrino nelle intersezioni dei principali corsi della città, contraddistinti da cospicui flussi di traffico, da una geometria dell’infrastruttura tale da rendere più difficoltosi gli attraversamenti pedonali e ciclabili e da significative differenze di velocità tra utenti deboli e utenze veicolari.

# SOMMARIO

---

<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPITOLO 1 - ANALISI DI DISTRIBUZIONE SPAZIALE DI PUNTI.....</b>	<b>3</b>
1.1 SICUREZZA STRADALE .....	3
1.2 TECNICHE DI ANALISI.....	5
1.3 CONFRONTO TRA METODOLOGIA KDE E NETWORKKDE.....	8
<b>CAPITOLO 2 - METODI DI ANALISI DI DISTRIBUZIONE SPAZIALE.....</b>	<b>11</b>
2.1 METODI <i>DISTANCE-BASED</i> .....	11
2.1.1 Metodo <i>Nearest Neighbor</i> .....	12
2.1.2 Funzione G .....	15
2.1.3 Funzione F.....	16
2.2 METODI <i>DENSITY-BASED</i> .....	18
2.2.1 <i>Quadrat Method</i> .....	18
2.2.2 Stima Kernel di Densità .....	21
2.3 SOFTWARE QGIS.....	24
2.4 CONCLUSIONI.....	24
<b>CAPITOLO 3 - ANALISI DI SENSITIVITÀ.....</b>	<b>25</b>
3.1 <i>QUADRAT METHOD</i> .....	25
3.2 STIMA KERNEL DI DENSITÀ ( <i>KERNEL DENSITY ESTIMATION</i> ) .....	30
3.2.1 Funzione Kernel.....	30
3.2.2 <i>Bandwidth</i> .....	37
3.2.3 Scelta dei parametri.....	44
3.2.4 Definizione dei siti pericolosi ( <i>Hazardous Road Locations</i> ) .....	45
3.3 CONCLUSIONI.....	47
<b>CAPITOLO 4 - ACQUISIZIONE E TRATTAMENTO DATI INCIDENTALI .....</b>	<b>49</b>
4.1 ESTRAZIONE INCIDENTI “VRU” .....	49
4.1.1 Provincia e Comune .....	50
4.1.2 Utenti Vulnerabili (VRU).....	55
4.2 GEOLOCALIZZAZIONE .....	66
4.2.1 Valutazione output <i>GPS Visualizer’s Address Locator</i> .....	70
4.3 DATABASE FINALE.....	74
4.4 CONCLUSIONI.....	75

<b>CAPITOLO 5 - CASO STUDIO .....</b>	<b>77</b>
5.1 AREA DI STUDIO .....	77
5.2 ANALISI DI DISTRIBUZIONE TEMPORALE .....	78
5.2.1 Falsi Positivi .....	79
5.2.2 Falsi Negativi .....	81
5.2.3 Suddivisione del periodo di studio.....	82
5.3 ANALISI DI DISTRIBUZIONE SPAZIALE .....	86
5.3.1 Analisi di clusterizzazione.....	86
5.3.2 Individuazione dei punti critici ( <i>cluster</i> ).....	92
5.4 ZONA 30 (MIRAFIORI NORD) .....	110
5.4.1 Strategia delle zone 30 .....	110
5.4.2 Interventi .....	111
5.4.3 Analisi del caso studio .....	114
5.5 CONCLUSIONI .....	125
<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>127</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>131</b>
<b>ALLEGATO I .....</b>	<b>139</b>
<b>ALLEGATO II.....</b>	<b>141</b>
<b>ALLEGATO III .....</b>	<b>149</b>
<b>APPENDICE.....</b>	<b>153</b>

# INTRODUZIONE

---

L'incidentalità stradale è un problema che condiziona socialmente, personalmente ed economicamente la vita dell'uomo moderno. Chiunque è a rischio: non solo chi guida un veicolo o chi è in esso trasportato, ma anche e soprattutto pedoni e ciclisti che sono maggiormente esposti e vulnerabili poiché non protetti in alcun modo in caso di collisione. Whitelegg (1987) definì l'incidente su strada come il "risultato di un'interazione indesiderata tra due o più oggetti in movimento, oppure tra un oggetto fisso ed uno in movimento".

La *World Health Organization* (Organizzazione Mondiale della Sanità, WHO) stima che ogni anno gli incidenti stradali causino 1.24 milioni di morti che corrispondono a più di 3.000 morti al giorno. L'incidentalità stradale è la nona causa di morte a livello mondiale, costituendo circa il 2,2% della mortalità globale. Per la fascia di età 15-29 risulta essere al primo posto, mentre per la fascia 5-14 al secondo. Più della metà delle morti dovute a incidenti stradali riguarda la fascia di età tra 15 e 44 anni (*Association for Safe International Road Travel* – ASIRT).

Sempre secondo l'WHO, circa il 50% delle morti causate da incidenti stradali coinvolgono gli "utenti vulnerabili della strada", ossia pedoni, ciclisti e motociclisti, proprio a causa della loro insufficiente protezione fisica in caso di collisione con i veicoli. Questi numeri sono di stimolo per le associazioni operanti nel campo della sicurezza stradale a promuovere iniziative di vario tipo per la protezione di questa specifica categoria di utenti (*World Road Association*, 2017).

La probabilità di accadimento di un incidente e la sua gravità possono essere ridotte attraverso lo studio sistematico delle relazioni tra causa ed effetto, con un'attenta analisi degli scenari che hanno dato luogo agli eventi incidentali, e ricorrendo ad appropriate contromisure che prevedono, per esempio, il ricorso a specifici dispositivi di monitoraggio e controllo del traffico, a modifiche di

## INTRODUZIONE

impianto della sede stradale, o a specifiche azioni di controllo dei comportamenti da parte della polizia stradale.

Alla base di una qualsiasi decisione sulla contromisura più opportuna vi è l'analisi degli eventi al fine di individuare i punti critici nella rete infrastrutturale, intendendo come punti critici i siti nei quali si riscontrano concentrazioni significative di eventi incidentali. Tale analisi è oggi eseguita mediante il ricorso a tecniche di geolocalizzazione e interazione spaziale di tali eventi. Da qui l'uso di vari strumenti GIS (*Geographical Information System*) (Deepthijayan e Ganeshkumar, 2010).

La comprensione della distribuzione spaziale degli eventi incidentali consente oggi agli addetti della sicurezza stradale di indagare i siti a più alta concentrazione di sinistri stradali, detti anche *hotspots* (Elvik, 2008; Mohaymany et al., 2013).

Il presente lavoro è finalizzato a proporre una metodologia di analisi di questi punti critici e ad applicarla al caso studio della città di Torino, con particolare attenzione agli eventi che hanno visto coinvolti gli utenti vulnerabili. A tale scopo è stata eseguita la geolocalizzazione di questi incidenti nel periodo 2006-2016; i dati sono stati trattati con specifiche tecniche di modellazione per individuare i luoghi con densità incidentale significativa.

# CAPITOLO 1

---

## *Analisi di distribuzione spaziale di punti*

Questo capitolo si propone di analizzare l'evoluzione storica delle tecniche grafico numeriche della rappresentazione spaziale degli eventi incidentali a supporto dell'analisi d'incidentalità, che rappresentano il punto di partenza per ogni studio metodologico relativo al tema della Sicurezza Stradale.

### 1.1 Sicurezza stradale

Vi sono due principali approcci al tema della sicurezza stradale: il primo consiste nel prevenire gli incidenti e diminuire così la loro frequenza di accadimento (sicurezza attiva), il secondo si prefigge l'obiettivo di ridurre le conseguenze (o la loro severità) determinate dagli stessi eventi (sicurezza passiva). Quest'ultimo approccio è denominato *safe collision* e alcuni studiosi sostengono che sia stato eccessivamente enfatizzato dalle amministrazioni locali e dalle agenzie per la sicurezza stradale (Gladwell, 2001). Alla base di ogni analisi, tuttavia, vi è sempre il dato e la sua qualità; è fondamentale identificare la categoria di utenti coinvolta in un incidente, la manovra o il comportamento che hanno causato l'evento e le condizioni sotto le quali esso si è verificato, al fine di applicare le appropriate contromisure di sicurezza.

Per comprendere l'evoluzione della ricerca di settore è utile osservare come l'approccio tecnico-scientifico sia cambiato durante la seppur breve storia che contraddistingue questo ambito. È possibile individuare quattro fasi fondamentali:

1. a partire dall'avvio dell'epoca di sviluppo della motorizzazione (fine del diciannovesimo secolo) e fino al 1935, l'attenzione era prevalentemente posta sugli eventi, intesi come singoli e isolati, che vedevano coinvolte le sole autovetture con un approccio puramente descrittivo; ci si limitava infatti alla rilevazione degli eventi incidentali senza mettere in relazione

## CAPITOLO 1: Analisi di distribuzione spaziale

un evento con l'altro, tantomeno l'evento con le cause infrastrutturali o comportamentali che l'avevano generato;

2. dal 1935 sino agli anni '70 l'approccio all'analisi degli incidenti si evolse e furono introdotte progressivamente nuove valutazioni incentrate sulle classiche tre "E's":
  - *engineering*, tesa al miglioramento delle infrastrutture di trasporto esistenti e ad una progettazione delle nuove basata su principi ispirati alla prevenzione e alla riduzione delle conseguenze derivanti dagli eventi;
  - *education*, con azioni di sensibilizzazione degli utenti per un più corretto comportamento;
  - *enforcement*, per il rafforzamento delle norme di circolazione e il controllo del rispetto delle stesse per favorire i comportamenti corretti e disincentivare quelli più a rischio;
3. dagli anni '70 sino al 1985 circa la ricerca di settore diffonde i primi modelli di previsione dell'incidentalità stradale mettendo in relazione tali eventi prevalentemente con le variabili legate alla frequenza dei transiti (flusso veicolare);
4. più di recente, la tendenza è di tenere conto del sistema di trasporto nel suo insieme (infrastruttura, componente umana, regole, tecnologie) con un approccio di tipo olistico che tende a ricercare le cause di un evento in tutte le componenti potenzialmente coinvolte.

Gli incidenti stradali sono eventi casuali dove la componente dell'errore umano è ricorrente; si è consolidata dunque la consapevolezza dell'impossibilità di una loro totale eliminazione, diversamente da quanto con i primi studi sulla sicurezza stradale si era portati a credere. È più concreto invece l'obiettivo di una loro riduzione in termini di frequenza e di severità; l'incidentalità può essere contrastata ma non risolta del tutto.

## 1.2 Tecniche di analisi

In origine era d'uso analizzare la distribuzione spaziale degli incidenti affidandosi all'esame visivo di una mappa contenente la posizione degli eventi nello spazio, sovrapposta alla rete stradale; oggi si preferisce fornire un livello di analisi più approfondito della semplice valutazione visiva, la quale può risultare troppo soggettiva e quindi fornire esiti dipendenti dalla preparazione, dalla sensibilità e dall'esperienza del singolo analista.

Le più moderne tecniche di analisi considerano gli eventi incidentali come elementi nel piano bidimensionale geografico (longitudine  $\phi$ , latitudine  $\lambda$ ), cartografico (coordinata Est, coordinata Nord), o locale (coordinata X, coordinata Y). In quest'ottica, è quindi utile affidarsi all'uso di un GIS (*Geographic Information System*) che facilita l'archiviazione e l'elaborazione dei dati georeferenziati (Aronoff, 1989). Un GIS è in grado di rappresentare la grande quantità di informazioni tipica delle analisi di incidentalità, e a valle della loro analisi anche le mappe di luoghi a più alta concentrazione di eventi. I sistemi informativi territoriali stanno quindi trovando ampio spazio nello studio dell'incidentalità stradale poiché in grado di eseguire rappresentazioni tipiche dell'Analisi Spaziale di eventi. La rappresentazione visiva dei fenomeni incidentali facilita l'individuazione dei luoghi nei quali si verificano concentrazioni significative di sinistri, o dove le conseguenze di tali eventi raggiungono i livelli più estremi, mantenendo anche la possibilità di disporre degli attributi (dati) associati ad ogni elemento analizzato.

Gli incidenti stradali sono eventi casuali che variano nel tempo e nello spazio. È ampiamente dimostrato come in un determinato elemento della rete stradale (intersezione, tronco) il numero di incidenti occorsi vari di mese in mese, di anno in anno. La loro distribuzione non è uniforme nello spazio, sebbene vi possa essere una certa dipendenza spaziale tra i fattori che concorrono a determinare l'incidente. Per valutare tale interdipendenza tra eventi si ricorre ai cosiddetti metodi *distance-based* che consentono di valutare l'eventuale presenza di aggregazioni potenzialmente sintomatiche di criticità in elementi specifici della rete stradale.

## CAPITOLO 1: Analisi di distribuzione spaziale

Più di recente si è riscontrata la tendenza a valutare gli incidenti nel loro complesso come *cluster events*, per comprendere se vi siano luoghi della rete a più alta densità incidentale. Tali siti sono classificati come pericolosi (in letteratura sono indicati con il termine *Hazardous Road Locations* - HRL) poiché il numero di incidenti supera, in modo considerevole, il valore medio atteso. Si è dunque passati progressivamente da un approccio di tipo *distance-based* ad uno *density-based*, con l'obiettivo di valutare se densità elevate in determinate zone siano la conseguenza di caratteristiche specifiche dell'elemento stradale. La presenza di *cluster* suggerisce un grado di dipendenza spaziale tra le posizioni dei punti; queste concentrazioni possono essere causate da uno o più difetti dell'infrastruttura, o di un sistema di controllo, che necessitano un'analisi approfondita. Si parla anche di autocorrelazione spaziale, ossia della tendenza di una variabile in un punto ad influenzare il livello della stessa variabile nei siti adiacenti. Se è presente un'autocorrelazione spaziale positiva, si ha un'aggregazione spaziale di valori simili della variabile (Black, 1991). Ciò sta a significare che due eventi incidentali verificatisi in punti prossimi tra loro potrebbero essere stati causati dallo stesso fattore o difetto. È dall'identificazione del difetto che poi possono essere messe a punto delle contromisure atte a prevenire gli eventi (riduzione della frequenza di accadimento) o a ridurne le conseguenze (riduzione della severità incidentale). Gli approcci per identificare questa autocorrelazione spaziale positiva sono suddivisi in due gruppi:

- approccio *link-attribute*;
- approccio *event-based*.

La prima fa riferimento a attributi di un segmento stradale preso come unità spaziale di riferimento (*Base Spatial Unit*); le diverse caratteristiche indagate, di natura geometrica (larghezza strada, pendenza) e non geometrica (volume di traffico), relative alle singole unità sono immagazzinate nel database relazionale della rete stradale. Gli incidenti sono trattati come attributi di queste unità spaziali; vengono integrate le informazioni di diversi database: incidentale, ospedaliero, del traffico, dell'uso del suolo. Le metodologie *link-attribute* consentono di ricavare degli indici che forniscono informazioni sul grado di

## CAPITOLO 1: Analisi di distribuzione spaziale

aggregazione di punti, mostrando le aree nelle quali si hanno concentrazioni superiori a quella media; tali indicatori possono essere determinati sia su una scala globale che locale. I principali indici ricadenti all'interno di tale approccio sono la I di Moran e la G di Getis-Ord.

Nelle analisi *event-based*, invece, gli incidenti sono semplici punti nello spazio.

Gli approcci *link-attribute*, come detto, prevedono una segmentazione della rete stradale in unità spaziali di base (BSU) e il conteggio degli eventi incidentali ricadenti all'interno di esse; gli incidenti diventano così degli attributi di questi segmenti. Tali operazioni però, oltre che risultare dal punto di vista computazionale molto onerose, comportano diverse difficoltà, tra cui la corretta scelta della lunghezza delle BSU; inoltre, è plausibile che diversi archi non siano divisibili per tale lunghezza, comportando l'esclusione dall'analisi di alcuni tratti della rete e quindi la perdita di informazioni. La disponibilità di una geolocalizzazione molto precisa per gli ultimi sei anni e sufficientemente accurata per i primi cinque ha portato alla scelta di applicare i soli metodi *event-based*, i quali si basano sullo studio dell'evento e della sua effettiva collocazione nello spazio. Tale scelta è stata inoltre avvalorata da quanto riscontrato nella pubblicazione di Steenberghen et al. (2004); essi confrontarono i due approcci nel caso studio della città di Mechelen (Belgio) e osservarono come le metodologie *event-based* presentino vantaggi nel caso di strade di lunghezza contenuta, tipiche dei contesti urbani.

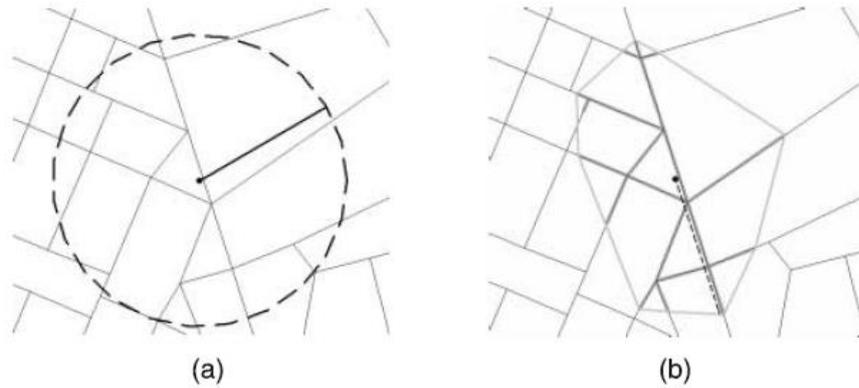
La metodologia cardine dell'approccio *event-based* è la "stima Kernel di densità" (*Kernel Density Estimation* - KDE); si riscontra un impiego molto diffuso di tale metodologia in ambiti diversi quali la criminologia (Anselin et al., 2000; Ummarino, 2013), l'epidemiologia, la biologia, lo studio dei punti di innesco di incendi (Amatulli et al., 2005), l'analisi di attività economiche (Porta et al., 2009) ma anche nello stesso ambito dell'incidentalità stradale (Shafabakhsh et al., 2017; Newaz et al., 2017). Questi settori, molto differenti tra di loro, presentano comunque una forte analogia in quanto basano i rispettivi studi sulla collocazione degli eventi in una mappa; la precisione di questa geolocalizzazione risulta fondamentale in quanto è necessario comprendere i punti nei quali si

hanno concentrazioni significative di eventi, per poter indirizzare gli sforzi e le risorse su di essi.

### 1.3 Confronto tra metodologia KDE e NetworkKDE

La metodologia Kernel è una tecnica di interpolazione spaziale che fornisce stime della densità di punti nel piano 2D ( $\phi, \lambda; E, N; X, Y$ ), sulla base di un'area di ricerca centrata su ciascun evento oggetto di studio. Quest'area di ricerca è caratterizzata da un determinato valore di raggio, denominato *bandwidth* (per la spiegazione dettagliata del metodo si veda il paragrafo 2.2.2); nell'approccio convenzionale si fa riferimento alla distanza Euclidea. Gli incidenti stradali tuttavia, a differenza di altri eventi spaziali, non avvengono in un tipico spazio Euclideo bidimensionale, ma si verificano nella rete stradale, formata da archi e da nodi; ogni arco è rappresentato da una linea che unisce due nodi in uno spazio unidimensionale. Si tratta dunque di fenomeni vincolati alla rete stradale, lungo la quale possono collocarsi casualmente, e non liberi di posizionarsi nello spazio 2-D. In ragione di ciò, anche il concetto di distanza cambia; non si può considerare quella euclidea ma è necessario riferirsi a quella lineare all'interno della rete.

Queste considerazioni hanno portato allo sviluppo di metodi *network-constraint*; tra questi riscuote il massimo interesse la metodologia Kernel vincolata alla rete stradale, denominata *Network Density Estimation* (NDE), proposta da Borruso (2008). La differenza risiede nella finestra di ricerca nell'intorno di ciascun evento (parametro di fondamentale importanza nelle metodologie *density-based*), che non è quindi più basata sulla distanza Euclidea (Fig. 1.1a) ma sulla distanza lungo la rete (Fig. 1.1b), seguendo l'albero dei cammini minimi (*shortest-path tree*). L'area di ricerca non risulta quindi più circolare ma di forma poligonale, dipendente dalla conformazione della rete nel punto preso in esame.



**Fig. 1.1** – Differenze nell’area di ricerca tra KDE convenzionale e NDE (Borruso G.: *Network Density Estimation: A GIS Approach for Analysing Point Patterns in a Network Space*. Transactions in GIS 12, 377–402, 2008)

Tale metodologia consente di evidenziare la presenza di cluster lineari, orientati lungo gli archi della rete. Tuttavia, alcuni studi dimostrano come le differenze tra i due metodi siano poco significative. Produit et al. (2010) hanno evidenziato come per il caso studio della città di Barcellona i due approcci abbiano mostrato alte concentrazioni di eventi approssimativamente nelle stesse posizioni. Lo stesso Borruso (2008), oltre all’evidenziare la poca differenza tra i due metodi nei casi studi analizzati, osservò che NDE e KDE forniscono risultati simili quando la struttura della rete è abbastanza compatta e regolare, situazione che si riscontra tipicamente nelle zone centrali delle città.

La città di Torino, oggetto di studio del presente lavoro, è caratterizzata da una fitta e regolare maglia infrastrutturale; per questa sua connotazione, nella corrente analisi si è optato per l’applicazione della metodologia KDE, reputata comparabile in termini di risultati con la più complessa procedura NDE (Borruso, 2008). La descrizione dettagliata del metodo Kernel convenzionale, così come dei metodi *event-based* adottati nell’analisi del caso studio, è riportata nel capitolo 2.



# CAPITOLO 2

---

## *Metodi di analisi di distribuzione spaziale*

Questo capitolo illustra le metodologie di analisi di distribuzione spaziale degli eventi incidentali che sono state impiegate nello specifico per l'analisi dei dati incidentali del caso studio. Queste metodologie rientrano nel contesto dell'approccio *Event-Based*, secondo il quale gli incidenti sono considerati come punti del territorio, in contrapposizione con l'approccio *Link-Attribute* che considera gli incidenti come attributi di elementi lineari, nella fattispecie i segmenti stradali. I metodi *Event-Based* vengono suddivisi in due gruppi:

- metodi basati sulla densità (*density-based*);
- metodi basati sulla distanza (*distance-based*).

Tali metodi consentono di valutare rispettivamente i cosiddetti effetti del primo e del secondo ordine. Per effetto del primo ordine si intende l'influenza di un fattore esterno sul risultato (Funk, 2011), in termini di densità di osservazioni all'interno di un'area di ricerca prefissata (Gimond, 2017). Un esempio di effetto del primo ordine è la tipologia del suolo, fattore fortemente influente sulla densità di una particolare specie di pianta in un determinato sito. Gli effetti del secondo ordine fanno riferimento all'influenza reciproca delle osservazioni (Gimond, 2017); ad esempio la presenza di una specie di pianta in un determinato sito influisce sulla nascita delle medesime piante nel sito stesso. I metodi basati sulla distanza sono usati per capire come i punti si distanziano gli uni dagli altri, in conseguenza di tale influenza reciproca.

### 2.1 Metodi *Distance-Based*

Tra le diverse metodologie di analisi spaziale basate sulla distanza, nel presente studio sono stati applicati il metodo *Nearest Neighbor* e le funzioni G e F; tali misure consentono di identificare schemi di punti specifici, come quelli "clusterizzati" e dispersi. Queste metodologie rientrano all'interno del

sottogruppo dei metodi basati sulla distanza chiamato *Nearest Neighbor Based Point Pattern Measures* (University of Florida Geomatics Program, 2016), in quanto valutano la sola distanza tra un punto e quello ad esso più vicino.

### 2.1.1 Metodo Nearest Neighbor

Tale procedura si basa sulla determinazione dell'indice *Nearest Neighbor* (NN) index (in italiano “il vicino più vicino”). Tale indice fornisce un'indicazione del grado di raggruppamento dei punti oggetto di analisi. La metodologia prevede il confronto tra la media effettiva delle minime distanze tra i punti e la media delle distanze minime sotto l'ipotesi di disposizione casuale dei punti stessi all'interno dell'area considerata (*Complete Spatial Randomness* - CSR).

La distanza media dal punto più vicino (*Mean Nearest Neighbor Distance*) è data dalla somma delle distanze di ogni punto da quello più vicino divisa per il numero totale di punti:

$$\bar{d}_{obs} = \frac{\sum_i^n d_{min,i}}{n} \quad (2.1)$$

con:

- $\bar{d}_{obs}$  = distanza media “osservata” dal punto più vicino;
- $d_{min,i}$  = distanza i-esima dal punto più vicino;
- $n$  = numero di osservazioni.

La distanza NN media attesa sotto la condizione CSR è data dalla seguente espressione:

$$\bar{d}_{exp} = \frac{0,5}{\sqrt{n/a}} \quad (2.2)$$

con:

- $\bar{d}_{exp}$  = distanza media “attesa” dal punto più vicino;
- $n$  = numero di osservazioni;
- $a$  = superficie dell'area di studio.

L'indice NN misura quanto la media osservata e la media attesa siano tra loro simili; esso può essere valutato come:

$$\text{differenza:} \quad d = \bar{d}_{obs} - \bar{d}_{exp} \quad (2.3)$$

$$\text{rapporto:} \quad r = \bar{d}_{obs} / \bar{d}_{exp} \quad (2.4)$$

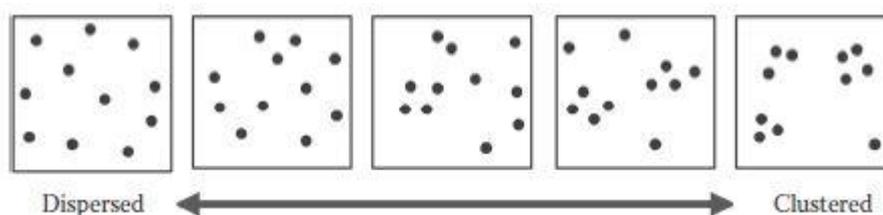
In funzione del valore di tale indice si possono riscontrare tre diverse “strutture” di punti (*Point Patterns*), come mostrato in Tab. 2.1 e in Fig. 2.1:

1. clusterizzata (*clustered*): si ha spesso a che fare con questa struttura in quanto gli incidenti tipicamente sono influenzati da difetti specifici concentrati in tratti o intersezioni e/o comportamenti pericolosi in specifiche aree;
2. casuale (*random*): si possono avere raggruppamenti localizzati ma la struttura nel suo insieme presenta punti disposti casualmente sull'area di studio;
3. uniforme (*regular/dispersed*): quando la struttura dei punti è regolare, ossia i punti sono equidistanziati (tipicamente molto rara).

**Tab. 2.1** – Possibili valori dell'indice NN e rispettive “strutture” di punti.

Pattern	D	r*
Clusterizzata	<0	<1
Casuale	=0	=1
Uniforme	>0	>1

\*: i valori di r variano da 0 a 2.15 (vedi Fig. 2.2)



**Fig. 2.1** – Schemi di disposizione spaziale di punti (Loo & Anderson: *Spatial Analysis Methods of Road Traffic Collisions*, 2016. p. 13, Figure 1.3).

## CAPITOLO 2: Metodi di analisi di distribuzione spaziale

Il processo descritto porta all'individuazione di una determinata struttura di punti; questa, però, potrebbe essere dovuta al caso e non risultare statisticamente significativa. È opportuno quindi condurre un test statistico che consenta di dichiarare la presenza di un particolare schema di punti con un certo livello di significatività statistica (University of Florida Geomatics Program, 2016).

Un test statistico inizia con la definizione del problema in termini di ipotesi sul parametro oggetto di studio; l'ipotesi da sottoporre a test è detta ipotesi nulla ( $H_0$ ). Nel caso in esame, l'ipotesi nulla prevede che gli eventi siano distribuiti in modo del tutto casuale. Il discriminante tra l'accettazione e il rifiuto di tale ipotesi è rappresentato dal parametro Z-score, il quale fornisce una misura numerica sulla relazione che sussiste tra il valore osservato ed il valore atteso, con quest'ultimo correlato all'ipotesi nulla; nello specifico misura di quanto il valore osservato si discosta da quello atteso. È possibile determinare il valore dello Z-score tramite la:

$$Z = \frac{\bar{d}_{obs} - \bar{d}_{exp}}{SE} \quad (2.5)$$

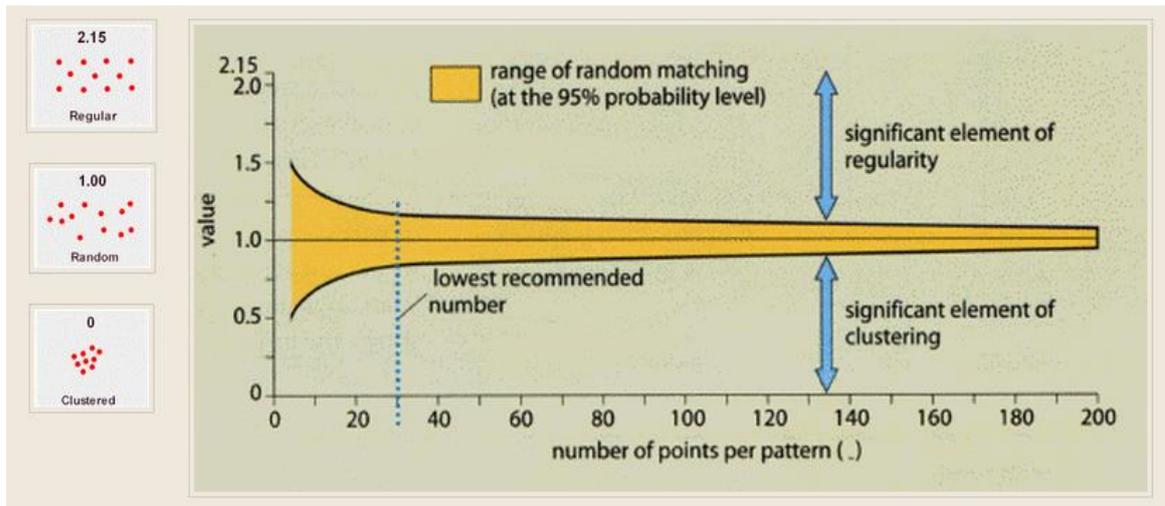
dove  $\bar{d}_{obs}$  è la distanza media "osservata" dal punto più vicino;  $\bar{d}_{exp}$  la distanza media "attesa" dal punto più vicino; SE l'errore standard (*Standard Error*) della media delle distanze "*Nearest Neighbor*", dato dalla:

$$SE = \frac{0,26136}{\sqrt{\frac{n^2}{a}}} \quad (2.6)$$

dove n è il numero di osservazioni, a la superficie dell'area di studio.

Ad un prefissato livello di confidenza corrisponde un intervallo di plausibili valori del parametro Z, definito intervallo di confidenza. Per un livello di confidenza del 95% gli estremi dell'intervallo risultano essere  $\pm 1,96$ ; per valori ricadenti all'esterno di tale intervallo si ha:

- $Z > 1,96$ : *dispersed pattern*;
- $Z < -1,96$ : *clustered pattern*.

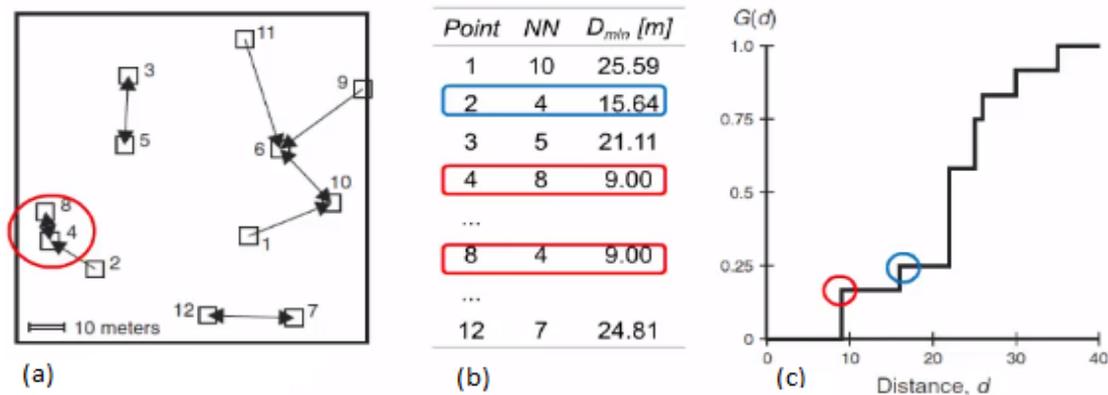


**Fig. 2.2** – Nearest Neighbor patterns (IB Geography, <https://www.geoib.com/nearest-neighbor-index.html>).

La Fig. 2.2 mostra l'andamento del parametro  $r$ , dato dal rapporto tra la distanza NN osservata e quella attesa sotto l'ipotesi di distribuzione spaziale casuale; si nota come il valore di  $r$  vari da 0 a 2.15 (vedi Tab. 2.1) e come la struttura di punti differisca in funzione del suddetto parametro. La fascia gialla è relativa all'intervallo di confidenza entro il quale è possibile dichiarare la casualità nella distribuzione del campione di punti, con un livello di confidenza del 95%.

### 2.1.2 Funzione G

Si tratta di un'estensione del metodo *Nearest Neighbor*. Tale funzione esamina la distribuzione di frequenza cumulata delle distanze minime tra i punti (distanze NN); il valore  $G$ , per una determinata distanza  $d$ , fornisce la frazione di distanze NN minori di  $d$ . Un esempio esplicativo di tale metodo è mostrato in Fig. 2.3.



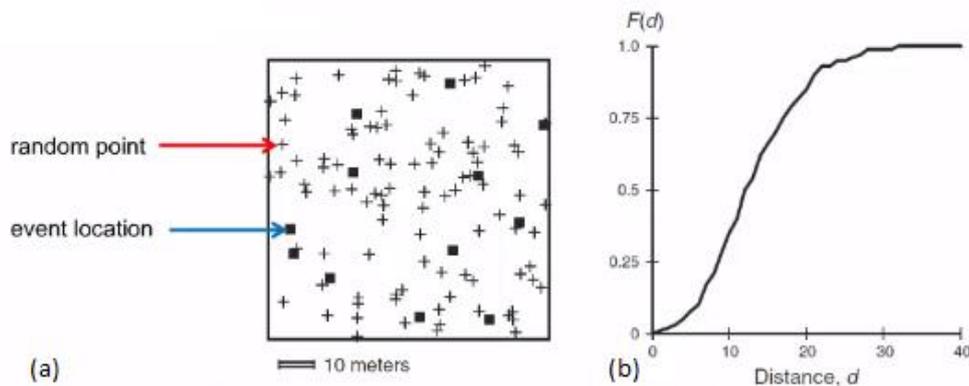
**Fig. 2.3** – Applicazione della Funzione G: (a) generico *Point Pattern*; (b) punto (Point), punto più vicino (NN) e distanza dal punto più vicino ( $D_{min}$ ); (c) andamento della funzione G. (University of Florida Geomatics Program at the Fort Lauderdale Research & Education Center, *Point Pattern Analysis Part 3*, 2016).

La forma della funzione G fornisce informazioni sul come gli eventi siano distribuiti nello spazio:

- si ha una struttura “clusterizzata” se G aumenta rapidamente sulle brevi distanze (vi sono molti punti con una piccola NN);
- i punti sono uniformemente distribuiti se G aumenta lentamente fino al valore che coincide con il distanziamento della gran parte degli eventi, in corrispondenza del quale subisce una rapida crescita.

### 2.1.3 Funzione F

La funzione F si basa su un iniziale posizionamento casuale di punti nella regione di studio; per ogni punto generato casualmente si definisce la distanza dall’evento osservato più vicino. Si determina poi la frazione di minime distanze inferiori ad una specifica distanza d (analogamente al caso della funzione G). Un esempio di applicazione della funzione F è riportato in Fig. 2.4.

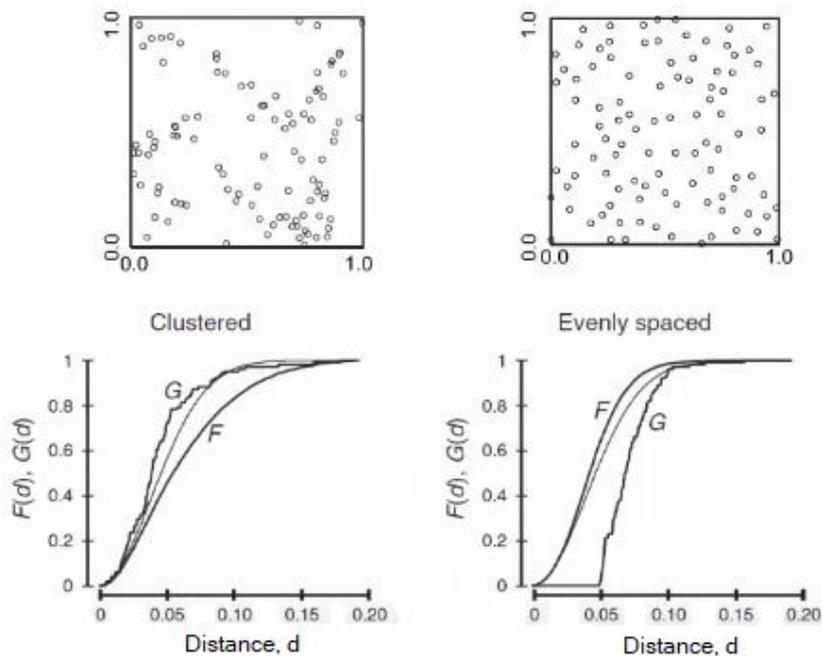


**Fig. 2.4** – Applicazione della Funione F: (a) disposizione degli eventi osservati e dei punti casuali; (b) andamento della funzione F. (University of Florida Geomatics Program at the Fort Lauderdale Research & Education Center, *Point Pattern Analysis Part 3*, 2016).

Anche in questo caso la forma della funzione fornisce un'indicazione sul tipo di disposizione spaziale degli eventi:

- si ha una struttura “clusterizzata” se F aumenta lentamente nelle brevi distanze e velocemente per distanze maggiori. Si hanno diverse regioni dell'area di studio prive di eventi; di conseguenza molti punti casuali presentano grandi distanze dall'evento a loro più vicino.
- i punti sono uniformemente distribuiti se F aumenta velocemente per brevi distanze in quanto molti punti casuali sono collocati in prossimità degli eventi osservati.

Dal confronto tra le due funzioni si può notare come sussista una relazione inversa tra loro; facendo riferimento alla Fig. 2.5, si ha che la linea sottile rappresenta i valori attesi di F e di G sotto la condizione di disposizione casuale di punti (*Complete Spatial Randomness*). Dai due grafici si evince che la curva attesa risulta essere la medesima per entrambe le funzioni. Nel caso della struttura *clustered*, la curva relativa alla funzione G aumenta velocemente per le brevi distanze, contrariamente all'andamento della funzione F (a riprova di quanto specificato precedentemente); viceversa nel caso della struttura uniforme (*evenly spaced*).



**Fig. 2.5** – Confronto tra le funzioni G ed F nel caso di struttura clusterizzata (sinistra) e uniforme (destra) (University of Florida Geomatics Program at the Fort Lauderdale Research & Education Center, *Point Pattern Analysis Part 3*, 2016).

## 2.2 Metodi *Density-Based*

In questa categoria rientrano il Quadrat Method e la stima Kernel di densità (KDE); questi metodi consentono di individuare l'effettiva collocazione delle aggregazioni di punti nello spazio.

### 2.2.1 Quadrat Method

Il metodo prevede la suddivisione dell'area di studio in celle tipicamente quadrate non sovrapposte, e nel contare il numero di eventi ricadenti all'interno di ciascuna di esse. Si valuta se la struttura degli eventi si discosti dalla condizione di completa casualità spaziale (CSR); sotto tale condizione, la proporzione attesa di celle con  $k$  eventi è approssimata tramite la distribuzione di Poisson, caratterizzata dalla funzione di densità riportata nell'equazione 2.7 (Loo & Anderson, 2016).

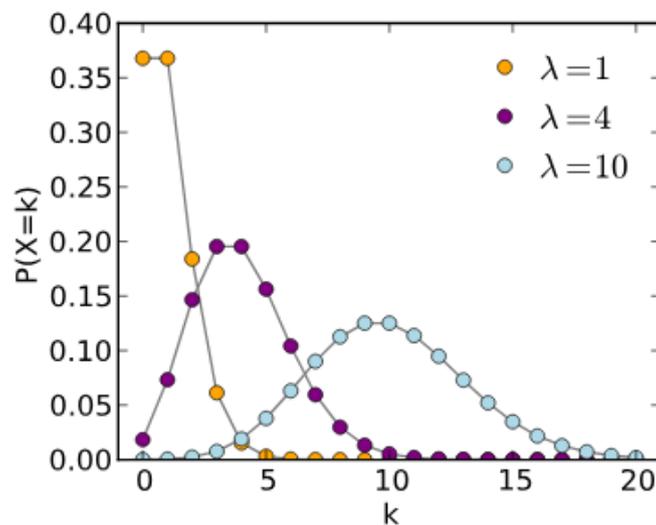
$$P(k) = \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!} \quad (2.7)$$

con:

- $e$  = numero di Nepero (2,718);
- $k$  = numero di eventi per cella;
- $\lambda$  = tasso medio di eventi per cella (numero totale di eventi diviso il numero totale di celle).

Tale distribuzione fornisce la probabilità che una cella presenti una numerosità di eventi pari a  $k$ .

In Fig. 2.6 sono riportate le diverse forme della distribuzione di Poisson al variare del parametro  $\lambda$ .



**Fig. 2.6** – Distribuzione di Poisson al variare del parametro  $\lambda$ ; si nota come al crescere di  $\lambda$  la distribuzione risulta più schiacciata e spostata verso destra (Wikipedia, [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/16/Poisson\\_pmf.svg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/16/Poisson_pmf.svg)).

Nei casi pratici riguardanti l'incidentalità su strada, non ci si aspetta che la struttura di punti segua l'ipotesi di completa casualità spaziale; si è molto spesso in presenza di strutture "clusterizzate".

Dal confronto tra le proporzioni di celle con 0, 1, 2, ... eventi osservati e attesi (questi ultimi sulla base della distribuzione di Poisson) si può valutare di quanto lo schema effettivo di punti si discosti dalla condizione CSR. Si ricorre quindi al test statistico del Chi-Quadro ( $\chi^2$ ): è un test statistico nel quale la distribuzione del campione è una distribuzione Chi-Quadro quando è vera l'ipotesi nulla  $H_0$ ,

## CAPITOLO 2: Metodi di analisi di distribuzione spaziale

secondo cui la distribuzione di frequenza osservata segue la distribuzione di Poisson (University of Florida Geomatics Program, 2016).

Si valuta il numero atteso di celle con 0, 1, 2, ... eventi attraverso la distribuzione di Poisson e questo risultato viene poi confrontato con il numero osservato di celle con 0, 1, 2, ... eventi.

Il testo del Chi-Quadro richiede la determinazione del valore  $\chi^2$  tramite la seguente relazione:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (2.8)$$

con:

- $O_i$  = numero osservato di celle con  $i$  eventi;
- $E_i$  = numero atteso di celle con  $i$  eventi.

Il  $\chi^2$  fornisce una misura della deviazione della distribuzione osservata dall'ipotesi nulla; per capire se tale deviazione risulta significativa o meno, il valore del  $\chi^2$  deve essere confrontato con il valore critico  $\chi_{\alpha, df}$ , corrispondente ad un livello di significatività  $\alpha$  e a  $df$  gradi di libertà ( $df = k-1$ ); se  $\chi^2$  risulta maggiore di questo valore critico, l'ipotesi nulla ( $H_0$ ) è rifiutata.

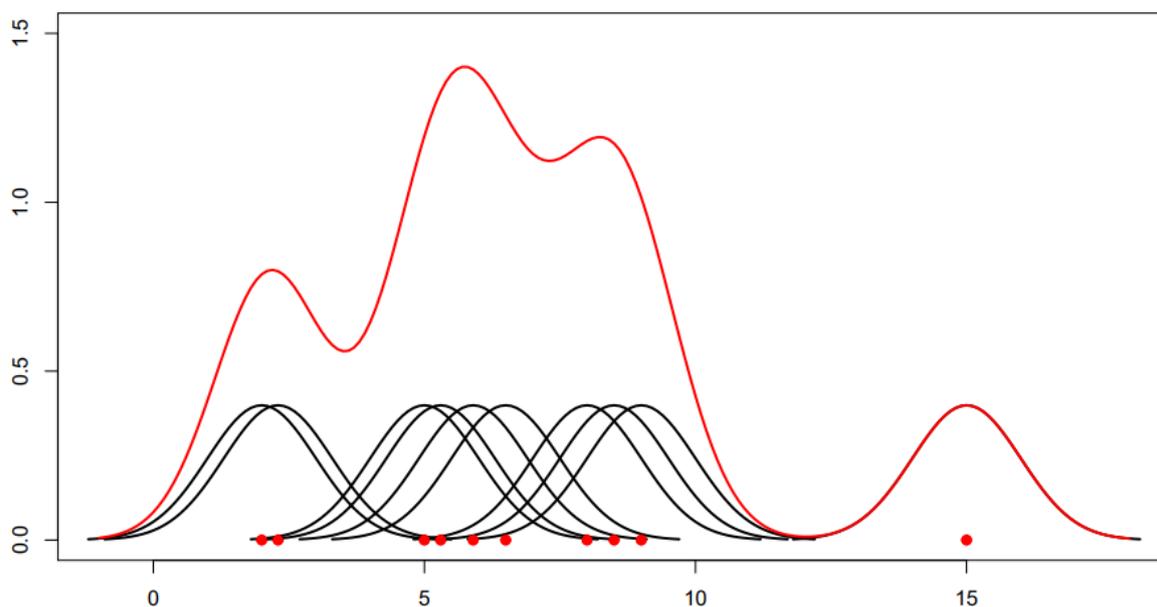
Il metodo *Quadrat*, però, presenta alcuni svantaggi (Nicholson, 1998):

- vi è una forte influenza dell'arbitrarietà delle scelte sulla dimensione, forma e posizione delle celle;
- vi è una perdita di informazioni spaziali in quanto non si prende in considerazione la posizione relativa dei punti all'interno delle celle ma solo il loro numero.

## 2.2.2 Stima Kernel di Densità

La stima Kernel di densità (*Kernel Density Estimation*, KDE) consente di identificare la posizione di *cluster* (aree con un'elevata densità di eventi). Ogni punto dell'area oggetto di studio è caratterizzato da un valore di densità, non solo quelli nei quali gli eventi sono collocati; si ottiene così una superficie di densità continua. Tale superficie si ricava andando a cumulare le diverse funzioni di densità relative ai singoli eventi (eq. 2.9), posizionando al di sopra di ciascuno di essi un'area circolare di larghezza predefinita (*bandwidth*); ogni singolo punto ricadente all'interno di quest' area influisce sulla densità nell'intorno dell'evento, con una funzione continua, simmetrica e decrescente attraverso un fattore che dipende dal tipo di funzione considerata (uniforme, triangolare, quadratica, ecc.).

Ciò è mostrato in Fig. 2.7, relativa al caso monodimensionale.



**Fig. 2.7** – Applicazione della stima Kernel di densità nel caso monodimensionale; le linee nere rappresentano la stima di densità nell'intorno dei singoli punti, mentre la rossa la stima Kernel di densità (Scheid S.: *Introduction to Kernel Smoothing*, 2004).

## CAPITOLO 2: Metodi di analisi di distribuzione spaziale

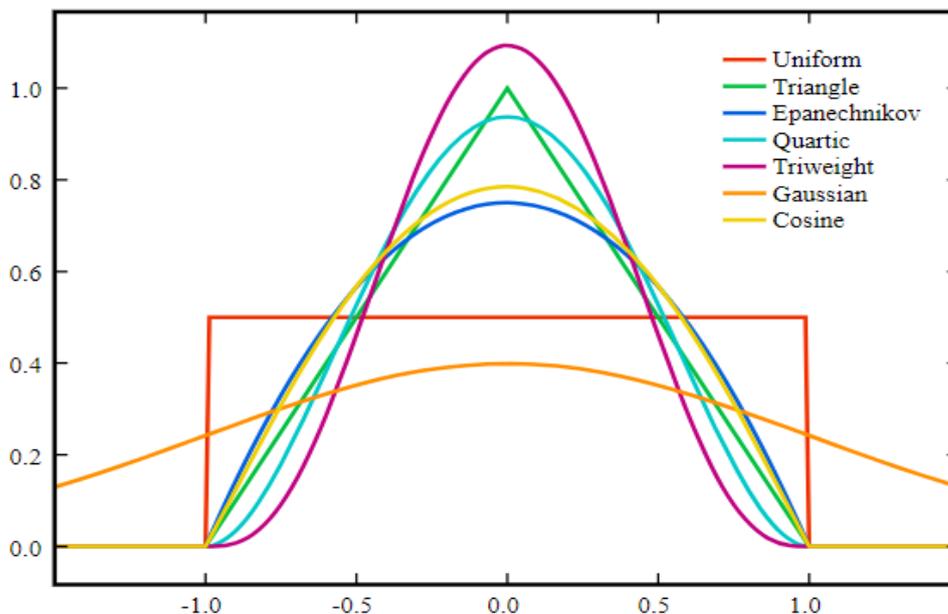
La funzione densità Kernel del punto di coordinate  $(u, v)$  è (Fotheringham et al., 2000):

$$\hat{f}(u, v) = \frac{1}{nh^2} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{d_i}{h}\right) \quad (2.9)$$

con:

- $\hat{f}(u, v)$  = stima di densità nel punto di coordinate  $(u, v)$ ;
- $h$  = raggio dell'area di ricerca o ampiezza di banda (*bandwidth* 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.

Come si evince dall'equazione, di fondamentale importanza per la stima finale sono la funzione Kernel e il raggio di ricerca  $h$  (*bandwidth*). In letteratura sono presenti diverse formulazioni della funzione Kernel, accomunate comunque dall'essere funzioni unimodali continue, quindi simmetriche rispetto al punto modale (Okabe et al., 2009). Le funzioni tipicamente utilizzate sono: uniforme, triangolare, Epanechnikov, quartic (*biweight*), *triweight*, Gaussiana, quadratica e coseno (Fig. 2.8).



**Fig. 2.8** – Diverse funzioni Kernel con stesso sistema di riferimento (<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/47/Kernels.svg>).

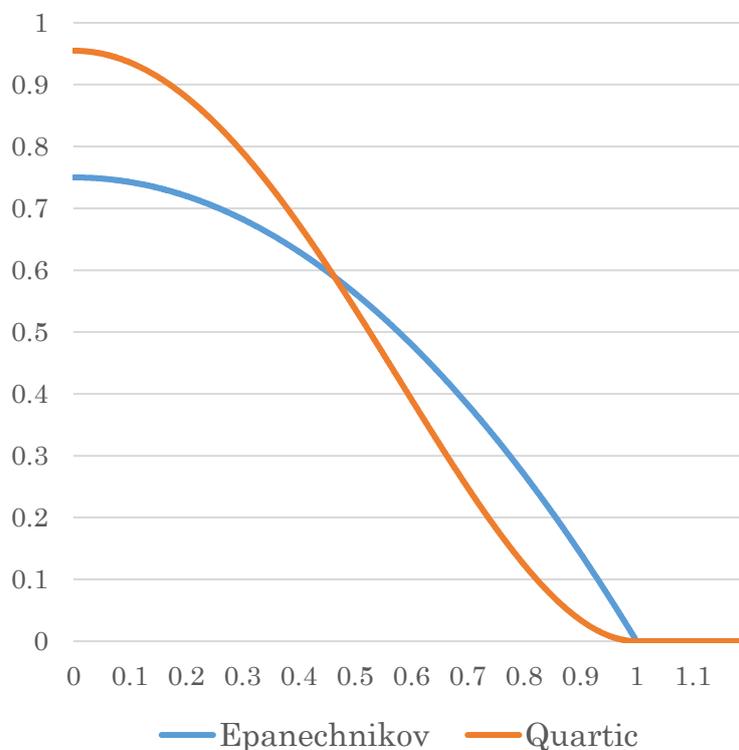
## CAPITOLO 2: Metodi di analisi di distribuzione spaziale

La funzione  $k$  conferisce un peso ai punti ricadenti all'interno dell'area di ricerca di raggio  $h$ ; a parità di distanza dal punto centrale (identificato con 0 nella Fig. 2.8), il peso differisce in funzione appunto della tipologia di curva adottata. In alcuni studi (Scheid, 2004; Baum, 2013) viene sottolineato come le funzioni Epanechnikov e Quartic forniscano i risultati migliori in termini di stima di densità; le equazioni 2.10 e 2.11 mostrano le formulazioni delle suddette in funzione della distanza del punto  $i$ -esimo dall'evento del quale si valuta la densità, distanza normalizzata rispetto alla bandwidth  $h$  (Loo & Anderson, 2016):

$$\text{Epanechnikov} \quad k\left(\frac{x-x_i}{h}\right) = \frac{3}{4} \left(1 - \frac{(x-x_i)^2}{h^2}\right) \quad (2.10)$$

$$\text{Quartic} \quad k\left(\frac{x-x_i}{h}\right) = \frac{3}{\pi} \left(1 - \frac{(x-x_i)^2}{h^2}\right)^2 \quad (2.11)$$

Quando  $x - x_i > h$ ,  $k((x - x_i)/h) = 0$ , indipendentemente dalla funzione considerata. La Fig. 2.9 mostra come la funzione Quartic (*biweight*) attribuisca un peso maggiore ai punti più vicini.



**Fig. 2.9** – Andamento delle funzioni Epanechnikov (blu) e Quartic (arancione).

Tuttavia, in letteratura sono presenti diversi studi nei quali è stato dimostrato come la scelta della funzione  $k$  non influenzi significativamente il risultato (Loo & Anderson, 2016). Contrariamente, il valore della *bandwidth* influenza in modo rilevante l'output. Una più dettagliata valutazione dell'influenza dei suddetti elementi è sviluppata nel capitolo successivo.

### 2.3 Software QGIS

Le diverse metodologie descritte nei paragrafi precedenti saranno applicate con l'ausilio del software QGIS. È un sistema informativo geografico (GIS) open source, rilasciato sotto la GNU General Public License (GPL); è utilizzato per la gestione del territorio, fornendo strumenti adeguati ai processi gestionali e di pianificazione. Permette di effettuare analisi e rappresentazioni dello spazio e degli eventi che si verificano in esso. QGIS risulta utile ai fini di pianificazioni urbanistiche, di realizzazione di piani di Protezione Civile o di cartografie tematiche.

### 2.4 Conclusioni

In questo capitolo sono stati elencati ed analizzati nel dettaglio tutti i metodi e modelli di analisi di distribuzione spaziale adottati nel caso studio del presente lavoro. Dalla loro descrizioni si intuisce l'importanza notevole dei metodi *Density-Based*, in quanto forniscono un'indicazione sulla presenza e sulla localizzazione dei *cluster*, ovvero di aggregazioni spaziali di dati, sintomatici di una criticità nella rete infrastrutturale. L'analisi di tali punti critici nella rete verrà approfondita nel capitolo 5.

# CAPITOLO 3

---

## *Analisi di sensitività*

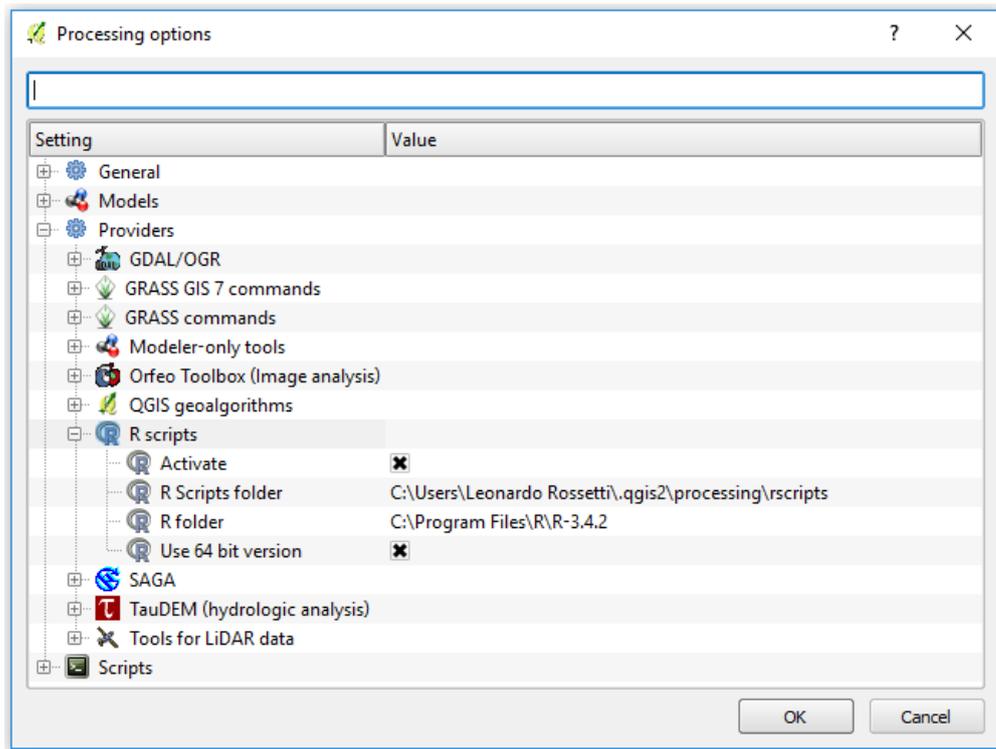
Nel presente capitolo sono sviluppate le analisi di sensitività dei due principali metodi di analisi, il *Quadrat Method* e la stima Kernel di densità, adottati al fine dell'individuazione dei punti critici di una rete infrastrutturale. Lo scopo di tali analisi è di mostrare come la scelta dei diversi parametri influenzi il risultato finale; saranno stabiliti i valori degli stessi da usare nell'analisi di distribuzione spaziale applicata al caso studio della città di Torino di cui al Capitolo 5.

### 3.1 *Quadrat Method*

Come indicato nel Capitolo 2 (par. 2.2.1), il metodo suddivide l'area di studio in celle caratterizzate da una ben definita forma (tipicamente quadrata), da una certa dimensione e da uno specifico orientamento. Ai fini dell'analisi di sensitività, si è deciso di valutare i soli effetti del parametro di maggior rilevanza, ossia la dimensione delle celle in termini di lunghezza dei lati delle stesse.

L'analisi è stata condotta con l'ausilio del software *R*, integrato in QGIS (par. 2.3). *R* è un linguaggio di programmazione per l'analisi statistica; una serie di algoritmi ne amplia le funzionalità, al punto da poter essere impiegato anche nelle analisi di dati geografici. Anche *R* è un'implementazione "open source" ed è distribuito sotto licenza GPL del linguaggio S sviluppato presso i Bell Laboratories della AT&T da John Chambers et al. (Scrucca, 2006).

Per utilizzare gli script di *R* all'interno di QGIS è necessario abilitarlo dal processing menu di cui alla Fig. 3.1.



**Fig. 3.1** – Schermata “Processing options” in QGIS 2.6.1 per l’attivazione di R.

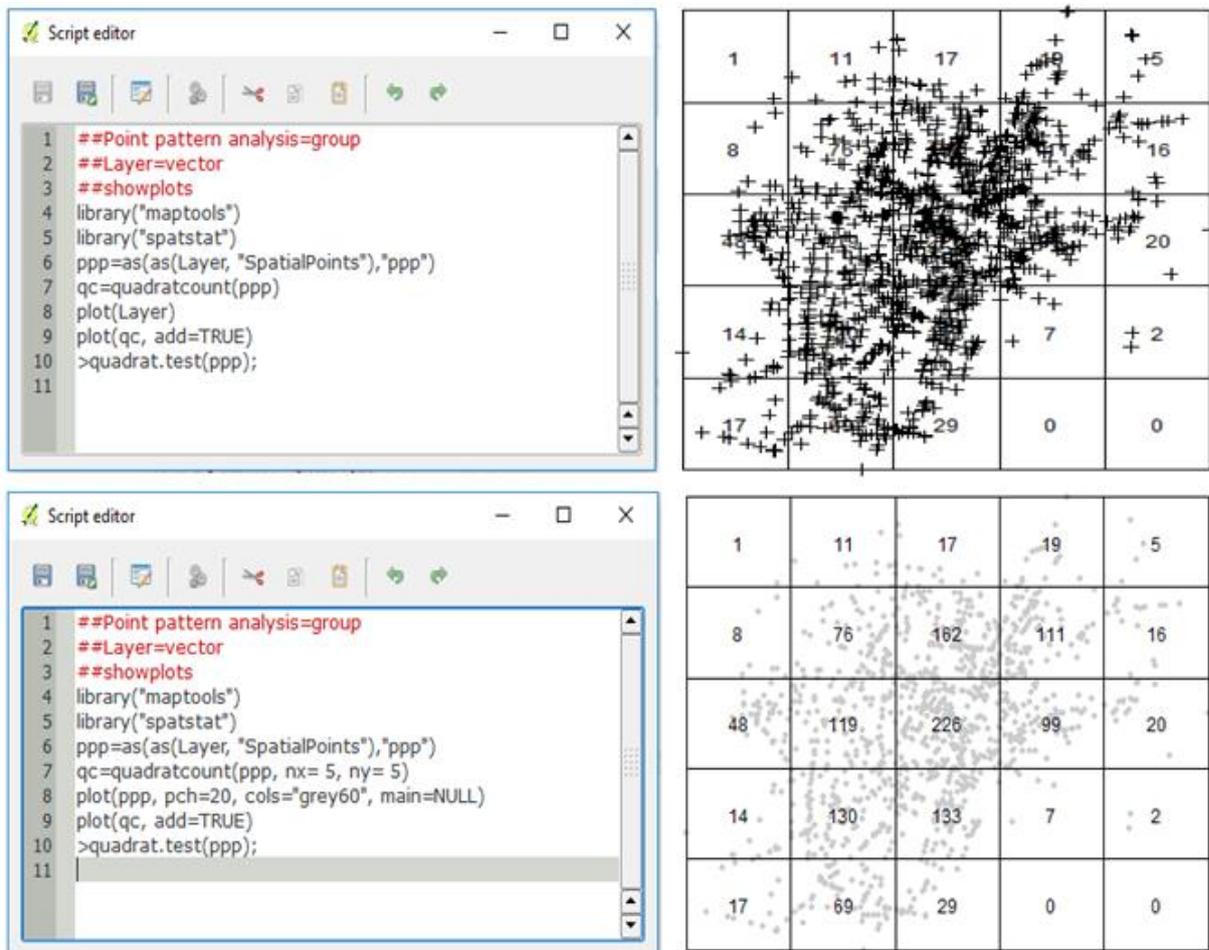
*R* utilizza librerie esterne (detti “pacchetti”) che ne espandono le funzionalità; nelle analisi cui documentate è stata necessaria l’installazione dei seguenti:

- “abind”: combina vettori multidimensionali in un singolo vettore;
- “deldir”: calcola la triangolazione di Delaunay e la tassellatura di Dirichlet (o Voronoi) di un insieme di punti planari;
- “goftest”: applica i test di Cramer-Von Mises e Anderson-Darling per valutare la bontà di adattamento di distribuzioni continue;
- “maptools”: insieme di strumenti per lavorare con dati geografici;
- “polyclip”: esegue operazioni di clipping per regioni poligonali di diversa complessità;
- “raster”: consente di gestire dati spaziali nel formato a griglia (raster);
- “rcpp”: consente la perfetta integrazione di R e C++, facilitando sia la scrittura di nuovi codici sia una più facile integrazione di librerie di terze parti;
- “rgdal”: fornisce collegamenti alla libreria di astrazione dati “GDAL” e l’accesso alla libreria “PROJ.4”;
- “sp”: in esso risiedono le informazioni spaziali;

## CAPITOLO 3: Analisi di sensitività

- “spatstat”: contiene gli strumenti per l’analisi di *pattern* spaziali di punti;
- “tensor”: consente di eseguire prodotti tensoriali tra vettori.

Il metodo è applicabile impiegando, nella sezione “R scripts” del Processing Toolbox di QGIS, la funzione “Quadrat Analysis”. Gli script presenti necessitano di alcune modifiche per rendere l’output di più facile lettura. Tali modifiche sono riportate nella didascalia della Fig. 3.2.

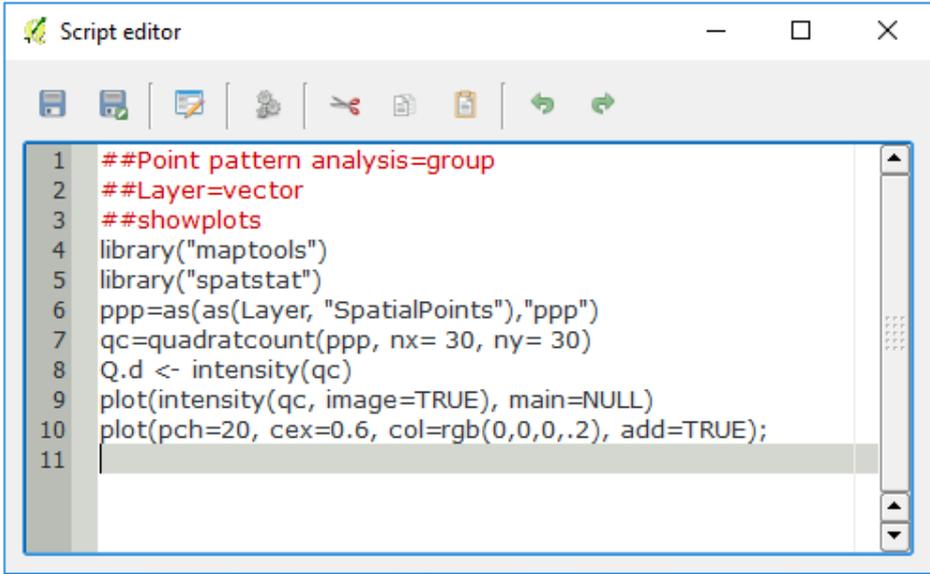


**Fig. 3.2** – Sulla sinistra si hanno le schermate “Quadrat Analysis” di QGIS riportanti gli script di default (in alto) e quelli modificati (in basso); a destra l’output di default (in alto) e quello ottenuto con gli script modificati (in basso). La modifica principale ha riguardato lo script di riga 8, nel quale il valore 20 della funzione “pch” trasforma il simbolo rappresentante l’evento in pallini (invece che in croci come nelle condizioni di default) mentre la stringa “grey60” della funzione “cols” schiarisce i punti stessi, rendendo leggibile il conteggio di eventi delle singole celle.

## CAPITOLO 3: Analisi di sensitività

Come si nota dalla Fig. 3.2, la modifica agli script di default ha portato ad una maggiore comprensione dei conteggi delle diverse celle; per variare il numero di celle si interviene nello script di riga 7 (Fig. 3.2) e si fissano i due valori di  $n_x$  e  $n_y$ , relativi rispettivamente al numero di celle lungo l'asse x e lungo l'asse y (gli script di default prevedono una suddivisione dell'area di studio in 5x5 celle; nell'esempio sopra riportato, la suddivisione è proprio 5x5).

Per condurre l'analisi di sensitività, però, si è deciso di apportare un'ulteriore modifica agli script, così da visualizzare i risultati sfruttando una scala di colori, per una più immediata comprensione dei risultati. Questa modifica ha riguardato l'aggiunta dello script di riga 8 della Fig. 3.3.

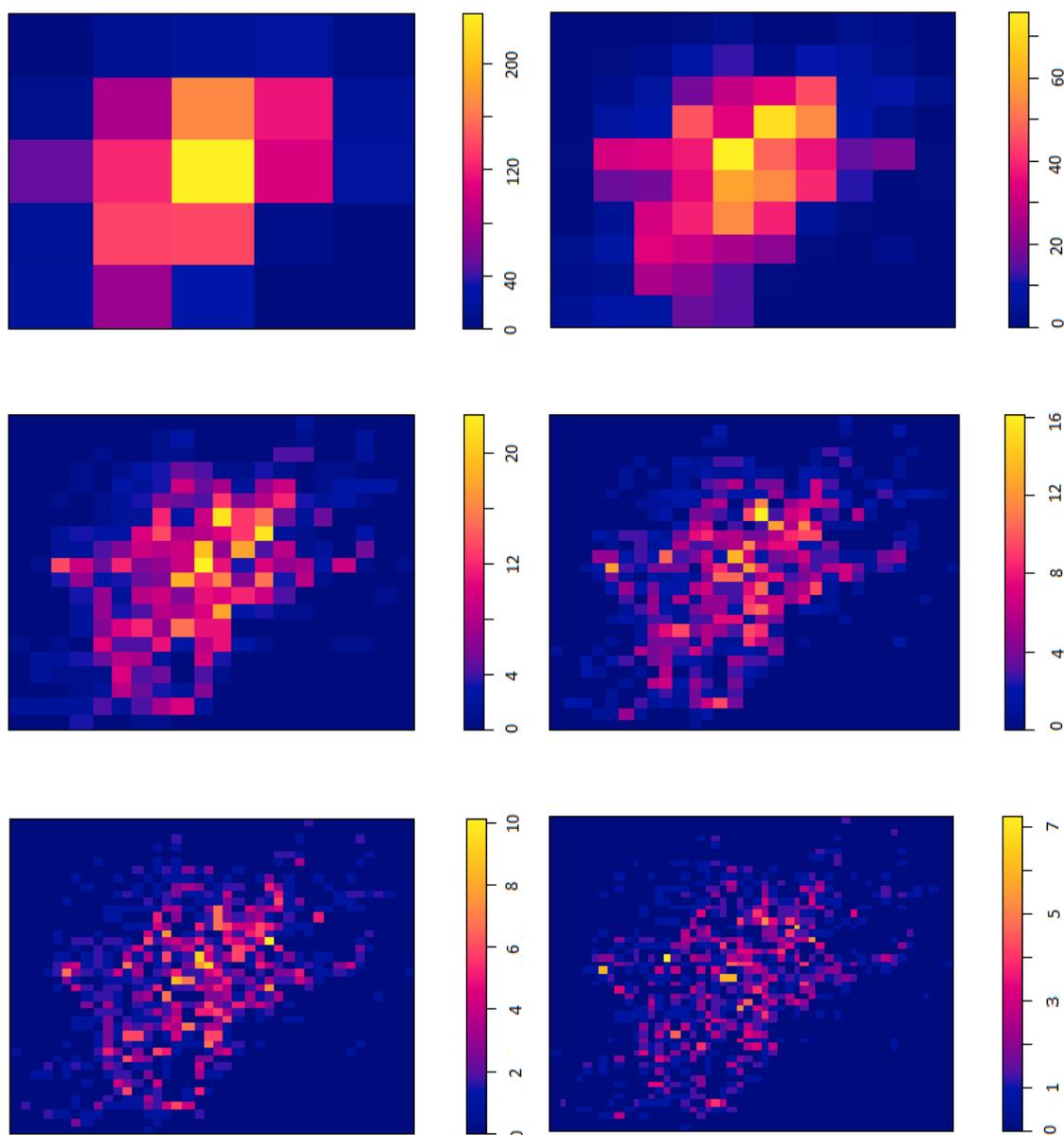


```
Script editor
1  ##Point pattern analysis=group
2  ##Layer=vector
3  ##showplots
4  library("maptools")
5  library("spatstat")
6  ppp=as(as(Layer, "SpatialPoints"),"ppp")
7  qc=quadratcount(ppp, nx= 30, ny= 30)
8  Q.d <- intensity(qc)
9  plot(intensity(qc, image=TRUE), main=NULL)
10 plot(pch=20, cex=0.6, col=rgb(0,0,0,.2), add=TRUE);
11
```

**Fig. 3.3** – Modifica agli script di default per ottenere un risultato basato su una scala di colori.

Infatti, nel caso di una fitta suddivisione dell'area di studio, la tipologia di output riportato in Fig. 3.2 non consentirebbe la leggibilità del risultato.

Sono stati analizzati i risultati di sei diverse suddivisioni dell'area, con i seguenti numeri di celle: 5x5, 10x10, 20x20, 30x30, 40x40, 50x50. Per ognuno di questi casi è stata elaborata una mappa di intensità, tramite gli script di Fig. 3.3, utilizzando i dati degli incidenti che coinvolgono utenti vulnerabili (VRU) nell'anno 2016 (vedi capitolo 4); i risultati sono mostrati in Fig. 3.4.



**Fig. 3.4** – Diverse suddivisioni dell’area di studio (Torino) con rispettive intensità di punti per cella; in sequenza dall’alto al basso: 5x5 e 10x10, 20x20 e 30x30, 40x40 e 50x50.

Questo esempio mette in evidenza il limite della metodologia, ossia la forte dipendenza del risultato della scelta della dimensione delle celle (Nicholson, 1998). Al variare di questa, la localizzazione delle zone critiche cambia significativamente. Un’analisi condotta con un basso numero di celle porta ad un risultato estremamente approssimato, con un unico focus nella zona centrale della città. Una fitta suddivisione dell’area, invece, mette in risalto il fatto che le criticità si ripartiscono in modo diffuso anche in zone periferiche.

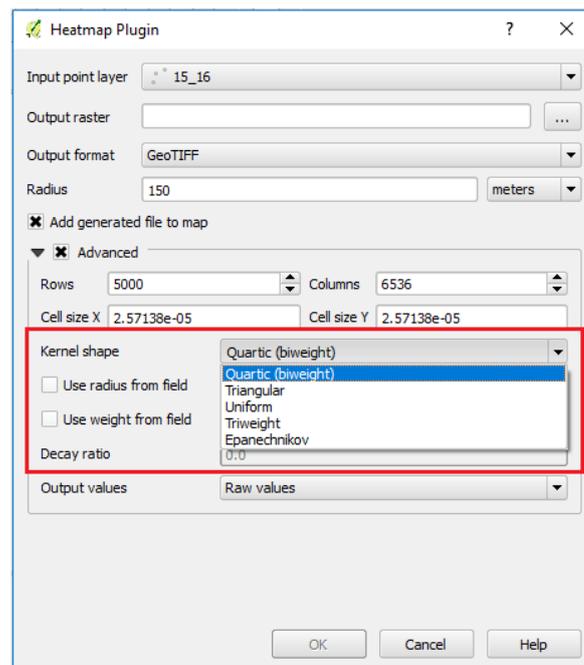
## 3.2 Stima Kernel di densità (*Kernel Density Estimation*)

La densità Kernel è una tecnica di interpolazione spaziale che fornisce stime dell'intensità, o densità, di punti su tutta la superficie, consentendo, quindi, l'identificazione di zone di maggiore aggregazione anche chiamate zone calde, o *hotspots*. Come specificato nel par. 2.2.2, questo metodo risente dell'influenza di due parametri fondamentali (Mohaymany et al., 2013):

- K (funzione Kernel), che conferisce un peso all'evento  $i$ -esimo in base alla sua distanza euclidea dal punto nel quale la funzione è centrata (maggiore è la distanza, minore è il peso);
- $h$  (*bandwidth*), che corrisponde al raggio di ricerca attorno a ciascun evento del quale si sta determinando il valore di densità.

### 3.2.1 Funzione Kernel

Nel paragrafo 2.2.2 sono state introdotte le diverse funzioni Kernel riportate in letteratura; tuttavia, le analisi di sensitività che seguono sono state eseguite riferendosi alle funzioni Epanechnikov, Quartic (*biweight*), *triweight*, triangolare e uniforme, in quanto le sole presenti in QGIS (Fig. 3.5).



**Fig. 3.5** – Schermata “Heatmap Plugin” in QGIS per la creazione di mappe di calore; nel riquadro rosso si hanno le cinque diverse funzioni Kernel (“Kernel shape”) disponibili.

Per una più immediata comprensione delle differenze tra le varie funzioni, si è deciso di condurre l'analisi in due aree di un contesto urbano; nello specifico sono state analizzate due porzioni della città di Torino, avendo già a disposizione i dati incidentali della stessa.

### 3.2.1.1 Esempio I

L'area oggetto di analisi è riportata in Fig. 3.6. Sono stati caricati in QGIS gli eventi incidentali che coinvolgono almeno un utente vulnerabile del periodo 2015-2016 (per le informazioni relative ai dati, ci si riferisca al Capitolo 4; per la procedura di caricamento di dati in QGIS ci si riferisca al Capitolo 5); la distribuzione spaziale degli stessi è riportata in Fig. 3.7.



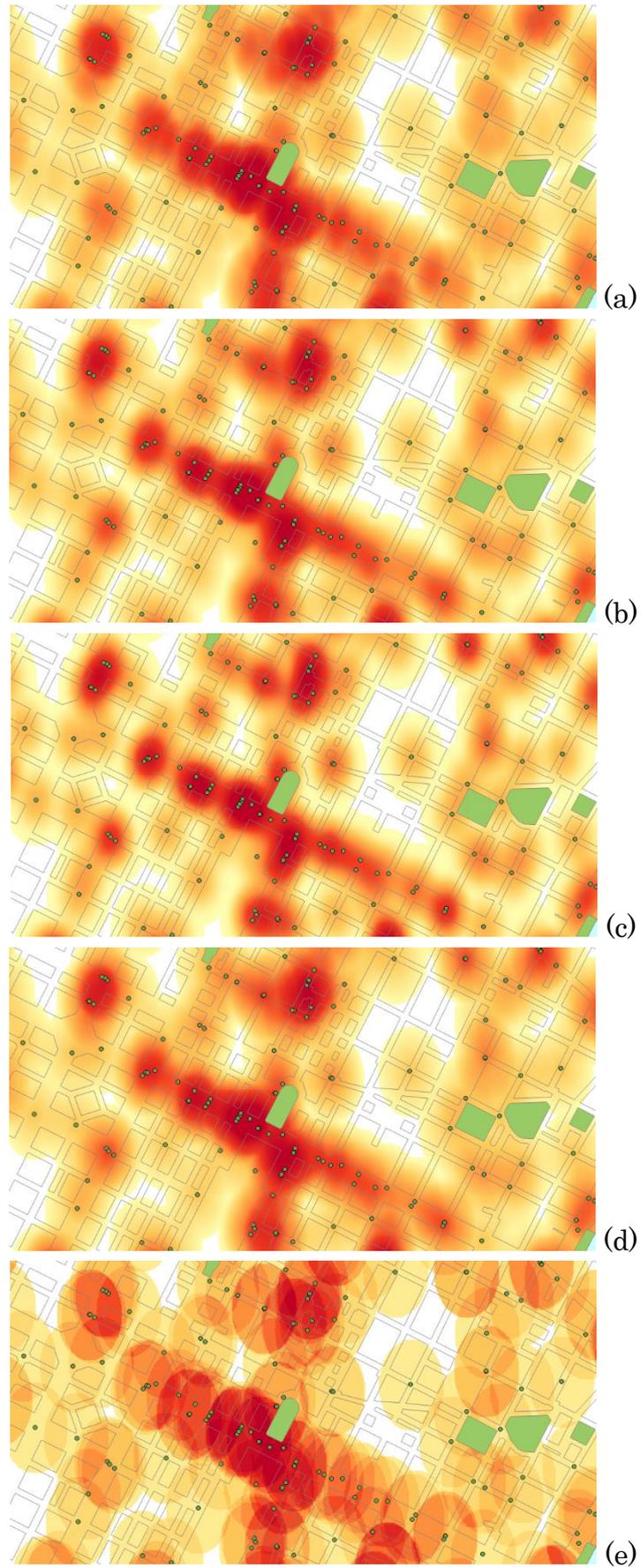
**Fig. 3.6** – Area della stazione ferroviaria di Porta Nuova (Torino): immagine satellitare (in alto) e struttura semplificata data dallo shapefile “Carta di sintesi” contenente i livelli di cartografia derivata dalla Carta Tecnica della Città di Torino (in basso).



**Fig. 3.7** – Eventi incidentali relativi agli utenti vulnerabili, anni 2015-2016.

Impostando di volta in volta una diversa “Kernel shape” (vedi Fig. 3.5), a parità di *bandwidth* ( $h = 100$  m), sono stati ottenuti i risultati riportati nella Fig. 3.8.

È possibile notare, in modo immediato, come le prime quattro funzioni analizzate forniscano risultati molto simili tra di loro, con piccole differenze in termini di sfumature di colore all’interno delle diverse aree di ricerca; tale connotazione è dovuta alla particolare forma delle suddette funzioni, le quali presentano il massimo nel punto centrale e tendono a zero per distanze prossime al valore di *bandwidth*. Il caso della funzione uniforme si differisce in modo marcato da quelli precedenti in quanto conferisce lo stesso peso a tutti i punti ricadenti all’interno delle aree di ricerca, con quest’ultime dunque contraddistinte da un’unica tonalità di colore senza alcuna sfumatura. Ad eccezione di quest’ultima funzione, risulta evidente come la scelta della funzione K non influenzi di molto il risultato, confermando quanto riportato in letteratura (Bailey, Gatrell, 1995; Xie, Yan, 2008; Yu et al., 2014; Flahaut et al, 2002).



**Fig. 3.8**– Analisi di sensitività al variare della funzione Kernel: (a) Epanechnikov, (b) Quartic (biweight), (c) Triweight, (d) Triangular, (e) Uniform.

### 3.2.1.2 Esempio II

L'area oggetto di analisi è riportata in Fig. 3.9, Sono stati caricati in QGIS gli eventi incidentali che coinvolgono almeno un utente vulnerabile del periodo 2015-2016 (per le informazioni relative ai dati, ci si riferisca al Capitolo 4; per la procedura di caricamento di dati in QGIS ci si riferisca al Capitolo 5); la distribuzione spaziale degli stessi è riportata in Fig. 3.10.



**Fig. 3.9** – Area del Quadrilatero Romano (Torino): immagine satellitare (in alto) e struttura semplificata data dallo shapefile “Carta di sintesi” contenente i livelli di cartografia derivata dalla Carta Tecnica della Città di Torino (in basso).

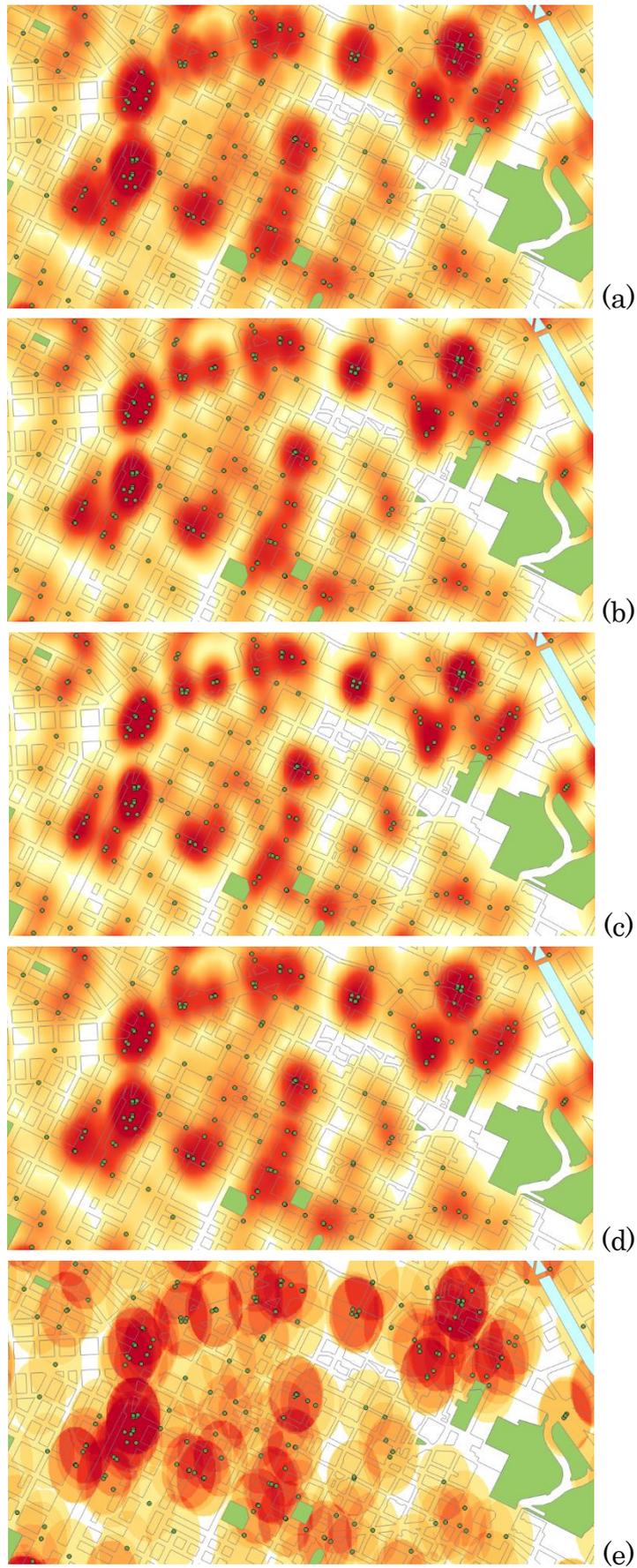


**Fig. 3.10** – Eventi incidentali relativi agli utenti vulnerabili, anni 2015-2016.

Impostando di volta in volta una diversa “Kernel shape”, sono stati ottenuti i risultati di Fig. 3.11, a parità di bandwidth ( $h = 150$  m).

La zona selezionata presenta caratteristiche strutturali e funzionali diverse da quelle del caso precedente: la connotazione strutturale risiede nel grafo stradale, in questo caso contraddistinto da una maglia più fitta; dal punto di vista funzionale si ha che la presente è caratterizzata da una preponderanza di spazi destinati ai pedoni, trattandosi di un’area storica della città di Torino.

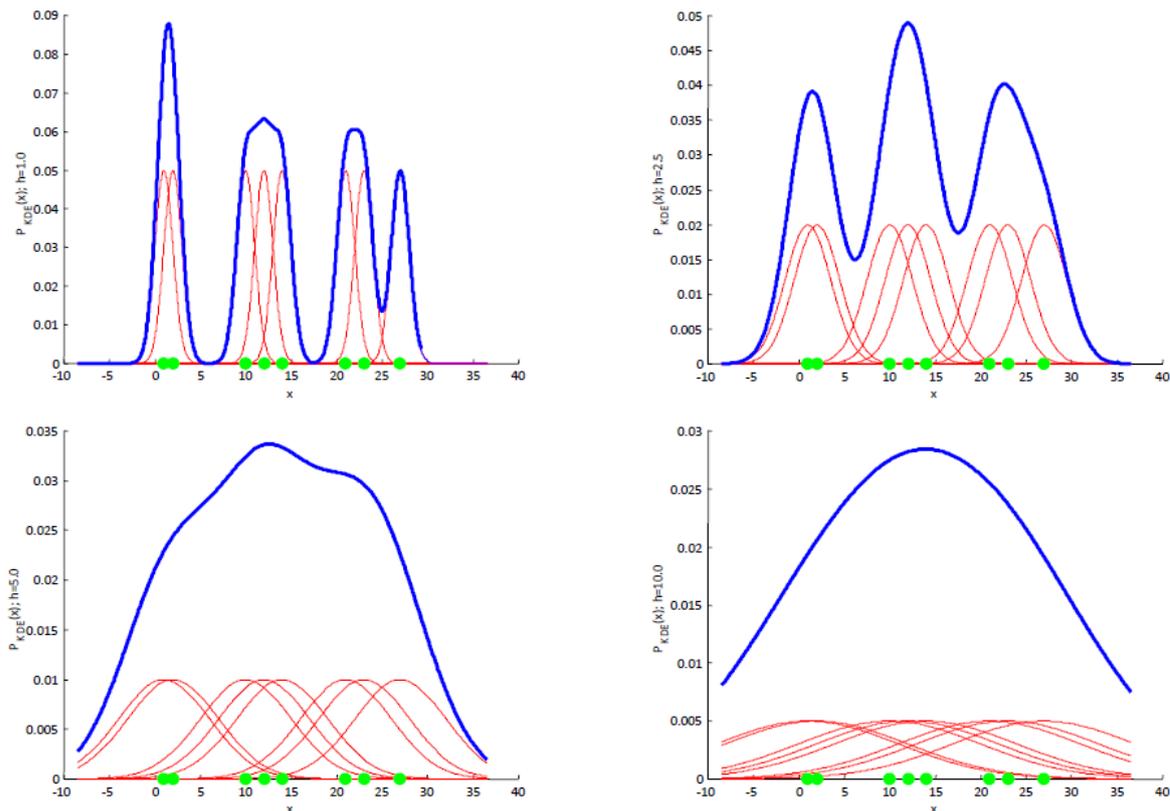
Nonostante queste differenze, è possibile notare come i risultati di questa seconda area corroborino le considerazioni relative alle *heatmap* del caso precedente, rimarcando la scarsa influenza della funzione  $k$ .



**Fig. 3.11**– Analisi di sensitività al variare della funzione Kernel: (a) Epanechnikov, (b) Quartic (biweight), (c) Triweight, (d) Triangular, (e) Uniform.

### 3.2.2 Bandwidth

Il parametro  $h$  ha un'influenza molto importante sulla stima di densità Kernel, diversamente da quanto detto nei riguardi della funzione  $k$  (O'Sullivan e Wong, 2007; Xie e Yan, 2008). Grandi valori di  $h$  comportano una sovrapposizione di superfici, portando inevitabilmente ad una equa distribuzione spaziale e quindi ad un mascheramento dell'effettiva struttura dei dati; valori piccoli, invece, producono una superficie caratterizzata dalla presenza di numerosi picchi, difficile da interpretare (Gutierrez-Osuna, 2004); in Fig. 3.12 è riportato l'esempio del caso monodimensionale, che aiuta a comprendere la forte dipendenza del risultato dal valore del parametro  $h$ ; piccoli valori di  $h$  portano ad un'enfaticizzazione dei picchi, mascherati invece nel caso di elevati raggi di ricerca.



**Fig. 3.12** – Funzione Kernel di densità (blu); le funzioni di densità di ogni singolo punto (rosso) sono cumulate tra loro al fine di ottenere la stima della densità finale. L'ampiezza delle funzioni di densità di ogni singolo punto (bandwidth) può essere stretta (due immagini superiori) o ampia (due immagini inferiori) e influenza notevolmente la stima della densità finale. (Gutierrez-Osuna R.: *Kernel Density Estimation*, CSCE 666: Pattern Analysis, p. 14, 2004).

Relativamente alla determinazione del parametro  $h$ , Okabe et al. (2009), così come Porta et al. (2009), suggeriscono un intervallo di valori compreso tra 100 e

## CAPITOLO 3: Analisi di sensitività

300 m per quanto concerne le aree urbane, ciò in base alla lunghezza media degli archi stradali. Secondo Steenberghen et al., 2010, in ambito urbano il raggio di ricerca dovrebbe essere ridotto a 50 m. Alla luce di questi suggerimenti, nell'analisi di sensitività l'analisi è stata fatta per valori del parametro  $h$  di 50, 100, 200 e 300 m.

Analogamente a quanto fatto per la funzione  $k$ , per una più immediata comprensione delle differenze tra le *bandwidth*, si è deciso di condurre l'analisi in due porzioni di un'area urbana. Nello specifico si tratta delle stesse zone analizzate precedentemente.

### 3.2.2.1 Esempio I

L'area oggetto di analisi è riportata in Fig. 3.13.



**Fig. 3.13** – Area della stazione ferroviaria di Porta Nuova (Torino): immagine satellitare (in alto) e struttura semplificata data dallo shapefile “Carta di sintesi” contenente i livelli di cartografia derivata dalla Carta Tecnica della Città di Torino (in basso).

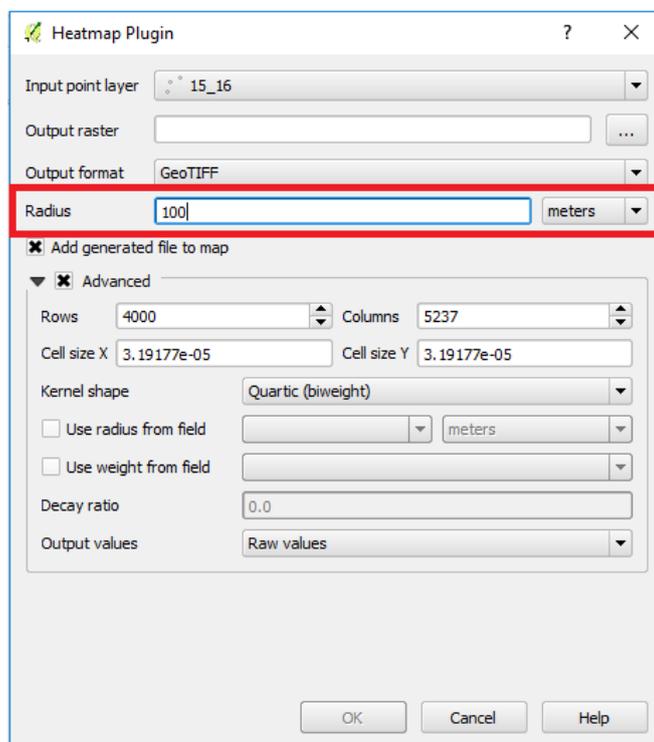
## CAPITOLO 3: Analisi di sensitività

Sono stati caricati in QGIS i punti relativi agli eventi incidentali che coinvolgono almeno un utente vulnerabile del periodo 2015-2016 (per le informazioni relative ai dati, ci si riferisca al Capitolo 4; per la procedura di caricamento di dati in QGIS ci si riferisca al Capitolo 5); la distribuzione spaziale degli stessi è riportata in Fig. 3.14.



**Fig. 3.14** – Eventi incidentali relativi agli utenti vulnerabili, anni 2015-2016.

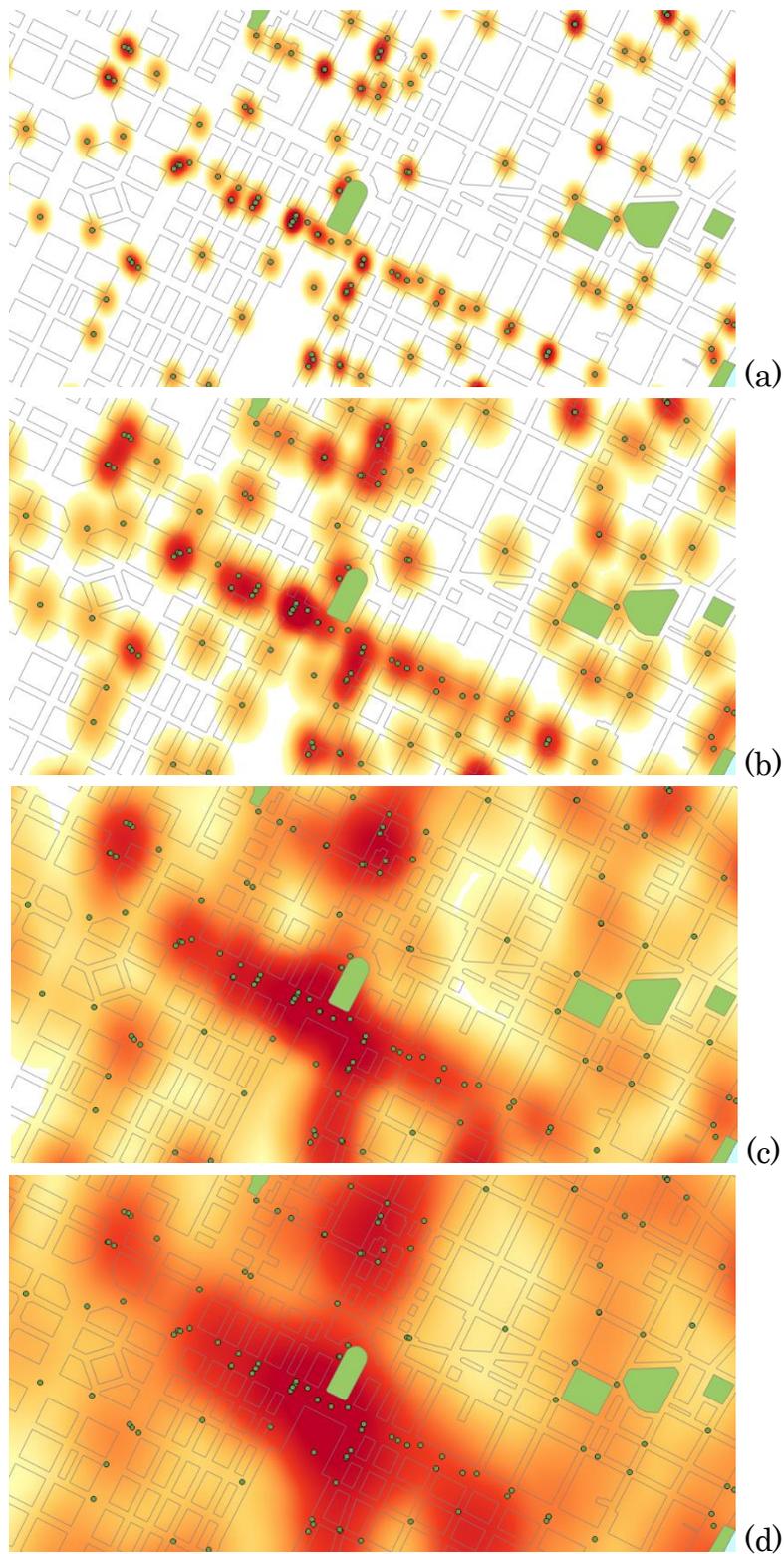
Il valore del raggio di ricerca viene selezionato andando ad operare nell'apposita casella della schermata "Heatmap Plugin", come mostrato in Fig.3.15.



**Fig. 3.15** – Schermata "Heatmap Plugin" in QGIS per la creazione di mappe di calore; nel riquadro rosso si ha la casella relativa al valore del raggio di ricerca (bandwidth).

### CAPITOLO 3: Analisi di sensitività

I risultati relativi ai quattro diversi valori di  $h$ , a parità di  $k$  (Quartic), sono riportati in Fig. 3.16.



**Fig. 3.16**— Analisi di sensitività al variare della *bandwidth*: (a) 50 m, (b) 100 m, (c) 200 m, (d) 300 m.

Come si evince dalla Fig. 3.16, il parametro  $h$  svolge un ruolo estremamente rilevante nella stima della densità finale. Si può notare, infatti, come all'aumentare dello stesso si ottenga una superficie più smussata con la presenza di pochi *cluster* di notevole estensione; contrariamente, piccoli valori di  $h$  portano all'identificazione di numerosi *cluster* concentrati in piccole aree. La scelta di un grande valore di bandwidth (200-300 m) porterebbe all'individuazione di un problema in una vasta area caratterizzata da un unico grande *cluster* che ingloba più elementi stradali; questi vanno a formare un vero e proprio corridoio (porzione di Corso Vittorio Emanuele II, fronte Porta Nuova). Piccoli valori di  $h$  (50-100 m), invece, individuano problemi in aree limitate spostando l'attenzione dai corridoi (o dagli archi) ai nodi.

### 3.2.2.2 Esempio II

L'area oggetto di analisi è riportata in Fig. 3.17.



**Fig. 3.17** – Area del Quadrilatero Romano (Torino): immagine satellitare (in alto) e struttura semplificata data dallo shapefile “Carta di sintesi” contenente i livelli di cartografia derivata dalla Carta Tecnica della Città di Torino (in basso).

## CAPITOLO 3: Analisi di sensitività

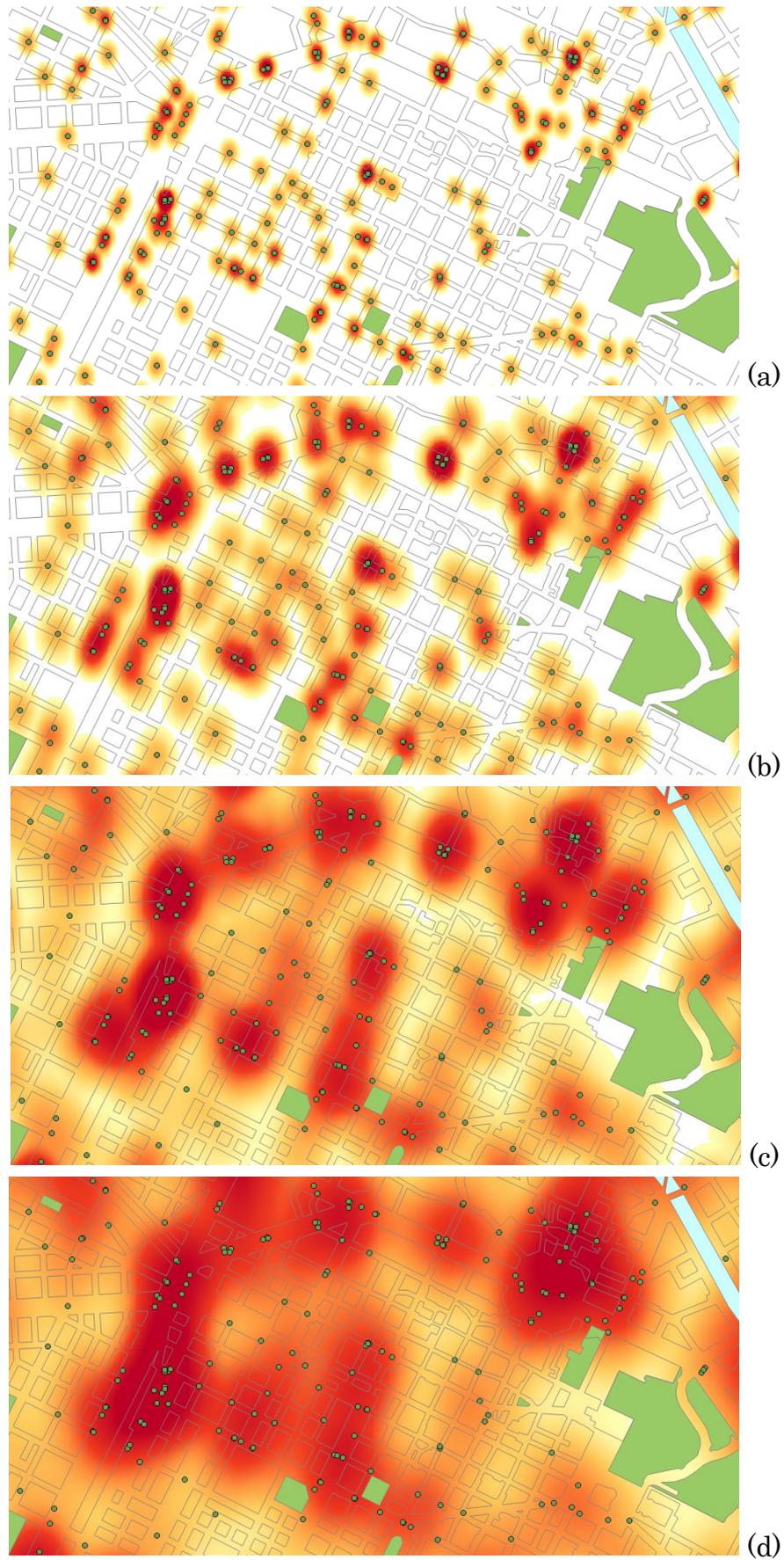
Sono stati caricati in QGIS i punti relativi agli eventi incidentali del periodo 2015-2016 che coinvolgono almeno un utente vulnerabile (per le informazioni relative ai dati, ci si riferisca al Capitolo 4; per la procedura di caricamento di dati in QGIS ci si riferisca al Capitolo 5); la distribuzione spaziale degli stessi è riportata in Fig. 3.18.



**Fig. 3.18** – Eventi incidentali relativi agli utenti vulnerabili, anni 2015-2016.

Il valore del raggio di ricerca viene selezionato nella schermata “Heatmap Plugin” (vedi Fig. 3.15). I risultati relativi ai quattro diversi valori di  $h$ , a parità di  $k$  (Quartic), sono riportati in Fig. 3.19.

Anche in questo caso si può notare come il parametro  $h$  svolga un ruolo rilevante nella stima della densità finale. La scelta di un grande valore di bandwidth (200-300 m) porta all'individuazione di grandi *cluster* (area di Piazza della Repubblica, Piazza Statuto e Corso Inghilterra, area di Piazza Savoia). Piccoli valori di  $h$  (50-100 m), invece, mettono in evidenza come i problemi siano relativi a punti specifici di queste vaste aree; ad esempio si evidenzia come quella che sembra essere una criticità di Piazza Savoia (situata al centro della figura), nel caso di  $h$  pari a 200 m o 300 m, sia in realtà un problema dell'intersezione adiacente (tra via del Carmine e via Bligny), situazione riscontrabile solo con una riduzione a 100 m o 50 m di  $h$ .



**Fig. 3.19**– Analisi di sensitività al variare della *bandwidth*: (a) 50 m, (b) 100 m, (c) 200 m, (d) 300 m.

### 3.2.3 Scelta dei parametri

Le analisi di sensitività appena condotte hanno portato alla selezione di due funzioni kernel (Epanechnikov e Quartic) e di due valori di *bandwidth* (50 m, 100 m). Di seguito vengono riportate le considerazioni per la scelta dei valori da adottare nell'analisi di distribuzione spaziale di incidenti nella città di Torino (capitolo 5).

#### 3.2.3.1 Scelta della funzione k

Come sottolineato nello studio della metodologia Kernel (par. 2.2.2), le funzioni che forniscono risultati migliori, nonostante la piccola influenza delle stesse nel risultato finale, sono la Epanechnikov e la Quartic (o Biweight); uno studio sull'andamento delle due funzioni ha rilevato come la Quartic conferisca un peso maggiore ai punti più prossimi a quello nel quale la funzione è centrata (Fig. 2.9). Tale aspetto ha portato alla scelta di quest'ultima per l'analisi finale, data l'importanza nell'evidenziare aggregazioni di punti molto prossimi tra loro (che lasciano presagire una stretta correlazione con l'infrastruttura).

#### 3.2.3.2 Scelta della *bandwidth*

L'obiettivo è quello di individuare i punti critici nella rete infrastrutturale; quindi, alla luce delle considerazioni relative ai risultati delle analisi condotte (par. 3.2.2.1 e 3.2.2.2), si propone la scelta di valori di *bandwidth* non superiori a 100 m. Tuttavia, si ritiene necessario condurre un livello di analisi più approfondito relativamente al suddetto parametro, cercando di correlare il suo valore con la lunghezza media degli archi della rete infrastrutturale, coerentemente con quanto riportato in letteratura (Mohaymany et al., 2013). Tale analisi consente di trovare un giusto compromesso sul valore della *bandwidth*, tale da permettere la valutazione delle singole intersezioni, tipicamente più predisposte all'incidentalità. Questo secondo livello di analisi sul parametro *h* dipende fortemente dal caso oggetto di studio; per questo motivo verrà approfondito nel capitolo 5, relativo all'applicazione della metodologia Kernel alla città di Torino

### 3.2.4 Definizione dei siti pericolosi (*Hazardous Road Locations*)

I risultati dell'analisi spaziale degli incidenti di interesse del presente studio saranno estrapolati dalla valutazione di mappe di calore (o *heatmap*), ottenute tramite il software QGIS. Una mappa di calore è una rappresentazione grafica della distribuzione spaziale dei dati, espressa attraverso una scala di colori, che rappresentano i diversi intervalli di densità. Nel presente studio l'interesse è volto nei confronti dell'ultimo intervallo, indicativo della pericolosità di un sito, in quanto caratterizzato dalle più alte densità incidentali. È necessario stabilire il criterio di identificazione dei siti ritenuti pericolosi; questi sono aree in cui il numero di incidenti eccede la media, ovvero dove si ha una alta densità relativamente alla distribuzione complessiva di incidenti nell'area di studio (Loo & Anderson, 2016). Tuttavia, vi è discrezionalità nei riguardi della scelta della soglia al di sopra della quale un'aggregazione di eventi incidentali determina la pericolosità di un sito.

In letteratura sono riportati tre criteri per la definizione della pericolosità di una determinata area: “numerico”, statistico e basato su modelli (Elvik, 2007).

Nel criterio “numerico” i valori osservati della frequenza incidentale sono confrontati con un valore soglia, superato il quale il sito è classificato come pericoloso. Questa soglia è determinata arbitrariamente sulla base dei livelli incidentali considerati tollerabili dal contesto sociale e delle risorse a disposizione delle amministrazioni per la sicurezza stradale (Loo & Anderson, 2016). In Norvegia, ad esempio, è considerato pericoloso qualsiasi sito di lunghezza massima di 100 m nel quale si siano verificati almeno quattro incidenti gravi negli ultimi 5 anni (Statens vegvesen, 2006); nel Kentucky (USA) sono valutati pericolosi quei segmenti stradali di 0.1 miglia (0.16 km) con tre o più incidenti in un anno (Deacon et al., 1975).

Con la definizione statistica si riconosce il fatto che gli incidenti stradali siano eventi casuali; con “pericoloso” si intende un sito nel quale la frequenza di incidenti è significativamente più alta di quella attesa, in riferimento ad un

## CAPITOLO 3: Analisi di sensitività

prestabilito livello di significatività (Hakkert, Mahalel, 1978). Di conseguenza il valore soglia non è più un numero arbitrario ma deriva dalla determinazione di statistiche descrittive relative alla distribuzione spaziale degli eventi, specificando il livello di significatività e calcolando l'intervallo di confidenza ad esso associato (Loo & Anderson, 2016). L'ipotesi nulla prevede che la differenza tra il valore osservato ed il valore atteso sia dovuta al caso; tale ipotesi viene rigettata nel momento in cui la differenza ricade al di fuori dell'intervallo di confidenza ( $\bar{x} \pm 1,96 \cdot SE_x$  per un livello di confidenza del 95%, con  $\bar{x}$  pari alla media delle frequenze osservate e  $SE_x$  pari all'errore standard della media). Non si è interessati al caso in cui questa differenza è negativa; è opportuno quindi condurre un test ad una coda. Quando l'ipotesi  $H_0$  è rigettata si è in presenza di un sito pericoloso.

Nell'ultimo criterio di definizione di pericoloso, il valore soglia è stabilito in riferimento a particolari modelli predittivi di incidenti che prendono in considerazione alcuni fattori di rischio, quali volume di traffico, lunghezza strada, tipologia di intersezione e pendenza. Negli ultimi anni, l'approccio che ha riscosso maggior interesse è quello Bayesiano empirico (Loo & Anderson, 2016).

Data la complessità di quest'ultima tipologia e in assenza di molte informazioni utili allo sviluppo dei modelli, si è optato per una definizione basata su considerazioni statistiche ma caratterizzata da un'arbitrarietà di scelta relativamente agli estremi degli intervalli; nello specifico la suddivisione stabilita è la seguente:

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

Tale suddivisione segue quanto proposto in casi studio nell'ambito della criminologia (Ummarino, 2013), con l'apporto di opportune modifiche atte alla maggior restrittività dei risultati. Le differenze sono riportate in Fig. 3.20.



**Fig. 3.20** – Confronto tra mappe di calore con diversa suddivisione degli intervalli: a sinistra la suddivisione proposta nella pubblicazione “*Una introduzione ai software per il crime mapping*” (Ummarino, 2013), con 4 intervalli ( $<VM$ ;  $VM + 1STD$ ;  $VM + 2STD$ ;  $>VM + 3STD$ ); a destra la suddivisione proposta nel presente lavoro di tesi ( $<VM$ ;  $VM + 2STD$ ;  $VM + 4STD$ ;  $VM + 6STD$ ;  $>VM + 6STD$ ), al fine di conferire un’enfasi maggiore alle zone con dati estremamente concentrati.

La scelta dell’ultimo intervallo, e quindi del valore critico, molto restrittivo dal punto di vista statistico, consente di mettere in evidenza i punti nei quali si hanno concentrazioni molto significative di incidenti, rendendo l’analisi dei risultati di più semplice interpretazione. Così facendo, infatti, solo i punti della rete con un’elevata concentrazione di incidenti (e quindi statisticamente molto significativa) verranno valutati come siti pericolosi.

### 3.3 Conclusioni

Nel presente capitolo sono state condotte delle analisi di sensitività nei riguardi dei due metodi selezionati al fine dell’individuazione dei siti pericolosi (HRL) nella rete infrastrutturale della città di Torino, ossia il Quadrat Method e la stima Kernel di densità. Relativamente al primo metodo, la forte influenza della scelta dei parametri, primo su tutti la dimensione delle celle, porta all’esclusione dello stesso dall’analisi del caso studio (affrontata nel capitolo 5). Si procede dunque all’applicazione del solo metodo Kernel, il quale consente di ottenere un buon risultato, richiedendo inoltre un onere computazionale relativamente limitato.



# CAPITOLO 4

---

## *Acquisizione e trattamento dati incidentali*

Il seguente capitolo riguarda l'acquisizione e il trattamento dei dati incidentali relativi al periodo 2006-2016 e l'elaborazione del database finale, propedeutico all'analisi di interesse per il presente lavoro.

L'intero processo può essere riassunto in tre fasi principali:

1. estrazione dei soli incidenti che coinvolgono le utenze vulnerabili (*Vulnerable Road Users*) nella città di Torino;
2. geolocalizzazione degli incidenti in un sistema GIS (*Geographic Information System*);
3. formazione del database per l'analisi di distribuzione spaziale degli incidenti.

### 4.1 Estrazione incidenti “VRU”

Si è partiti dai database incidentali dell'ISTAT della Regione Piemonte, relativi ai periodi 2006-2011 e 2011-2016. In base alla definizione di incidente adottata dall'Istituto di Statistica, il database contiene quelli nei quali è stata rilevata la presenza di almeno un ferito (a livello statistico, in Italia non sono considerati incidenti quelli che hanno per esito i soli danni materiali). Le righe (record) sono relative ai singoli incidenti mentre le colonne (campi) presentano una serie di informazioni relative agli stessi (localizzazione incidente, natura incidente, veicoli coinvolti, utenti coinvolti, conseguenze ecc.).

Secondo l'ISTAT sono feriti i soggetti che hanno subito lesioni a seguito dell'incidente. Data la natura della rilevazione non è attualmente possibile distinguere i feriti in funzione del livello di gravità. Sono morti coloro che decedono a seguito di incidente entro il trentesimo giorno a partire dalla data dell'evento. Tale definizione è stata adottata a decorrere dal 1° gennaio

## CAPITOLO 4: Acquisizione e trattamento dati incidentali

1999 mentre nel passato (fino al 31 dicembre 1998) il numero dei decessi includeva solo quelli avvenuti entro sette giorni dal momento del sinistro.

Nei paragrafi seguenti sono descritte nel dettaglio le diverse operazioni di filtraggio eseguite al fine dell'ottenimento della banca dati finale, contenente solo gli eventi incidentali di interesse per il presente studio.

### 4.1.1 Provincia e Comune

Il database di partenza conteneva tutti i dati a livello regionale; in primo luogo è stato necessario il filtraggio dei soli incidenti relativi alla provincia e al comune di Torino. Questa operazione è stata eseguita selezionando nel campo “*prov*” l'identificativo della provincia (il valore 001 per Torino) e nel campo “*com*” l'identificativo del comune (il valore 272 sempre per Torino); i codici identificativi ISTAT sono riportati in Fig. 4.1.

A livello provinciale, la percentuale media di incidenti verificatisi negli undici anni rispetto al totale regionale è del 51,84%; la stessa percentuale, a livello comunale, risulta essere del 28,44%; i dati incidentali relativi alle tre diverse scale sono riportati in Tab. 4.1 e in Fig. 4.2.

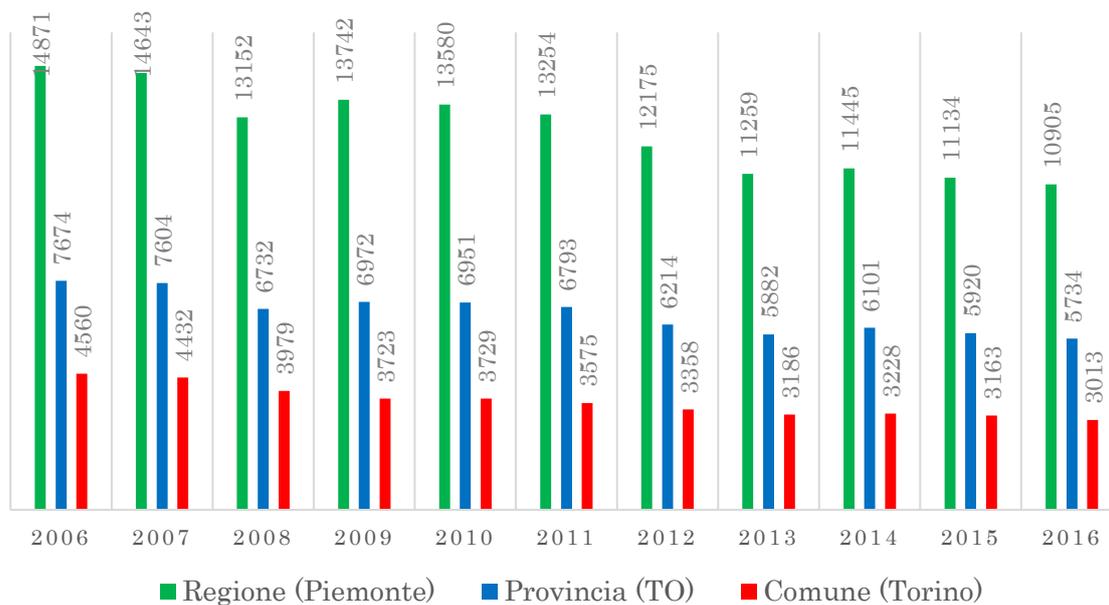
Gli andamenti riportati nel grafico di Fig. 4.2 sono coerenti con la tendenza di una riduzione dell'incidentalità riscontrata a livello nazionale negli ultimi anni (vedi Fig.4.3).

001268	STRAMBINELLO	PROVINCIA
001269	STRAMBINO	
001270	SUSA	COMUNE
001271	TAVAGNASCO	
001272	TORINO	
001273	TORRAZZA PIEMONTE	
001274	TORRE CANAVESE	
001275	TORRE PELLICE	
001276	TRANA	

**Fig. 4.1** - Codici identificativi ISTAT; Provincia (riquadro blu), Comune (riquadro rosso)([http://www.regione.piemonte.it/archivio/rurale\\_PSR2000\\_2006/montagna/rural\\_e\\_PSR2000\\_2006/dwd/c2\\_istat.pdf](http://www.regione.piemonte.it/archivio/rurale_PSR2000_2006/montagna/rural_e_PSR2000_2006/dwd/c2_istat.pdf)).

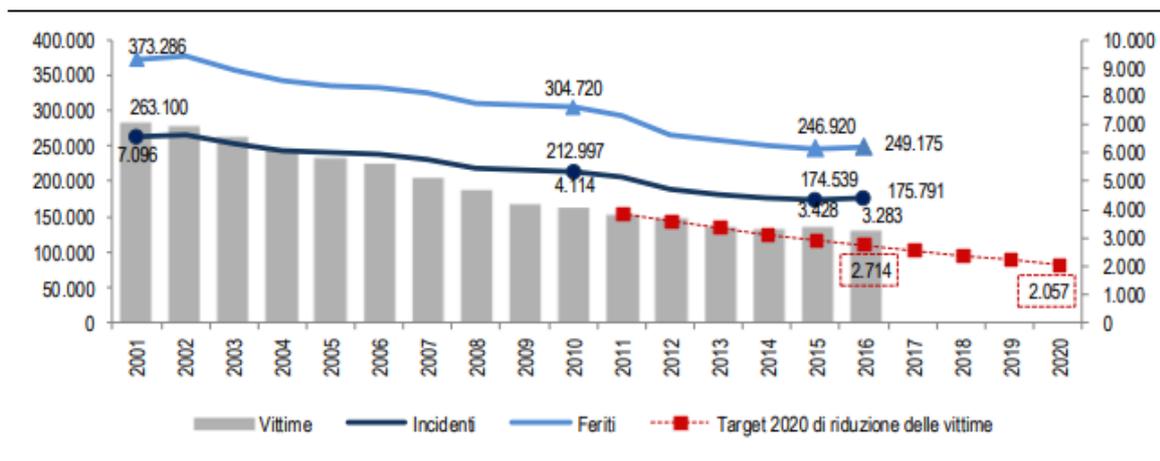
**Tab. 4.1** – Numero di incidenti suddivisi per Regione, Provincia e Comune, dal 2006 al 2016.

Regione (Piemonte)		Provincia (TO)		Comune (TORINO)	
anno	incidenti	anno	incidenti	anno	incidenti
2006	14.871	2006	7.674	2006	4.560
2007	14.643	2007	7.604	2007	4.432
2008	13.152	2008	6.732	2008	3.979
2009	13.742	2009	6.972	2009	3.723
2010	13.580	2010	6.951	2010	3.729
2011	13.254	2011	6.793	2011	3.575
2012	12.175	2012	6.214	2012	3.358
2013	11.259	2013	5.882	2013	3.186
2014	11.445	2014	6.101	2014	3.228
2015	11.134	2015	5.920	2015	3.163
2016	10.905	2016	5.734	2016	3.013
<b>TOTALE</b>	<b>140.160</b>		<b>72.577</b>		<b>39.946</b>



**Fig. 4.2** – Incidenti verificatisi dal 2006 al 2016 suddivisi per Regione, Provincia e Comune.

## CAPITOLO 4: Acquisizione e trattamento dati incidentali



**Fig. 4.3** – Incidenti stradali con lesioni a persone, morti e feriti a livello nazionale. Anni 2001-2016, valori assoluti (rapporto ACI-ISTAT, *INCIDENTI STRADALI*, anno 2016, Figura 1, 2017).

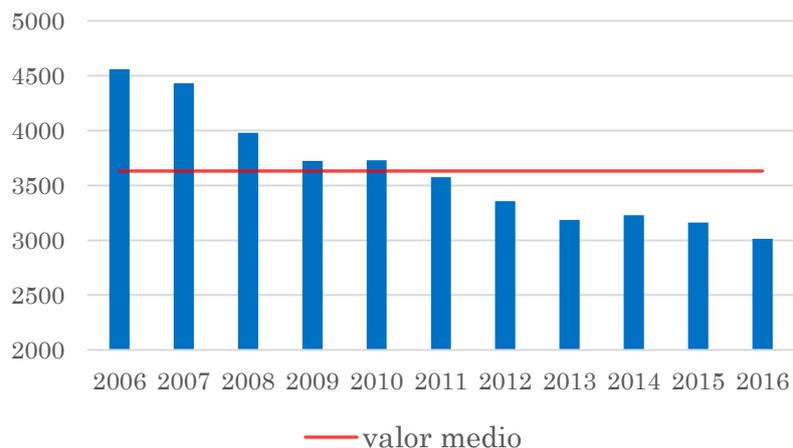
Queste prime due operazioni di filtraggio portano ad un database costituito da 39.946 record (circa il 28,5% degli incidenti regionali).

### 4.1.1.1 Distribuzione temporale

È stata condotta un'analisi statistica temporale sui sinistri stradali della città di Torino, al fine di identificare i picchi incidentali. A tal proposito sono state analizzate, oltre a quelle annuali, le distribuzioni mensili, giornaliere e orarie relative all'intera finestra temporale oggetto di studio.

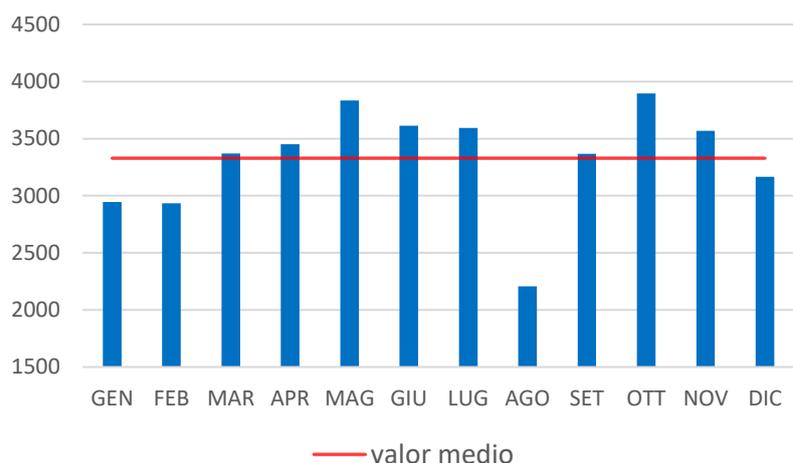
La distribuzione annuale è sintetizzata in Fig. 4.4. Come riportato nel precedente paragrafo, si osserva un trend decrescente nel corso degli anni, con una riduzione dell'incidentalità dall'anno 2006 all'anno 2016 di circa il 33,9% (da 4.560 a 3.013 incidenti).

## CAPITOLO 4: Acquisizione e trattamento dati incidentali



**Fig. 4.4** – Distribuzione annuale di incidenti in Torino (anni 2006-2016).

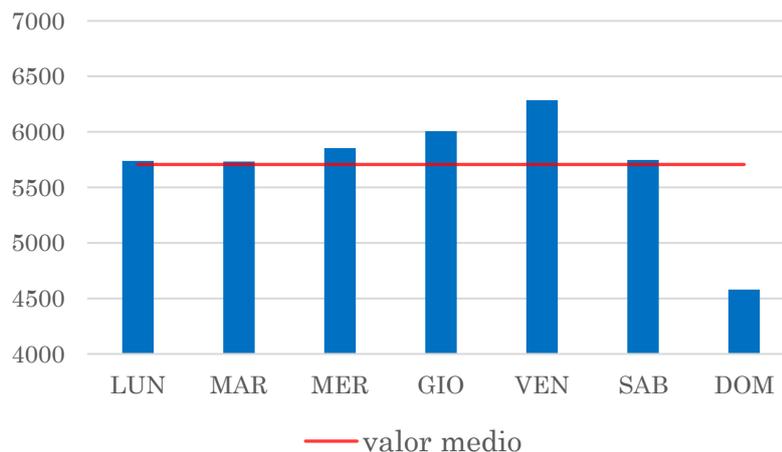
Dallo studio della distribuzione mensile, riportata in Fig. 4.5, risulta che i mesi più critici sono ottobre e maggio, con rispettivamente 3.895 e 3.833; il mese con meno incidenti è agosto, con 2.207 rilevamenti.



**Fig. 4.5** – Distribuzione mensile di incidenti in Torino (anni 2006-2016).

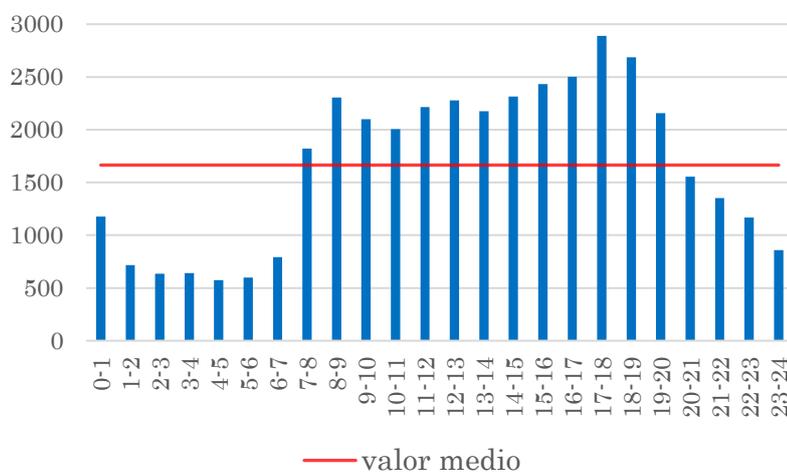
La Fig. 4.6 mostra la distribuzione giornaliera: il giorno caratterizzato dal più alto numero di incidenti è il venerdì (6.286) mentre il meno critico risulta essere la domenica (4.579);

## CAPITOLO 4: Acquisizione e trattamento dati incidentali



**Fig. 4.6** – Distribuzione giornaliera di incidenti in Torino (anni 2006-2016).

Relativamente alla distribuzione oraria, riportata in Fig. 4.7, si riscontra un picco in corrispondenza della fascia oraria 17-18, con 2.890 incidenti; le fasce orarie adiacenti alla suddetta presentano, dopo di essa, i più alti valori. Si nota un altro picco, di minor entità ma pur sempre rilevante, nella fascia 8-9. Questi valori risultano essere coerenti con quelli che sono gli orari critici relativamente alla viabilità, ossia l'entrata e l'uscita da lavoro/apertura e chiusura attività.



**Fig. 4.7** – Distribuzione oraria di incidenti in Torino (anni 2006-2016).

### 4.1.2 Utenti Vulnerabili (VRU)

Una volta selezionati gli incidenti relativi alla città di Torino, si è proceduto all'identificazione dei soli sinistri riguardanti gli utenti vulnerabili della strada. La classificazione di questi ultimi risulta suscettibile di una certa arbitrarietà, essendo presenti diverse definizioni sia in ambito nazionale che internazionale, di seguito riportate:

- la World Health Organization considera come utenze vulnerabili “pedoni, ciclisti e motociclisti”;
- nel Libro Bianco “*Toward Zero Deaths: A National Strategy on Highway Safety*”, divulgato con il patrocinio del U.S. Department of Transportation, le utenze vulnerabili sono definite come: “utenti della strada maggiormente a rischio di lesioni gravi o morte quando sono coinvolti in una collisione con un veicolo. Sono inclusi pedoni di tutte le età e tipologie, in particolare pedoni più anziani e persone con disabilità. I VRU includono anche ciclisti e motociclisti. Anche gli automobilisti più anziani possono essere considerati ricadenti in questo gruppo di utenti.”;
- la Direttiva 2010/40/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio definisce utenti vulnerabili quelli “non motorizzati, quali pedoni e ciclisti, nonché motociclisti e persone con disabilità o con capacità di orientamento o mobilità ridotte.”;
- il Comitato Tecnico 3.2 della World Road Association indica come utenti "vulnerabili" quelli che “che corrono un rischio elevato a causa della loro insufficiente protezione fisica o dell'elevata differenza di velocità con potenziali modalità conflittuali”. Il gruppo di lavoro considera all'interno di questa categoria di utenza “pedoni, ciclisti, utenti di veicoli a motore a due ruote, nonché occupanti di veicoli agricoli leggeri o veicoli trainati da animali”;
- l'art.3, comma 53 bis del Nuovo Codice della Strada definisce utenti deboli della strada “pedoni, disabili in carrozzella, ciclisti e tutti coloro i quali meritino una tutela particolare dai pericoli derivanti dalla circolazione sulle strade.”;

## CAPITOLO 4: Acquisizione e trattamento dati incidentali

- nell'Analisi sull'Incidentalità degli Utenti Deboli della strada elaborata da ACI (2013) si considerano i pedoni, gli utenti di velocipedi, di ciclomotori e di motocicli;
- nella relazione su “Incidentalità Stradale – Utenti Vulnerabili” redatta dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti si fa riferimento a “pedoni, utenti su velocipede, utenti su ciclomotore, utenti su motociclo a solo, utenti su motociclo con passeggero, quadricicli esclusi”.

Da queste definizioni è evidente che le categorie di utenza sempre contemplate come vulnerabili sono i pedoni, gli utenti di velocipedi, di ciclomotori e di motocicli. In un primo momento, comunque, si è deciso di prendere in considerazione i record relativi a tutte le categorie presenti nelle diverse definizioni, compresi quindi anche i quadricicli, i trattori agricoli e i veicoli a trazione animale o a braccia. Questo processo di filtraggio ha portato all'individuazione di 16921 incidenti con il coinvolgimento di almeno un utente debole. Per ogni categoria selezionata sono stati conteggiati gli incidenti nei quali si è riscontrata la presenza di almeno un veicolo/utente delle stesse; i risultati sono riportati nella Tab. 4.2.

**Tab. 4.2** – Numero di incidenti con almeno un utente della rispettiva categoria coinvolto e rispettive percentuali rispetto al totale (dati ISTAT, anni 2006-2016).

<b>Categoria Utente</b>	<b>Numero Incidenti</b>	<b>%</b>
pedoni	6.587	37,51
velocipedi	2.349	13,38
ciclomotori	1.515	8,63
motocicli	7.041	40,10
quadricicli	51	0,29
trattori agricoli	3	0,02
veicolo a trazione animale/a braccia	13	0,07

Si nota come le categorie quadricicli, trattori agricoli e veicoli a trazione animale/a braccia siano quantitativamente poco rilevanti (0,38%); alla luce di

## CAPITOLO 4: Acquisizione e trattamento dati incidentali

ciò e in considerazione del fatto che le relazioni ACI e del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti precedentemente citate non contemplano nella loro analisi queste categorie, si è optato per un filtraggio che riguarda i soli pedoni, velocipedi, ciclomotori e motocicli. Tale processo è stato eseguito facendo riferimento ai campi:

- “*natura\_i*”, relativo alla natura dell’incidente: sono stati selezionati tutti i record con valore 5 in questo campo (5 = Investimento di pedone);
- “*tipo\_vA*”, “*tipo\_vB*” e “*tipo\_vC*”, relativi alla tipologia di veicoli coinvolti: sono stati selezionati tutti i record nei quali si riscontra almeno un veicolo “vulnerabile” in questi tre campi, ossia un valore compreso tra 14 e 17 (14 = Velocipede, 15 = Ciclomotore, 16 = Motociclo a solo, 17=Motociclo con passeggero);
- “*pm1\_sex*”, “*pm1\_eta*”, “*pf1\_sex*”, “*pf1\_eta*”, “*pm2\_sex*”, “*pm2\_eta*”, “*pf2\_sex*”, “*pf2\_eta*”, “*pm3\_sex*”, “*pm3\_eta*”, “*pf3\_sex*”, “*pf3\_eta*”, “*pm4\_sex*”, “*pm4\_eta*”, “*pf4\_sex*” e “*pf4\_eta*”, riferiti agli eventuali pedoni coinvolti nell’incidente: sono stati selezionati tutti i record nei quali si è riscontrata la presenza di almeno un pedone ferito/morto.

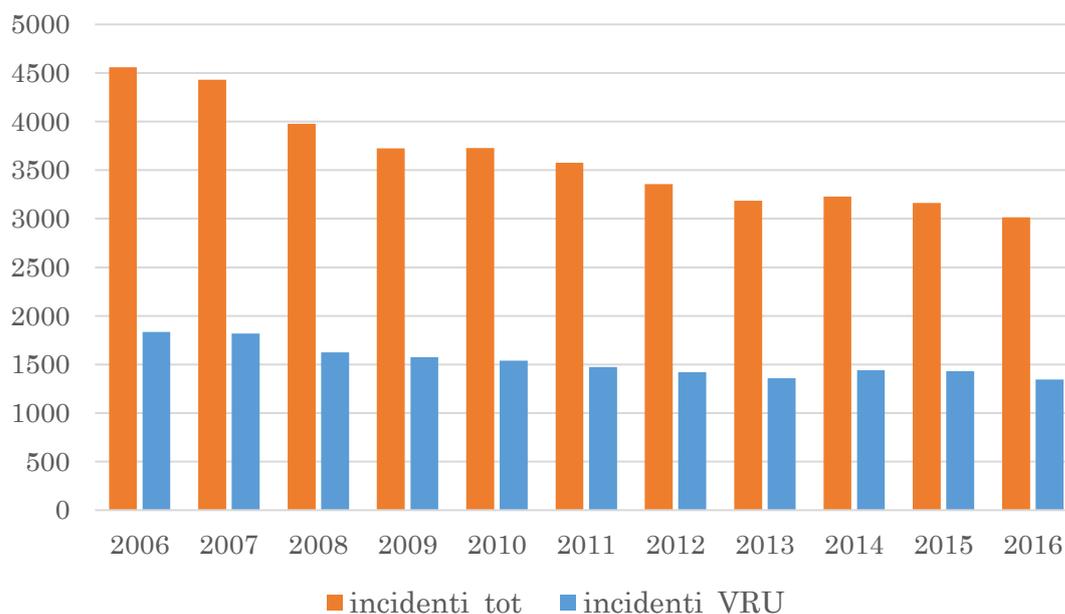
Le informazioni relative a questi ultimi campi non coincidono con quelle corrispondenti alla natura dell’incidente, cioè si è in presenza di pedoni feriti/morti anche in sinistri non classificati come “investimento di pedone”. Questa apparente incongruenza è dovuta al fatto che nel database ISTAT viene considerato come “investimento di pedone” l’incidente nel quale è coinvolto un solo veicolo; quindi un evento incidentale caratterizzato dalla presenza di più veicoli, con coinvolgimento di pedone, non è contemplato come “investimento di pedone”.

I record riportanti almeno una delle caratteristiche sopra elencate sono stati identificati nel database come “*VRU*”.

Filtrando trasversalmente queste informazioni si ottiene un database costituito da 16.854 record (circa il 42,2% degli incidenti totali nella città di Torino); la ripartizione degli incidenti negli undici anni è riportata in Tab. 4.3 mentre l’andamento degli stessi è mostrata in Fig. 4.8.

**Tab. 4.3** – Incidenti totali, incidenti che coinvolgono almeno un utente vulnerabile e percentuale di quest’ultimi rispetto al totale.

anno	incidenti_tot	incidenti_VRU	%VRU
2006	4.560	1.835	40,24
2007	4.432	1.817	41,00
2008	3.979	1.624	40,81
2009	3.723	1.575	42,30
2010	3.729	1.539	41,27
2011	3.575	1.473	41,20
2012	3.358	1.421	42,32
2013	3.186	1.358	42,62
2014	3.228	1.439	44,58
2015	3.163	1.429	45,18
2016	3.013	1.344	44,61



**Fig. 4.8** – Incidenti totali e incidenti che coinvolgono almeno un utente vulnerabile (anni 2006-2016).

Si nota come alla diminuzione dell’incidentalità totale non corrisponda una stessa diminuzione di quella riguardante le utenze vulnerabili; infatti i dati evidenziano un lieve incremento della percentuale di incidenti che coinvolgono almeno un utente debole rispetto ai sinistri totali (dal 40,24% del 2006 a circa il 45% del 2016).

## CAPITOLO 4: Acquisizione e trattamento dati incidentali

In Tab. 4.4 sono riportati il numero di feriti e di morti di utenti vulnerabili e di utenti totali.

**Tab. 4.4** – Feriti e morti relativi agli utenti vulnerabili e all'utenza totale.

<b>anno</b>	<b>feriti_VRU</b>	<b>morti_VRU</b>	<b>VRU</b>	<b>feriti_tot</b>	<b>morti_tot</b>	<b>tot</b>
2006	1.824	32	<b>1.856</b>	6.996	49	<b>7.045</b>
2007	1.833	29	<b>1.862</b>	6.697	47	<b>6.744</b>
2008	1.646	13	<b>1.659</b>	6.065	39	<b>6.104</b>
2009	1.599	31	<b>1.630</b>	5.700	43	<b>5.743</b>
2010	1.542	21	<b>1.563</b>	5.666	29	<b>5.695</b>
2011	1.501	21	<b>1.522</b>	5.483	29	<b>5.512</b>
2012	1.421	19	<b>1.440</b>	5.009	26	<b>5.035</b>
2013	1.386	27	<b>1.413</b>	4.902	43	<b>4.945</b>
2014	1.459	16	<b>1.475</b>	4.761	22	<b>4.783</b>
2015	1.451	19	<b>1.470</b>	4.765	33	<b>4.798</b>
2016	1.359	19	<b>1.378</b>	4.493	28	<b>4.521</b>
<b>TOTALE</b>	<b>17.021</b>	<b>247</b>	<b>17.268</b>	<b>60.537</b>	<b>388</b>	<b>60.925</b>

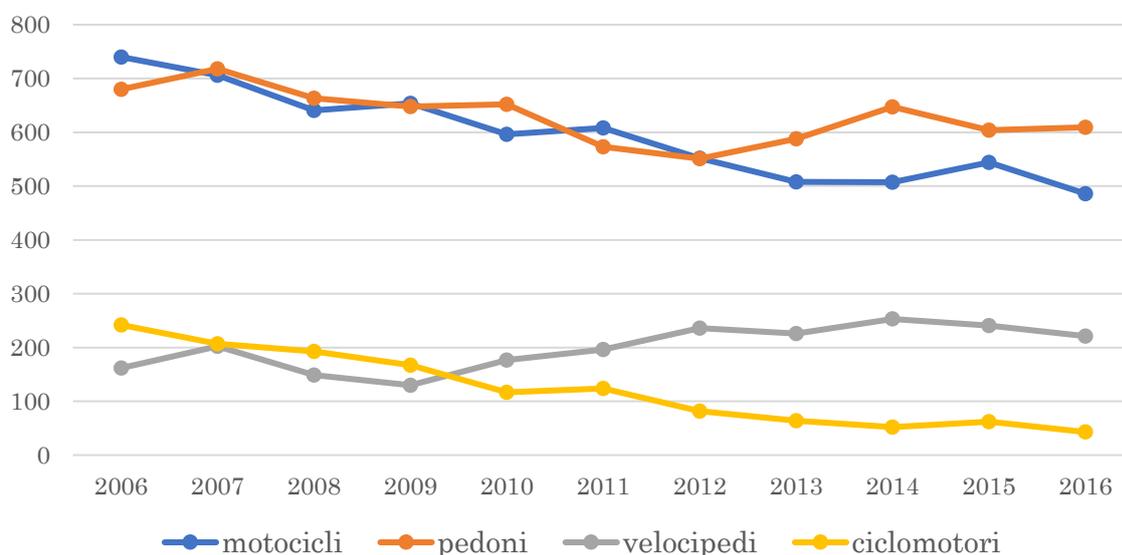
Non sempre l'utente debole coinvolto in un incidente riporta conseguenze; nonostante ciò l'evento deve essere considerato in quanto l'obiettivo è di comprendere dove siano avvenute interazioni tra utenti deboli e altri veicoli, cogliendo così l'evento conflittuale indipendentemente dalle conseguenze. Si tratta comunque di casi sporadici; incrociando le informazioni dei campi relativi agli esiti degli incidenti, sono stati ottenuti 16.669 eventi che coinvolgono utenti vulnerabili nei quali gli stessi hanno riportato conseguenze. Negli 11 anni presi in esame si sono verificati solo 185 incidenti nei quali l'utente vulnerabile coinvolto è risultato illeso (solo l'1,1% del totale degli incidenti riguardanti almeno un utente debole). Tale dato giustifica la particolare attenzione volta a questa specifica categoria di utenti della strada, alla quale corrispondono livelli di severità incidentale molto alti; infatti nel caso di interazione tra un generico veicolo ed un utente vulnerabile, quest'ultimo riporta conseguenze nella quasi totalità dei casi (circa 99%).

4.1.2.1 Analisi dati VRU

Il database così ottenuto è stato analizzato al fine di determinare il numero di feriti e morti, anno per anno, per ogni categoria di utente debole; i risultati ottenuti sono riportati nelle Tab. 4.5 e 4.6 e nelle Fig. 4.9 e 4.10.

**Tab. 4.5** – feriti per categoria di utenza vulnerabile (anni 2006-2016).

anno	pedoni	velocipedi	Ciclomotori	motocicli
2006	680	162	242	740
2007	718	202	207	706
2008	663	149	193	641
2009	648	130	167	654
2010	652	177	117	596
2011	573	196	124	608
2012	551	236	82	552
2013	588	226	64	508
2014	647	253	52	507
2015	604	241	62	544
2016	609	221	43	486
<b>TOTALE</b>	<b>6.933</b>	<b>2.193</b>	<b>1.353</b>	<b>6.542</b>

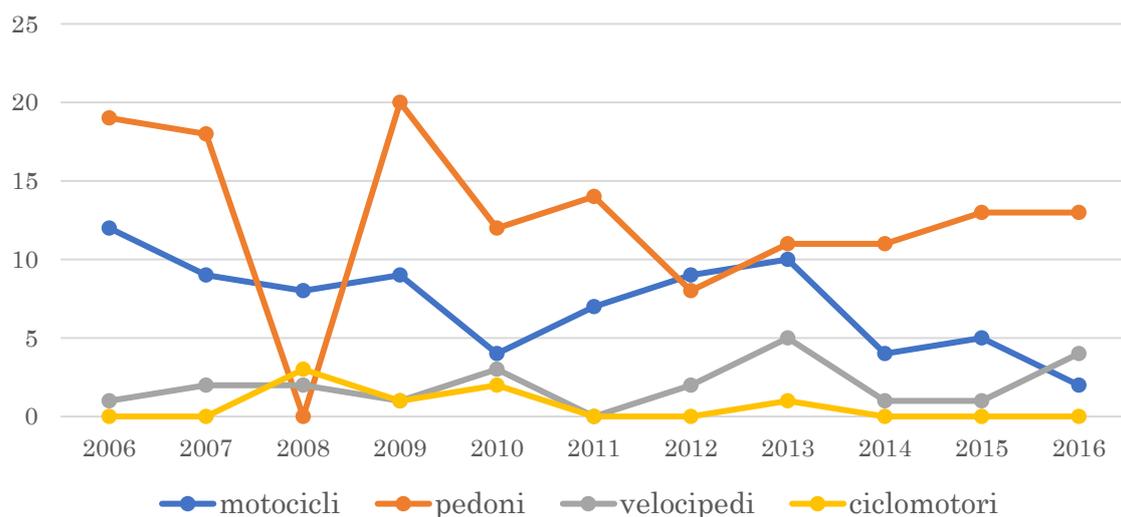


**Fig. 4.9** – Andamento negli anni del numero di feriti delle diverse categorie di utenze vulnerabili nella città di Torino.

## CAPITOLO 4: Acquisizione e trattamento dati incidentali

**Tab. 4.6** – Morti per categoria di utenza vulnerabile (anni 2006-2016).

anno	pedoni	velocipedi	ciclomotori	motocicli
2006	19	1	0	<u>12</u>
2007	18	2	0	9
2008	0	2	<u>3</u>	8
2009	<u>20</u>	1	1	9
2010	12	3	2	4
2011	14	0	0	7
2012	8	2	0	9
2013	11	<u>5</u>	1	10
2014	11	1	0	4
2015	13	1	0	5
2016	13	4	0	2
<b>TOTALE</b>	<b>139</b>	<b>22</b>	<b>7</b>	<b>79</b>



**Fig. 4.10** – Andamento negli anni del numero di morti delle diverse categorie di utenze vulnerabili nella città di Torino.

I grafici evidenziano la particolare criticità dei pedoni e degli utenti di motocicli all'interno della categoria delle utenze vulnerabili.

Da un'analisi quantitativa sugli incidenti riguardanti solo le utenze vulnerabili, risulta che gli incidenti tra due VRU sono 217 (1,29% del totale degli incidenti VRU), tra tre VRU solo 1 (0,006%) mentre gli investimenti di pedone da parte di un utente debole sono 460 (2,73%). Quest'ultimi si sono verificati per un 66,5% a causa di motocicli (306), per un 17% da parte di ciclomotori (78) e per un 16,5% da parte di velocipedi (76).

### 4.1.2.2 Validazione del database

Un'analisi dettagliata delle informazioni contenute nei diversi campi relativi ai record selezionati ha portato all'individuazione di alcune incongruenze, qui di seguito elencate:

- 93 record riportano informazioni nel campo “*X\_pesit1*” (con X=A, B o C), nonostante sia relativo all'esito del passeggero infortunato sul sedile anteriore nel caso di soli autoveicoli; nello specifico questa incongruenza è stata riscontrata in:
  - 7 velocipedi;
  - 18 ciclomotori;
  - 68 motocicli.

L'informazione relativa all'eventuale secondo passeggero del veicolo dovrebbe essere contenuta nel campo “*X\_pesit2*”;

- in 20 casi relativi ai “motocicli a solo” sono presenti informazioni sul secondo passeggero, nonostante la teorica presenza del solo conducente del mezzo.

Non essendo possibile risalire alla causa dell'incoerenza del dato, non si è proceduto ad alcuna modifica; trattandosi comunque di pochi dati rispetto al totale degli incidenti di interesse (0,67%), si è deciso di mantenerli all'interno del database, provvedendo alla loro sola segnalazione.

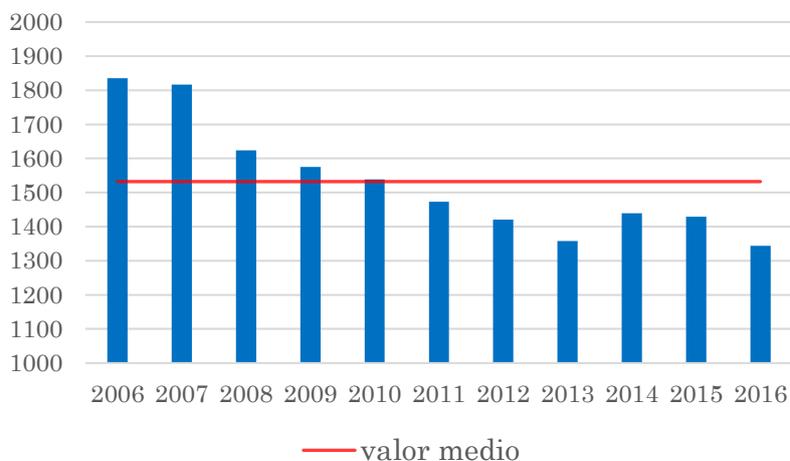
### 4.1.2.3 Distribuzione temporale

Analogamente a quanto fatto nel caso di tutti gli incidenti verificatisi nella città di Torino, è stata condotta un'analisi statistica temporale anche sui soli record riguardanti gli utenti vulnerabili. Sono state analizzate, oltre a quelle annuali, le distribuzioni mensili, giornaliere e orarie; queste ultime tre sono state condotte considerando l'intera finestra temporale oggetto del presente studio.

Per quanto riguarda la distribuzione annuale (Fig. 4.11), analogamente al caso di tutti gli incidenti, si riscontra un trend decrescente nel corso degli anni, con

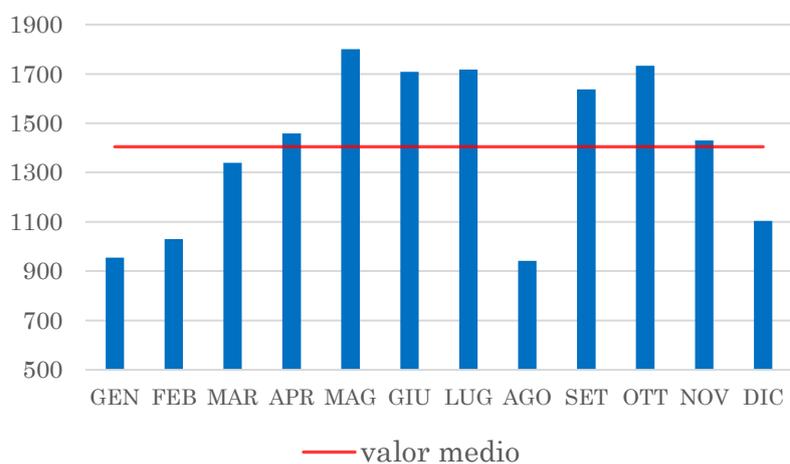
## CAPITOLO 4: Acquisizione e trattamento dati incidentali

una riduzione dell'incidentalità relativa agli utenti vulnerabili dall'anno 2006 all'anno 2016 di circa il 26,8% (da 1.835 a 1.344 incidenti).



**Fig. 4.11** – Distribuzione annuale di incidenti “VRU” in Torino (anni 2006-2016).

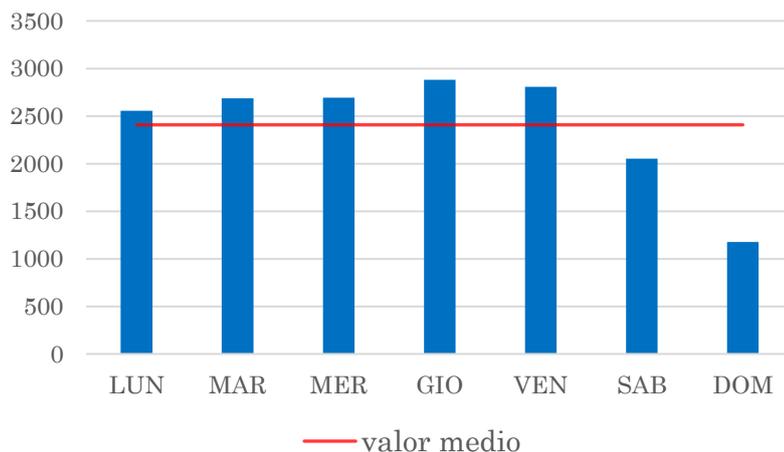
La distribuzione mensile è riportata in Fig. 4.12: i mesi più critici risultano essere maggio e ottobre, con rispettivamente 1.800 e 1.733 incidenti; il mese con meno incidenti è agosto, con 942 rilevamenti. Questo andamento è compatibile con un presumibile aumento dell'utenza pedonale e ciclistica, nonché motociclistica nei mesi primaverili ed autunnali.



**Fig. 4.12** – Distribuzione mensile di incidenti “VRU” in Torino (anni 2006-2016).

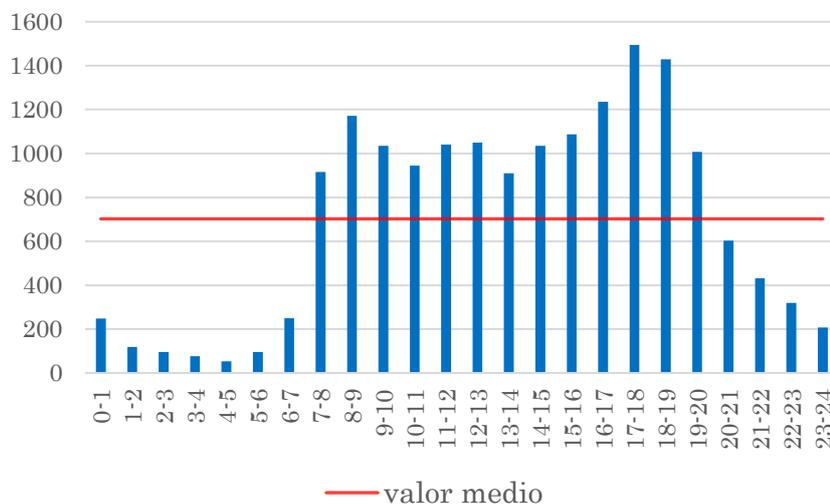
Nello studio della distribuzione giornaliera, riportata in Fig. 4.13, risulta che il giorno caratterizzato dal più alto numero di incidenti è il giovedì (2.880) mentre il meno critico risulta essere la domenica (1.178).

## CAPITOLO 4: Acquisizione e trattamento dati incidentali



**Fig. 4.13** – Distribuzione giornaliera di incidenti “VRU” in Torino (anni 2006-2016).

Nella distribuzione oraria, riportata in Fig. 4.14, si riscontra un picco in corrispondenza della fascia oraria 17-18, con 1.494 incidenti; le fasce orarie adiacenti alla suddetta presentano, dopo di essa, i più alti valori. Si nota un altro picco, di minor entità ma pur sempre rilevante, nella fascia 8-9. Questi valori risultano essere coerenti con quelli che sono gli orari critici relativamente alla viabilità, ossia l’entrata e l’uscita da lavoro/apertura e chiusura attività.

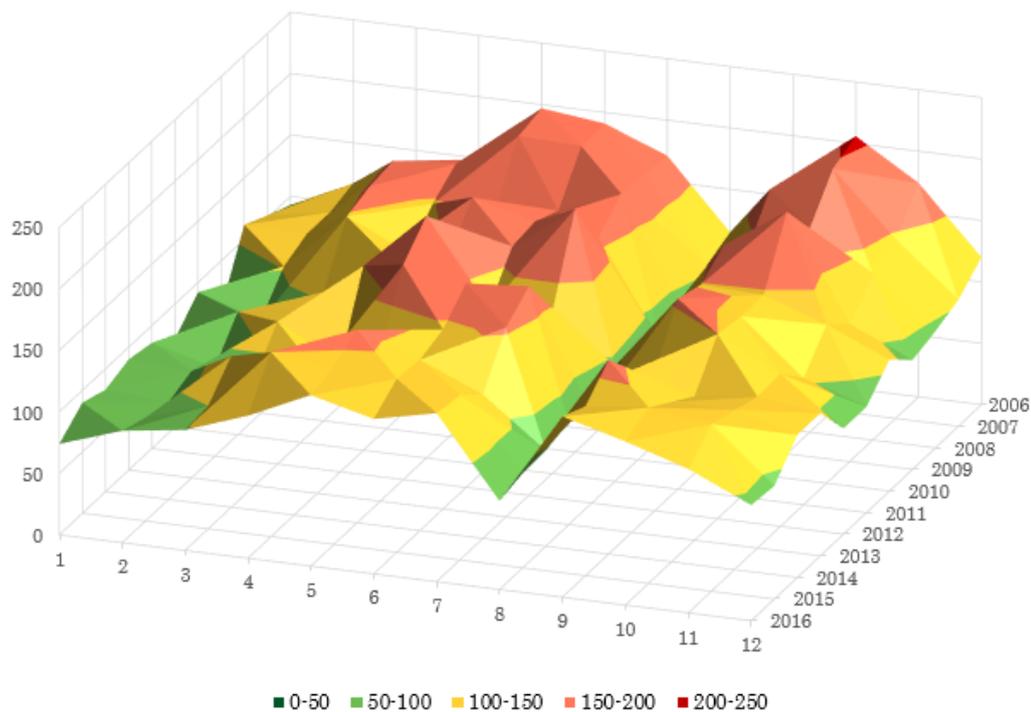


**Fig. 4.14** – Distribuzione oraria di incidenti “VRU” in Torino (anni 2006-2016).

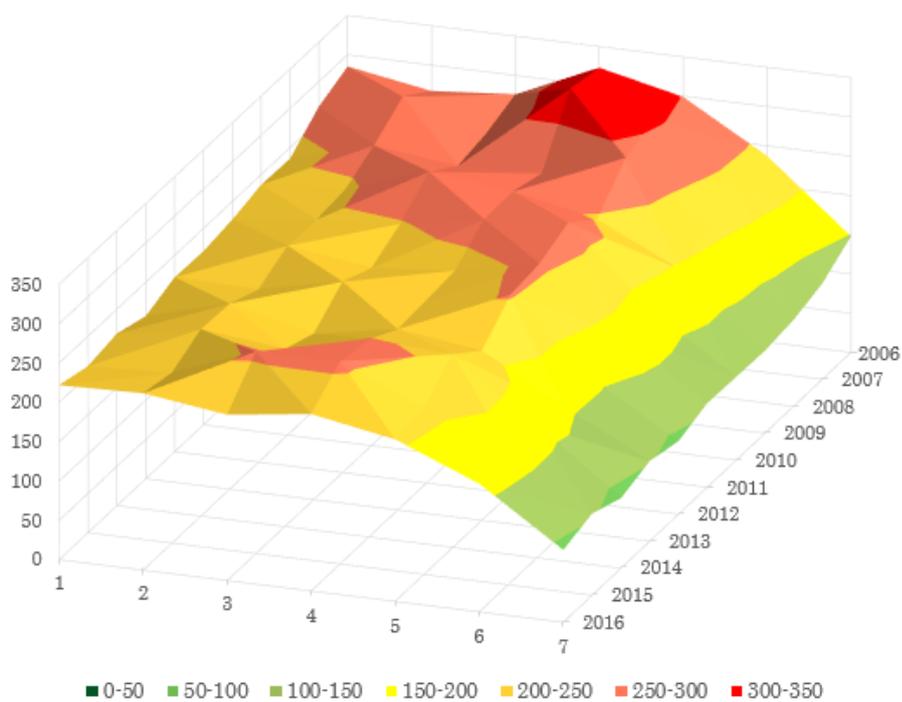
Relativamente a questi dati, si è deciso di condurre un secondo livello di analisi andando a valutare l’evoluzione dei trend mensili, giornalieri ed orari nel corso degli anni; i risultati, mostrati nelle Fig. 4.15, 4.16 e 4.17, mettono in evidenza come qualitativamente i picchi si mantengano gli stessi nel corso degli undici

## CAPITOLO 4: Acquisizione e trattamento dati incidentali

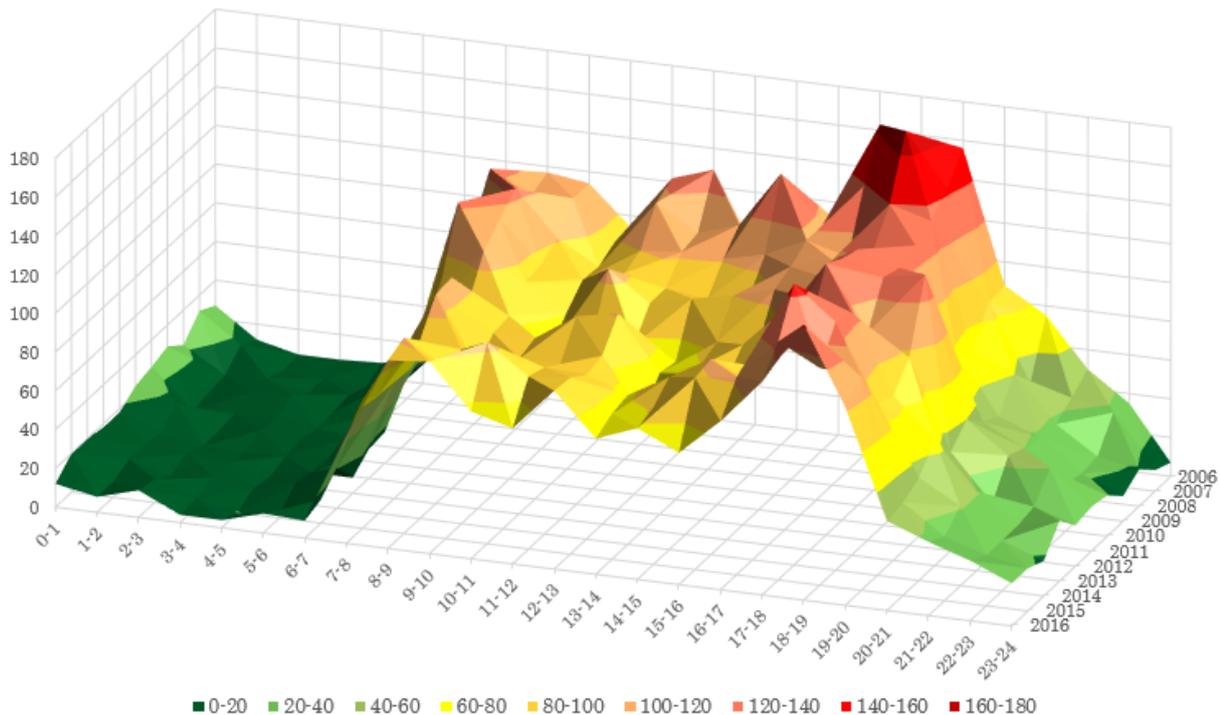
anni analizzati, ma con una significativa riduzione dell'incidentalità già precedentemente evidenziata (Fig. 4.3).



**Fig. 4.15** – Distribuzione mensile di incidenti “VRU” in Torino nel corso degli anni (2006-2016).



**Fig. 4.16** – Distribuzione giornaliera di incidenti “VRU” in Torino nel corso degli anni (2006-2016).



**Fig. 4.17** – Distribuzione oraria di incidenti “VRU” in Torino nel corso degli anni (2006-2016).

## 4.2 Geolocalizzazione

Il database ottenuto, costituito da 16.854 incidenti nei quali si ha almeno un utente vulnerabile, riporta le informazioni sulle coordinate dell’evento incidentale solo dal 2011 (compreso); per quanto riguarda i record degli anni precedenti, la banca dati incidentale fornisce l’indirizzo comprensivo di numero civico o i due indirizzi nel caso di evento accaduto in un’intersezione, ma non le coordinate. Ciò comporta la necessità di adottare una metodologia robusta di geolocalizzazione, poiché una corretta analisi spaziale necessita di una altrettanto corretta localizzazione degli eventi. Si è fatto quindi ricorso all’utility online *GPS Visualizer's Address Locator* che consente, in modo rapido, di convertire gli indirizzi in coordinate geografiche; ciò viene fatto attraverso un codice *JavaScript-On-Demand* (JSON) eseguito dal browser Web, in grado di sfruttare le API (*Application Programming Interface*) fornite da diversi siti di mappatura (Google Maps, Bing Maps ecc.).

L’interfaccia dell’applicativo è mostrata in Fig. 4.18.



**Fig. 4.18** – Interfaccia grafica GPS Visualizer's Address Locator (<http://www.gpsvisualizer.com/geocoder>)

La procedura di inserimento degli input, descritta nel dettaglio in appendice, non risulta però di immediata esecuzione a causa di una serie di difficoltà.

Per prima cosa sono stati valutati, tra i record dal 2006 al 2010, quanti non riportassero l'informazione riguardante il civico o la seconda via (ossia quanti record presentassero un indirizzo incompleto); da questa analisi è risultato che 605 incidenti non avevano un'informazione integrale nei riguardi dell'indirizzo. Un ulteriore controllo ha portato all'individuazione di 170 record che riportavano o una ripetizione nei due indirizzi presenti (es. "GUGLIELMO MARCONI (CORSO), GUGLIELMO MARCONI (CORSO)") o un'incongruenza, ossia due vie tra loro non intersecanti (es. "TRAPANI (CORSO), LIONE (CORSO)"); la non possibilità di risalire alla reale posizione degli eventi incidentali relativi a questi 775 record ha portato alla loro eliminazione. Si è passati quindi da 16.854 incidenti (individuati nello step descritto nel par. 4.1.2) a 16.079 (riduzione del 4,6% dei dati).

## CAPITOLO 4: Acquisizione e trattamento dati incidentali

Questi 16.079 record sono così ripartiti:

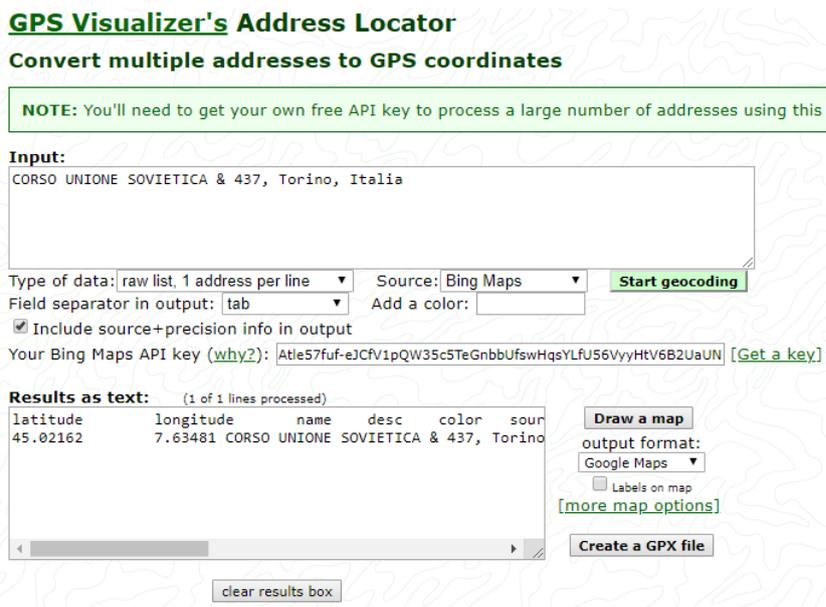
- 7.756 dal 2006 al 2010;
- 8.323 dal 2011 al 2016.

Nonostante i secondi presentassero già le coordinate (in diversi sistemi e/o datum), si è optato per una geolocalizzazione tramite *GPS Visualizer's Address Locator* per l'intero database; è così possibile effettuare un confronto tra le coordinate già presenti nel database ISTAT e quelle fornite dall'utility online in modo da poter valutare l'efficacia di tale strumento e la precisione delle coordinate da esso determinate (vedi par. 4.2.1).

Un'altra difficoltà è relativa alla struttura stessa del dato; infatti non è stato possibile inserire come input in *GPS Visualizer's Address Locator* gli indirizzi così come presenti nel database ma sono state necessarie una serie di operazioni di modifica. Infatti la formulazione riconosciuta dall'applicativo online è del tipo “nome strada 1 & civico/nome strada 2, città, nazione” (es. “CORSO PRINCIPE ODDONE & 44, Torino, Italia”), con la e commerciale interposta tra la prima via e il civico o la seconda via. Nel database ISTAT, invece, l'indirizzo è fornito nella forma “nome strada 1 (via/corso/piazza/strada/largo), civico/nome strada 2 (via/corso/piazza/strada/largo)” (es. “UNIONE SOVIETICA (CORSO), 437”). Le modifiche apportate nei dati di input sono riportate in appendice.

Ottenute le stringhe di testo nel corretto formato, si è proceduto al loro inserimento nella casella input di *GPS Visualizer's Address Locator*; i dati ottenuti sono stati copiati e salvati in formato file di testo (estensione .csv in Excel).

Le Fig. 4.19 e 4.20 mostrano un esempio di utilizzo dell'applicativo online *GPS Visualizer's Address Locator* e il rispettivo output in Excel.



**Fig. 4.19** – Esempio di utilizzo di *GPS Visualizer's Address Locator* (<http://www.gpsvisualizer.com/geocoder>).

	1	2	3	4
1	latitude	longitude	name	desc
2	45.02162	7.63481	CORSO UNIONE SOVIETICA & 437, Torino, Italia	Corso Unione Sovietica, 437, 10135 Turin TO, Italy

**Fig. 4.20** – Esempio di output di *GPS Visualizer's Address Locator* riportato nel formato file di testo.

Un'ulteriore difficoltà è stata riscontrata nella validazione di questi risultati; infatti diverse coordinate risultano essere relative a comuni limitrofi o ad altre località d'Italia e del mondo, nonostante i dati di partenza siano concernenti la sola città di Torino, oppure non corrispondono all'effettiva localizzazione dell'evento incidentale. Questi errori possono essere dovuti a casi di omonimia o di somiglianza della/e via/e non riconosciuti dall'utility. L'individuazione di queste inesattezze ha previsto uno studio dettagliato del campo "desc" dell'output (vedi Fig. 4.20); questo riporta l'indirizzo del quale sono state determinate le coordinate, nel formato "indirizzo, civico/secondo indirizzo, CAP città provincia, nazione". La procedura è stata scomposta in due fasi:

- in una prima fase sono stati individuati gli "errori grossolani", ossia tutte quelle coppie di coordinate relative a punti ricadenti al di fuori della città di Torino (es. "VIA ROSSI & 51, Torino, Italia" calcolato come "Via Pellegrino Rossi, 51, 96018 Pachino SR, Italy"). Ciò è stato possibile

andando a filtrare nella colonna relativa alla descrizione dell'output ("desc") "Turin, TO"; i record rimanenti sono quelli i cui indirizzi non sono stati riconosciuti da *GPS Visualizer's Address Locator* e collocati appunto in località diverse da Torino. Questi "errori grossolani" risultano essere 743, circa il 4,6% del totale;

- si è poi cercato di individuare tutti gli indirizzi dei quali non fosse stato riconosciuto il civico o il nome della seconda strada; si è eseguito un filtraggio della colonna "desc" andando a selezionare quanti più indirizzi possibili che non presentavano questa seconda informazione (es. "CORSO PALERMO & 88, Torino, Italia" calcolato come "Corso Palermo, 10152 Turin TO, Italy"). Questa seconda ricerca ha portato all'individuazione di 889 errori (circa il 5,5% del totale).

I 1.632 record riportanti gli errori sopra descritti (circa il 10,1% dei dati totali) sono stati modificati manualmente. Questa operazione, seppur dispendiosa dal punto di vista del tempo impiegato, si è rivelata essere indispensabile in quanto una non correzione degli errori avrebbe comportato una distorsione dei risultati, mentre la loro rimozione avrebbe portato alla perdita di una cospicua percentuale di dati.

### 4.2.1 Valutazione output *GPS Visualizer's Address Locator*

Come già detto, la procedura appena descritta è stata eseguita per l'intero database, compresi i record dall'anno 2011 in poi, nonostante quest'ultimi riportassero già le coordinate. Si è deciso di operare così al fine di poter condurre una valutazione sull'efficacia dello strumento *GPS Visualizer's Address Locator* (dopo i controlli e le modifiche sopra descritte). Ci si aspetta una differenza in termini di distanza tra i punti effettivi e quelli valutati dall'utility online per una serie di fattori:

## CAPITOLO 4: Acquisizione e trattamento dati incidentali

- l'incidente è associato al civico più vicino ma questo civico potrebbe essere a ridosso dell'effettivo punto nel quale si è verificato l'incidente o a decine di metri; questa differenza può quindi dipendere dal luogo della città: nella zona centrale i civici dovrebbero essere più prossimi alla strada rispetto a quelli delle zone periferiche;
- si ha un piccolo errore introdotto dal programma *ConveRgo*, utilizzato per eseguire trasformazioni di coordinate fra i vari sistemi di riferimento in cui sono espressi i dati geografici dal 2011 al 2016 (conversione in coordinate geografiche WGS84); in assenza di grigliati IGM il programma è in grado di eseguire comunque le trasformazioni, utilizzando però un modello di calcolo approssimato che fornisce precisioni stimabili come sub-metriche per la componente planimetrica;
- potenziale errore grossolano da parte dell'operatore nel trascrivere l'informazione letta nello strumento.

Alla luce di queste considerazioni si può ritenere accettabile una differenza dell'ordine dei 50/60 m.

Per eseguire il confronto, si è proceduto alla trasformazione di tutte le coordinate (sia quelle del database ISTAT sia quelle determinate da *GPS Visualizer's Address Locator*) in UTM-WGS84 (geometriche), con l'ausilio del programma *ConveRgo*; una volta uniformate, è stata calcolata la distanza tra il punto fornito dal database ISTAT (DB) e quello dell'utility (GPSV):

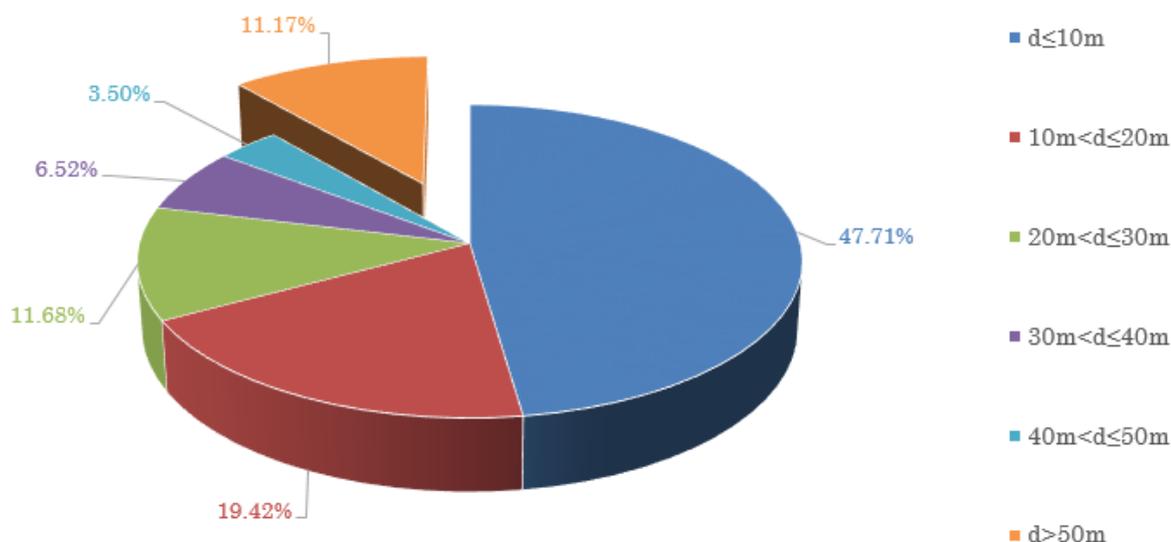
$$d = \sqrt{(X_{DB} - X_{GPSV})^2 + (Y_{DB} - Y_{GPSV})^2} \quad (4.1)$$

Sono stati considerati diversi intervalli di distanza, e per ognuno sono state determinate le frequenze assolute e relative; i risultati sono riportati nella Tab. 4.7.

CAPITOLO 4: Acquisizione e trattamento dati incidentali

**Tab. 4.7** – Distribuzione differenze tra database ISTAT e *GPS Visualizer's Address Locator*.

<b>Intervalli</b>	<b>Occorrenze</b>	<b>%</b>	<b>% cumulata</b>	<b>% complemento</b>
d≤10 m	3.971	47,71	47,71	52,29
10 m<d≤20 m	1.616	19,42	67,13	32,87
20 m<d≤30 m	972	11,68	78,81	21,19
30 m<d≤40 m	543	6,52	85,33	14,67
40 m<d≤50 m	291	3,50	88,83	11,17
50 m<d≤60 m	198	2,38	91,21	8,79
60 m<d≤70 m	132	1,59	92,79	7,21
70 m<d≤80 m	106	1,27	94,06	5,94
80 m<d≤90 m	70	0,84	94,91	5,09
90 m<d≤100 m	35	0,42	95,33	4,67
100 m<d≤150 m	160	1,92	97,25	2,75
150 m<d≤200 m	60	0,72	97,97	2,03
200 m<d≤300 m	52	0,62	98,59	1,41
300 m<d≤400 m	13	0,16	98,75	1,25
400 m<d≤500 m	15	0,18	98,93	1,07
500 m<d≤750 m	21	0,25	99,18	0,82
750 m<d≤1000 m	13	0,16	99,34	0,66
1000 m<d≤1500 m	18	0,22	99,56	0,44
1500 m<d≤2000 m	5	0,06	99,62	0,38
2000 m<d≤3000 m	9	0,11	99,72	0,28
3000 m<d≤5000 m	15	0,18	99,90	0,10
5000 m<d	8	0,10	100,00	
<b>8.323</b>				



**Fig. 4.21** – Ripartizione delle distanze al di sotto dei 50 m e percentuale di distanze maggiori di 50 m.

Come si evince dalla Tab. 4.7 e dal grafico di Fig. 4.21, si ha che circa il 90% delle distanze si mantiene al di sotto dei 50/60 m mentre la percentuale di differenze che superano i 100 m è dell'ordine del 5%. Si può notare come siano presenti differenze molto significative, seppur in piccola percentuale; ciò è dovuto al fatto che *GPS Visualizer's Address Locator* ha calcolato le coordinate di un indirizzo con un nome simile a quello effettivo (es. "VIA CALUSO VALPERGA 19, Torino, Italia" valutato come "Via Caluso, 19, 10148 Turin TO, Italy", con una differenza in termini di distanza di 5.944,06 m). Con la procedura di controllo e modifica degli errori descritta nel paragrafo precedente non è possibile individuare questa tipologia di inesattezze, in quanto nella descrizione dell'output (campo preso in riferimento per l'analisi) non risultano esserci né errori "grossolani" (l'indirizzo risulta essere nella città di Torino) né mancanze (è presente il civico).

Si può concludere dicendo che l'operazione di correzione cui vengono sottoposti gli output di *GPS Visualizer's Address Locator* porta ad un'accuratezza tale da giustificare l'uso di questi dati per gli anni dal 2006 al 2010, per i quali non si hanno le coordinate. Relativamente agli anni dal 2011 al 2016, invece, si è deciso

di adottare le coordinate già presenti nel database ISTAT, reputate di maggiore affidabilità.

### 4.3 Database finale

Tutte le operazioni descritte nei paragrafi precedenti hanno portato alla stesura di un database incidentale contenete 16.079 record relativi agli 11 anni 2006-2016, alla sola città di Torino e con almeno un utente vulnerabile coinvolto; tutti questi eventi incidentali presentano le coordinate geografiche (latitudine, longitudine) WGS84. I dati sono stati aggregati facendo riferimento a due diversi metodi di geolocalizzazione: uno basato sul civico più vicino (nel caso di incidente verificatosi lungo un arco) e l'altro sulle coordinate fornite dall'ISTAT; il metodo relativo al civico può essere affetto da un errore legato al fatto che il punto calcolato non coincide con quello nel quale effettivamente è avvenuto l'evento incidentale. Questa distanza risulta comunque essere contenuta (vedi paragrafo 4.2.1).

Questa banca dati è la base per la successiva collocazione e visualizzazione di tutti gli eventi incidentali in un sistema GIS (Geographic Information System).

Il suddetto database è stato denominato “*DB 2006\_2016\_VRU (TO) revised*”.

## 4.4 Conclusioni

Nel presente capitolo sono state descritte nel dettaglio tutte le operazioni che hanno portato all'elaborazione del database incidentale finale, partendo dal database regionale fornito dall'Istituto nazionale di statistica (ISTAT) relativo agli anni 2006-2016. Questa procedura può essere così riassunta:

1. database regionale, costituito da 140.160 record;
2. filtraggio dei soli incidenti provinciali, pari a 72.477;
3. filtraggio dei soli incidenti comunali, pari a 39.946;
4. individuazione dei soli incidenti nei quali si riscontra la presenza di almeno un utente vulnerabile, pari a 16.854;
5. selezione dei soli record geolocalizzabili, ottenendo un database finale costituito di 16.079 record.

**Tab. 4.8** – Incidenti per ogni step di filtraggio e le percentuali rispetto allo step precedente, anni 2006-2016.

<b>step</b>	<b>incidenti</b>	<b>%</b>
Regione	140.160	
Provincia	72.577	51,78
Torino	39.946	55,04
Incidenti_VRU	16.854	42,19
Record eliminati*	775	4,60**
<b>Record geolocalizzati</b>	<b>16.079</b>	<b>95,40**</b>

\*: record riportanti incongruenze nell'indirizzo (170) o non riportanti l'informazione riguardante il civico/la seconda via (605) (paragrafo 4.2).

\*\* : percentuali riferite ai 16.854 incidenti VRU.



# CAPITOLO 5

---

## *Caso studio*

Il presente capitolo riguarda l'analisi di distribuzione spaziale di incidenti che coinvolgono utenze vulnerabili, condotta per il caso studio della città di Torino. Nello specifico sono stati applicati i metodi *distance-based*, al fine di verificare la clusterizzazione dello schema spaziale di punti (*point pattern*); successivamente si è proceduto con l'applicazione della stima Kernel di densità, metodologia che permette l'individuazione dei punti critici della rete infrastrutturale. Relativamente ai parametri del suddetto modello, sono stati adottati i valori derivanti dall'analisi di sensitività, condotta nel capitolo 3. I dati analizzati sono quelli ricavati dallo studio e dall'elaborazione del database incidentale ISTAT, operazioni descritte nel capitolo 4.

Sono state condotte analisi globali per l'individuazione dei siti a maggior concentrazione di incidenti, ma anche analisi locali finalizzate alla valutazione dei fenomeni incidentali in specifiche aree della città, quale ad esempio la Zona 30 della Circoscrizione 2 (area di via Castalgomberto). Saranno illustrate nel dettaglio le considerazioni che hanno portato alla definizione del periodo di studio, prendendo in considerazione le problematiche legate alla presenza di falsi positivi e falsi negativi.

Tutte le operazioni esposte sono state eseguite con l'ausilio del software QGIS.

### 5.1 Area di studio

Le diverse analisi sviluppate nel presente capitolo riguardano la città di Torino, comune di 880.807 abitanti (statistiche demografiche ISTAT, marzo 2018).

Il reticolo infrastrutturale della zona centrale della città presenta una pianta a scacchiera; le strade si sviluppano in linea retta incrociandosi ortogonalmente, con un orientamento che segue quello del *castrum* romano: un *cardo maximus* (direzione nord-sud) ed un *decumanus maximus* (direzione est-ovest) che si

incrociano al centro del *castrum*, e le altre strade che si sviluppano parallelamente ad essi. Le zone periferiche sono invece contraddistinte da una struttura viaria concentrica, con uno sviluppo di arterie radiali convergenti nel centro città; l'eccezione è il lato orientale, dove la struttura della rete stradale è condizionata dalla presenza della collina torinese.



**Fig. 5.1** – Mappa della città di Torino (Shapefile “Carta di sintesi” contenente i livelli di cartografia derivata dalla Carta Tecnica della Città di Torino: aree verdi, fiumi, isolati e ponti).

## 5.2 Analisi di distribuzione temporale

Si è già sottolineato come di fondamentale importanza sia l'identificazione dei siti a più alta concentrazione di incidenti (*Hazardous Road Locations* – HRL); tuttavia è necessario tenere presente che gli incidenti stradali sono caratterizzati da un certo livello di casualità che dipende dal tempo e dallo spazio; infatti il numero di incidenti in uno specifico punto varia di anno in anno e, per uno specifico anno, il numero degli stessi cambia da un punto all'altro. Queste fluttuazioni determinano la presenza, in ogni tipologia di analisi, di Falsi Positivi e Falsi Negativi.

Per Falso Positivo si intende un sito sicuro che viene erroneamente identificato come pericoloso o ad alto rischio; questa inesattezza è dovuta all'incapacità del processo di identificazione di distinguere i siti effettivamente pericolosi da quelli sicuri che hanno subito un elevato incremento casuale di incidenti durante il periodo di studio. La presenza di molti falsi positivi rappresenta un serio problema quando questi diventano destinatari delle risorse finalizzate alla messa in sicurezza; tali risorse infatti potrebbero essere impiegate in aree effettivamente più incidentate.

Un Falso Negativo è un sito ad alto rischio che non viene identificato come tale; ciò si verifica a seguito delle naturali fluttuazioni casuali degli incidenti che determinano un basso numero di eventi in quell'area nel periodo di studio. La presenza di falsi negativi costituisce un problema ancora più rilevante in quanto porta a sottovalutare la pericolosità di aree con conseguenti gravi ripercussioni sulla sicurezza degli utenti.

Per meglio comprendere tali fenomeni, è stata condotta un'analisi di identificazione dei punti critici in una porzione della città di Torino, valutando singolarmente gli anni dal 2012 al 2016. Di seguito sono riportati tre evidenti esempi di falsi positivi e tre altrettanto evidenti esempi di falsi negativi.

### 5.2.1 Falsi Positivi

I tre falsi positivi individuati riguardano:

1. intersezione tra via Antonio Bertola e via San Tommaso (2012);
2. intersezione tra corso Giulio Cesare e i Lungo Dora Firenze e Napoli, nelle immediate adiacenze del ponte Mosca (2014);
3. intersezione tra via Bligny e via del Carmine (2015);

Sono state elaborate le mappe di calore (*heatmap*) dei singoli anni, dal 2012 al 2016, attribuendo loro i seguenti colori: blu (2012), grigio (2013), verde (2014), viola (2015) e rosso (2016). Le Fig. 5.2, 5.3 e 5.4 mostrano come un'analisi condotta in un singolo anno, rispettivamente 2012, 2014 e 2015, comporterebbe l'identificazione dei suddetti siti come pericolosi, condizione però non riscontrata nei restanti anni.



**Fig. 5.2** – Intersezione tra via Antonio Bertola e via San Tommaso (cerchiata in rosso); in blu la mappa di calore relativa all'anno 2012, con gli altri colori le mappe di calore dei restanti anni.



**Fig. 5.3** – Intersezione tra corso Giulio Cesare e i Lungo Dora Firenze e Napoli (cerchiata in rosso); in verde la mappa di calore relativa all'anno 2014, con gli altri colori le mappe di calore dei restanti anni.



**Fig. 5.4** – Intersezione tra via Bligny e via del Carmine (cerchiata in rosso); in viola la mappa di calore relativa all'anno 2015, con gli altri colori le mappe di calore dei restanti anni.

## 5.2.2 Falsi Negativi

I tre falsi negativi individuati riguardano:

1. intersezione tra corso Vittorio Emanuele II e corso Inghilterra (2012, 2015);
2. intersezione tra corso Vittorio Emanuele II, via Giovanni Falcone e via Paolo Borsellino (2012, 2015);
3. piazza Statuto (2012, 2015).

I tre casi analizzati sono relativi a due diversi anni, il 2012 e il 2015; si è deciso comunque di considerarli come falsi negativi in quanto la sottovalutazione della pericolosità di un sito può indurre a non attuare i necessari interventi di messa in sicurezza di aree realmente critiche.

Sono state elaborate le mappe di calore (*heatmap*) dei singoli anni, dal 2012 al 2016, attribuendo loro i seguenti colori: blu (2012), grigio (2013), verde (2014), viola (2015) e rosso (2016). La Fig. 5.5 evidenzia come un'analisi condotta negli anni 2012 e 2015 porterebbe all'esclusione dei punti considerati da interventi di miglioramento della sicurezza stradale; tali siti, però, sono caratterizzati da significative concentrazioni di eventi incidentali negli altri anni, comportando la loro connotazione di HRL.



**Fig. 5.5** – Falsi negativi individuati (cerchiati in rosso); a sinistra rappresentazione delle mappe di calore per i cinque anni analizzati; a destra mappe di calore degli anni 2012 e 2015. Ai singoli anni sono stati associati i seguenti colori: blu (2012), grigio (2013), verde (2014), viola (2015) e rosso (2016).

### 5.2.3 Suddivisione del periodo di studio

I problemi rappresentati dai falsi positivi e dai falsi negativi possono essere ridotti aggregando in modo mirato i dati di alcuni anni consecutivi del periodo di studio.

La frequenza di eventi incidentali è soggetta a grandi fluttuazioni annuali, soprattutto in punti specifici, come sottolineato negli esempi riportati precedentemente; questo fenomeno, conosciuto come “regressione verso la media” (*regression to the mean*), spiega come sia statisticamente probabile che, ad un periodo caratterizzato da un’elevata frequenza incidentale, segua un periodo con un valore basso della stessa (Highway Safety Manual). Per questo motivo è suggerita l’aggregazione dei dati incidentali considerando un periodo di studio superiore all’anno. L’analisi continua in un periodo più esteso determina infatti una riduzione delle fluttuazioni, delle quali si è detto come molto influenti siano quelle verso il basso (problema dei falsi negativi, il cui trattamento risulta essere più delicato alla luce delle più gravi conseguenze derivanti dalla loro non identificazione). Un breve periodo determina un aumento dei falsi positivi e dei falsi negativi; tuttavia anche un lungo periodo di studio è problematico in quanto potrebbero venir meno le ipotesi sulla omogeneità delle condizioni delle strade e dei fattori di rischio.

Le prime indicazioni circa la durata più opportuna da dedicare alla raccolta dei dati per l’identificazione dei siti pericolosi sono state proposte da May (1964), il quale, prendendo in esame periodi di studio da 1 a 13 anni, giunse alla conclusione che la capacità di una corretta individuazione dei siti realmente a rischio aumentava fino ai 3 anni, per poi diminuire. Deacon et al. (1975) hanno osservato come gli intervalli temporali maggiormente affidabili siano quelli relativi a 1 o 2 anni. Anche altri studi, negli anni successivi, hanno proposto periodi di 3 anni (Mueller et al. 1988; Cheng e Washington 2005); in particolare, Cheng e Washington (2005) sottolinearono come tre anni di studio degli incidenti forniscono risultati più appropriati. Più di recente, Elvik (2008) suggerì periodi di 3-5 anni come più adatti per le analisi. Da più parti, quindi, è suggerito una divisione in periodi di tre anni.

## CAPITOLO 5: Caso studio

Tuttavia, va tenuto in conto che tale periodo dipende dalle circostanze dell'area oggetto di analisi. La divisione in periodi deve considerare gli eventi di trasformazione di nodi e archi della rete, soprattutto di quelli di maggiore impatto in termini operativi su porzioni significative, al fine di mantenere per quanto possibile l'uniformità delle condizioni infrastrutturali per la durata dei singoli intervalli temporali.

È stata quindi eseguita una specifica ricerca delle principali modifiche alla rete infrastrutturale consultando la pagina "OPERE PUBBLICHE" della sezione "Infrastrutture e Mobilità" del sito del comune di Torino. Le opere più significative realizzate sono evidenziate nel documento "La cronistoria degli eventi salienti", aggiornato al 14-04-2016. La ricerca ha portato all'individuazione di quattro principali interventi, di seguito elencati:

- realizzazione e risistemazione di via Zino Zini (2006);
- attuazione dell'intervento "Zona 30 Castelgomberto" (fine 2008/inizio 2009);
- realizzazione del sottopasso Mortara (fine 2007/inizio 2012);
- realizzazione del "Viale della Spina" (2015/2016).

Relativamente a via Zino Zini, si è deciso di escluderla dalle valutazioni dei periodi di studio, trattandosi di un intervento realizzato all'inizio degli undici anni considerati e quindi non influente nei riguardi di una potenziale modifica dei flussi nel periodo di studio.

La zona 30 della circoscrizione 2, di influenza fortemente localizzata, sarà analizzata nel Paragrafo 5.6.

Per la suddivisione degli undici anni (2006-2016) si è quindi ragionato sui due macro-interventi del sottopasso Mortara e del viale della Spina. Relativamente al primo, a seguito dell'apertura al traffico la mobilità dell'area ha subito un netto cambiamento (la deflessione del nuovo sottopasso ha sostituito la linearità del vecchio corso Mortara, che confluiva direttamente in Largo Piero della Francesca). Per quanto riguarda il viale della Spina, invece, la realizzazione delle nuove carreggiate ha prodotto un consistente aumento del traffico

## CAPITOLO 5: Caso studio

veicolare, nonché un incremento dell'area sia geometrica che funzionale dell'intersezione con corso Vittorio Emanuele II.

Le configurazioni precedenti e successive sono visibili nelle immagini satellitari delle Fig. 5.6 e 5.7.



**Fig. 5.6** – Confronto tra immagini satellitari dell'area del sottopasso Mortara pre e post interventi (sopra: marzo 2008; sotto: settembre 2015).



**Fig. 5.7** – Confronto tra immagini satellitari dell'area di viale della Spina pre e post interventi (sopra: settembre 2015; sotto: agosto 2016).

Alla luce di tali interventi e della durata delle loro realizzazioni, si è optato per una suddivisione degli undici anni in 5 periodi di studio così ripartiti:

- 2006-2007: nessun lavoro;
- 2008-2009 e 2010-2011: lavori sottopasso Mortara (due intervalli per evitare un periodo di durata superiore a 3 anni);
- 2012-2014: nessun lavoro;
- 2015-2016: lavori viale della Spina.

La suddivisione in intervalli temporali della durata di due/tre anni consente di ottenere risultati che risentono in maniera meno consistente dei problemi relativi ai falsi positivi e falsi negativi.

Al fine dell'identificazione dei siti pericolosi sarà importante verificare che le frequenze incidentali siano elevate per i diversi periodi di studio, evitando di incorrere in un'errata valutazione del fenomeno della “regressione verso la media”, tipica di studi basati solo su un singolo breve periodo (due o tre anni), che condurrebbe ad una sovrastima o sottostima dell'effettiva frequenza incidentale media del sito stesso.

### 5.3 Analisi di distribuzione spaziale

Nel capitolo 2 si è detto come i diversi approcci di analisi di distribuzione spaziale di punti possano essere suddivisi nei metodi basati sulla distanza (*distance-based*) e in quelli basati sulla densità (*density-based*). Nei paragrafi successivi sono riportate le analisi del caso studio della città di Torino; a seguito di un'iniziale valutazione dello schema di punti, finalizzata alla verifica della presenza di una struttura “clusterizzata” (risultato atteso nei riguardi dell'incidentalità stradale), ci si è concentrati sull'individuazione dei siti pericolosi (HRL), tramite la metodologia Kernel. Tutte le analisi condotte fanno riferimento ai periodi di studio fissati precedentemente.

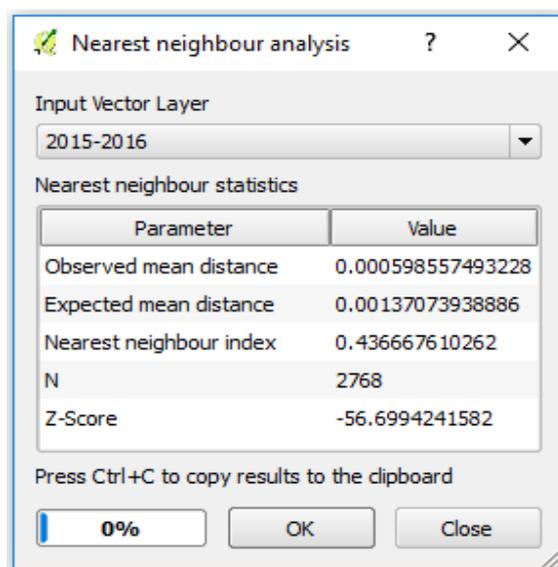
#### 5.3.1 Analisi di clusterizzazione

Questa analisi, eseguibile attraverso metodi *distance-based*, è finalizzata alla determinazione di misure che consentano di valutare la “clusterizzazione” dei punti nello spazio; nello specifico sono stati determinati gli indici *Nearest Neighbor* (NN) e le funzioni G e F, per i cinque periodi di studio.

### 5.3.1.1 Indice *Nearest Neighbor*

L'indice NN è determinabile tramite lo strumento “Nearest Neighbor Analysis” di QGIS, che permette di determinare le statistiche *Nearest Neighbor* del set di punti selezionato, consentendo di valutare il livello di aggregazione dei punti stessi (Capitolo 2, paragrafo 2.1.1).

A titolo di esempio si riporta la schermata output del periodo 2015-2016 (Fig. 5.8).



**Fig. 5.8** – Schermata output del comando “Nearest Neighbor Analysis” relativa al periodo di studio 2015-2016.

Si ricorda che l'indice NN misura quanto la media osservata e la media attesa siano tra loro simili; esso può essere valutato come differenza o come rapporto. In questo caso l'indice è valutato come rapporto, quindi il valore minore dell'unità fa capire come si sia in presenza di una struttura “clusterizzata”. Tale risultato è corroborato dall'elevato valore negativo dello Z-score. I risultati dei diversi periodi di studio sono riassunti in Tab. 5.1 (le schermate output sono riportate nell'Allegato I).

**Tab. 5.1** – indici NN e Z-score dei diversi periodi di studio.

<b>periodo di studio</b>	<b>indice NN</b>	<b>Z-score</b>
2006-2007	0,387	-67,99
2008-2009	0,419	-60,50
2010-2011	0,435	-57,32
2012-2014	0,398	-74,49
2015-2016	0,437	-56,70

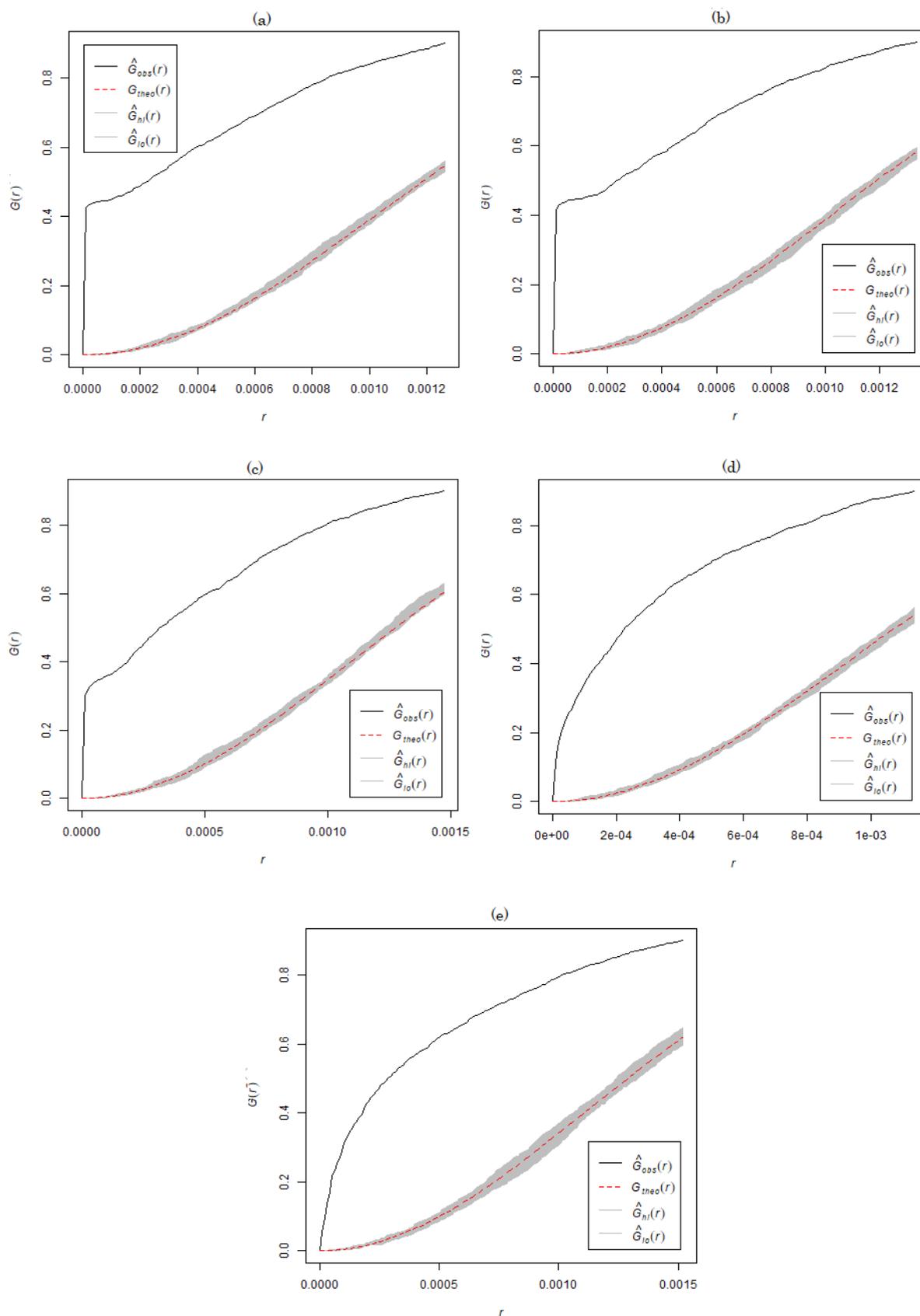
Come si nota, gli indici NN dei cinque periodi di studio presentano valori molto minori di 1 e i rispettivi Z-score sottolineano l'elevata significatività statistica di tali risultati.

Si conferma dunque quanto preventivamente atteso, ossia che gli incidenti si distribuiscono in maniera non uniforme sull'area di studio, concentrandosi principalmente in punti specifici.

### 5.3.1.2 Funzione G

Per la determinazione della funzione G si è fatto ricorso alla sezione “R scripts” presente nella finestra Strumenti di QGIS; nello specifico è stato utilizzato l'algoritmo “G function”. In Fig. 5.9 sono riportati i grafici di output dei cinque periodi di studio considerati.

CAPITOLO 5: Caso studio



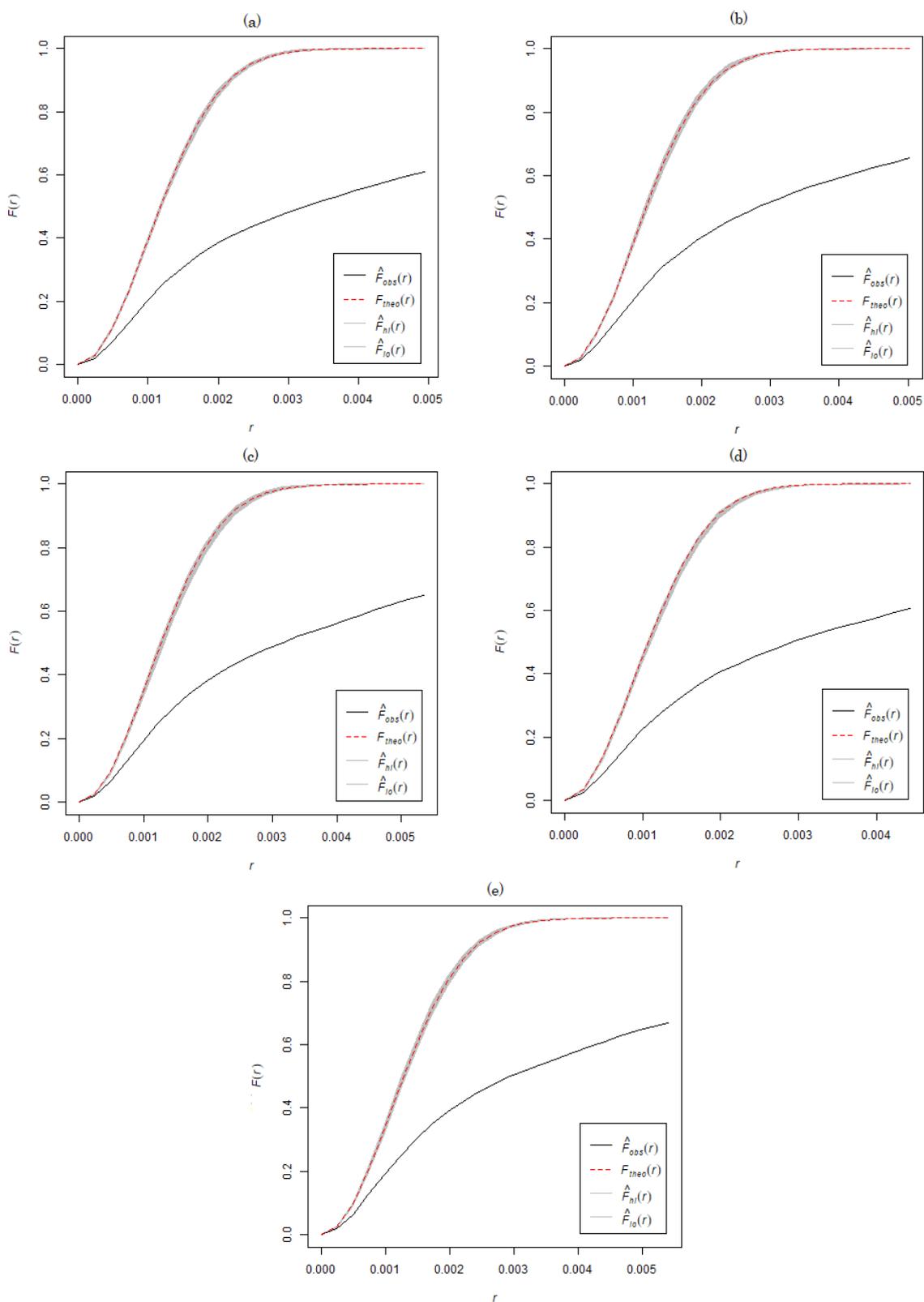
**Fig. 5.9** – Funzioni  $G$  relative ai cinque periodi di studio: (a) 2006-2007; (b) 2008-2009; (c) 2010-2011; (d) 2012-2014; (e) 2015-2016.

Nell'asse delle ascisse sono riportate le distanze in corrispondenza delle quali si determinano le frequenze di distanze tra punti più vicini (distanze *nearest neighbor* - NN). minori di tali valori (vedi Capitolo 2, paragrafo 2.1.2). L'algoritmo di default pone la distanza NN massima uguale a 0,0015; in corrispondenza di tale valore, infatti, si ha che il 100% delle distanze NN sono minori di esso. Le diverse distanze sono poi normalizzate in riferimento a tale valore massimo. Tuttavia, ai fini dell'analisi corrente, è di interesse l'andamento qualitativo della funzione G "osservata" in riferimento all'andamento teorico, relativo ad una ipotetica distribuzione casuale di uno stesso numero di punti; si nota come, in tutti e cinque i periodi analizzati, la curva relativa alla struttura effettiva dei punti si collochi al di sopra della curva teorica. Questo risultato ribadisce quanto precedentemente verificato, ossia che gli eventi incidentali sono disposti nello spazio secondo una struttura "clusterizzata", cioè caratterizzata dalla presenza di diverse aggregazioni in siti specifici.

È interessante evidenziare, per le brevi distanze, il particolare andamento della funzione G osservata, relativamente ai primi tre periodi di studio, che vanno dal 2006 al 2011; si ha infatti un "salto" della funzione, sintomatico della presenza di numerosi *cluster* di punti con distanze reciproche praticamente nulle. Questa situazione è dovuta alla procedura di geolocalizzazione adottata per gli anni precedenti al 2011, basata sull'impiego dell'utility online *GPS Visualizer's Address Locator*. Agli eventi incidentali verificatisi in uno specifico sito, ad esempio un'intersezione, sono assegnate le medesime coordinate, nonostante possano essere avvenuti in punti diversi del sito stesso. Ciò comporta un consistente numero di distanze NN pari a zero, le quali appunto determinano un repentino incremento della funzione G in prossimità dell'origine degli assi. Ciò è meno evidente per il periodo 2010-2011, trattandosi dell'unica aggregazione di dati che contempra al suo interno sia record con coordinate determinate con l'utility *GPS Visualizer's Address Locator*, affette dalle inesattezze precedentemente esposte, che record con la geolocalizzazione fornita direttamente dal database ISTAT, più precisa.

### 5.3.1.3 Funzione F

Per la determinazione della funzione F è stato utilizzato l'algoritmo "F function", presente nella sezione "R scripts" della finestra Strumenti di QGIS.



**Fig. 5.10** – Funzioni F relative ai cinque periodi di studio: (a) 2006-2007; (b) 2008-2009; (c) 2010-2011; (d) 2012-2014

La Fig. 5.10 mostra i grafici di output dei cinque periodi di studio considerati; anche questa terza metodologia di analisi *distance-based* mette in evidenza come le strutture di punti dei diversi periodi di studio siano caratterizzate da numerose aggregazioni, risultato testimoniato dalla presenza delle funzioni F osservate sempre al di sotto delle curve teoriche.

A differenza del caso della funzione G, la funzione F risulta meno sensibile nei riguardi della precisione della geolocalizzazione; infatti non sono state riscontrate differenze significative per le brevi distanze come invece accaduto nella metodologia precedente.

### 5.3.2 Individuazione dei punti critici (*cluster*)

L'individuazione dei siti a più alta densità incidentale è perseguibile tramite l'utilizzo dei metodi *density-based*. Nelle conclusioni dell'analisi di sensitività relativa ai modelli basati sulla densità (Capitolo 3, paragrafo 3.3) si è detto come il *Quadrat Method* risenta troppo delle scelte dei parametri caratteristici, nello specifico della dimensione delle celle; per questo si è optato per l'applicazione della sola metodologia Kernel, utile per l'individuazione dei *cluster* spaziali.

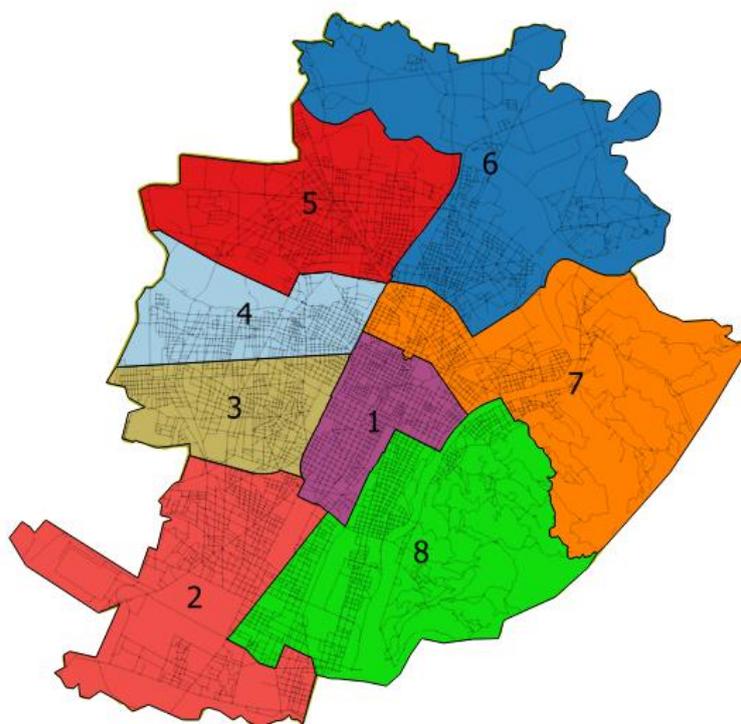
Le analisi di sensitività hanno portato alla selezione della funzione Quartic e di un valore di *bandwidth* non superiore ai 100 m; relativamente a quest'ultimo, si è detto come sia necessario condurre un secondo livello di analisi atto alla definizione di un legame tra esso e la lunghezza media degli archi della rete corrispondente alla distanza media tra le intersezioni, coerentemente con quanto riportato in letteratura (Mohaymany et al., 2013). Di seguito sono riportate le considerazioni che hanno portato alla determinazione del valore di h da adottare nel caso studio della città di Torino.

#### 5.3.2.1 Legame tra *bandwidth* e lunghezza archi

Questa analisi ha previsto la determinazione della lunghezza media degli archi della rete infrastrutturale della città di Torino; si è cercato di mettere in relazione il parametro h con la dimensione media rappresentativa della distanza tra i nodi della rete (lunghezza media degli archi) in modo da trovare un giusto

compromesso sul valore della bandwidth tale da consentire la valutazione delle singole intersezioni. Un valore pari alla metà della lunghezza media degli archi, infatti, permette di evitare (mediamente) di inglobare all'interno dello stesso cluster due diverse intersezioni, rendendo possibile l'individuazione dell'effettiva criticità.

Lo studio della lunghezza media degli archi della rete è stato condotto analizzando inizialmente le diverse circoscrizioni; queste identificano delle caratteristiche urbanistiche abbastanza omogenee al loro interno (dimensioni degli archi indicativamente omogenee).



**Fig. 5.11** – Circoscrizioni della città di Torino.

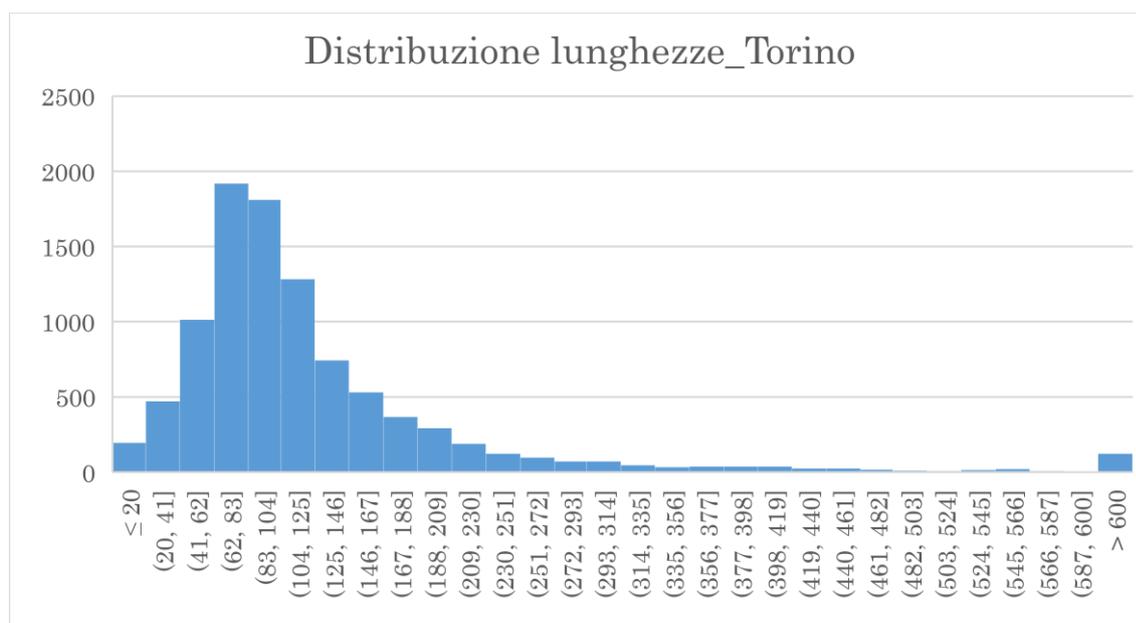
I dati relativi alle singole circoscrizioni sono stati reperiti dalla sezione “Ufficio di Statistica” del portale della città di Torino (i dati si riferiscono all'anno 2016). Per ogni circoscrizione è stata determinata la distribuzione delle lunghezze degli archi, sfruttando le informazioni dell'attributo “Lunghezza” dello shapefile “Tr strad UTM zone 32N”, reperito dalla banca dati geotopografica BDTRE (messa a disposizione dal sito GeoPortale Piemonte), già ritagliato secondo i limiti del confine Comunale. Il vettore “Tr strad UTM zone 32N” rappresenta gli archi della rete, ossia gli elementi lineari tra un'intersezione e l'altra, per un totale di 9.631 segmenti.

## CAPITOLO 5: Caso studio

Le analisi relative alle singole circoscrizioni sono riportate nell'Allegato II. I valori della lunghezza media degli archi delle diverse circoscrizioni sono riassunti in Tab. 5.2. La stessa analisi è stata condotta sull'intera rete della città di Torino; i risultati ottenuti sono mostrati in Fig. 5.12 e in Tab. 5.11.

**Tab. 5.2** – lunghezze medie archi per circoscrizione.

Circoscrizione	Lunghezza media archi (m)
1	93,96
2	141,36
3	110,06
4	106,68
5	140,30
6	148,20
7	151,81
8	140,17



**Fig. 5.12** – Distribuzione delle lunghezze degli archi relativi alla città di Torino.

**Tab. 5.3** – principali indici statistici

indice	valore
media	<u>126,60 m</u>
dev.st.	126,41
min	0,01 m
max	2694,13 m
mediana	97,59 m
moda	83,06 m
totale	1.219.324,21 m

Ad eccezione della sola zona centrale ed in parte della circoscrizione 3 e 4, i valori medi delle lunghezze degli archi sono sull'ordine dei 140/150 m. In relazione a tali risultati, per quanto riguarda la scala globale si opta per una finestra di ricerca (*bandwidth*) di 100 m, di poco superiore al 50% del valor medio caratteristico degli archi delle zone periferiche (valore proposto all'inizio del presente paragrafo). Tale scelta consente infatti di discriminare le singole intersezioni, eventualmente inglobando tra loro solo quelle molto prossime. Relativamente alla zona centrale, invece, sarebbe più opportuno adottare una *bandwidth* di 50 m, alla luce della fitta rete stradale caratteristica di questa porzione della città. Un valore di 100 m potrebbe includere troppi elementi stradali, non consentendo di cogliere il problema specifico.

### 5.3.2.2 Individuazione siti pericolosi

L'identificazione dei siti pericolosi (*hazardous road location*, HRL) è condotta per mezzo della metodologia Kernel. Si ottengono mappe di calore (*heatmap*) che consentono una semplice individuazione delle criticità lungo la rete. Tali mappe sono caratterizzate da una serie di intervalli nei valori di densità contraddistinti da un certo colore. Ai fini del presente studio, così come stabilito nel paragrafo 3.2.4 relativo alla definizione della pericolosità di un sito, l'interesse è volto nei confronti dell'ultima classe, caratterizzata dalla più alta intensità incidentale. Si richiama la suddivisione degli intervalli stabilita nel capitolo 3, relativo all'analisi di sensitività dei modelli:

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

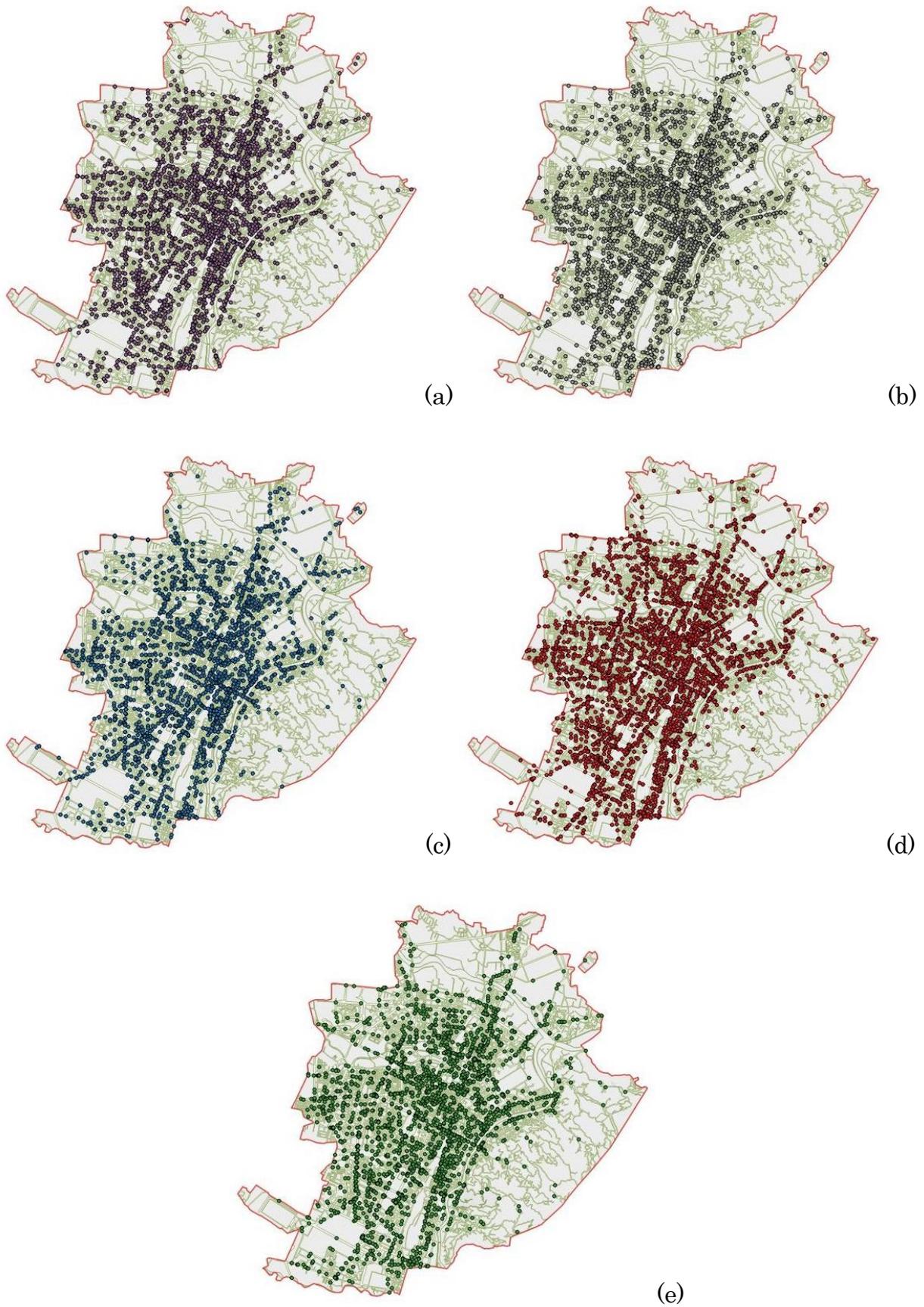
Tale scelta risulta essere molto restrittiva dal punto di vista statistico; così facendo sono evidenziati i punti nei quali si hanno aggregazioni molto

## CAPITOLO 5: Caso studio

significative di eventi, rendendo l'analisi dei risultati di più semplice interpretazione. Solo i punti della rete con elevata concentrazione di incidenti sono stati considerati pericolosi.

Per prima cosa, il database contenente i 16.079 eventi incidentali coinvolgenti almeno un utente debole è stato suddiviso nei cinque periodi di studio proposti e per ognuno di essi è stato creato un file di testo (\*.txt). Questa operazione si è resa necessaria al fine di permettere il caricamento degli incidenti sotto forma di punti in QGIS, ottenendo una mappa con la distribuzione spaziale degli eventi incidentali; questa operazione rappresenta il punto di partenza per ogni analisi spaziale. I punti così ottenuti, sovrapposti allo shapefile della mappa della città di Torino, forniscono una prima indicazione sulle zone a più alta concentrazione di eventi incidentali.

Come è possibile notare da Fig. 5.13, una semplice analisi visiva della mappa non consente una immediata e corretta interpretazione della distribuzione spaziale di incidenti, specialmente quando si lavora con una mole così importante di dati.

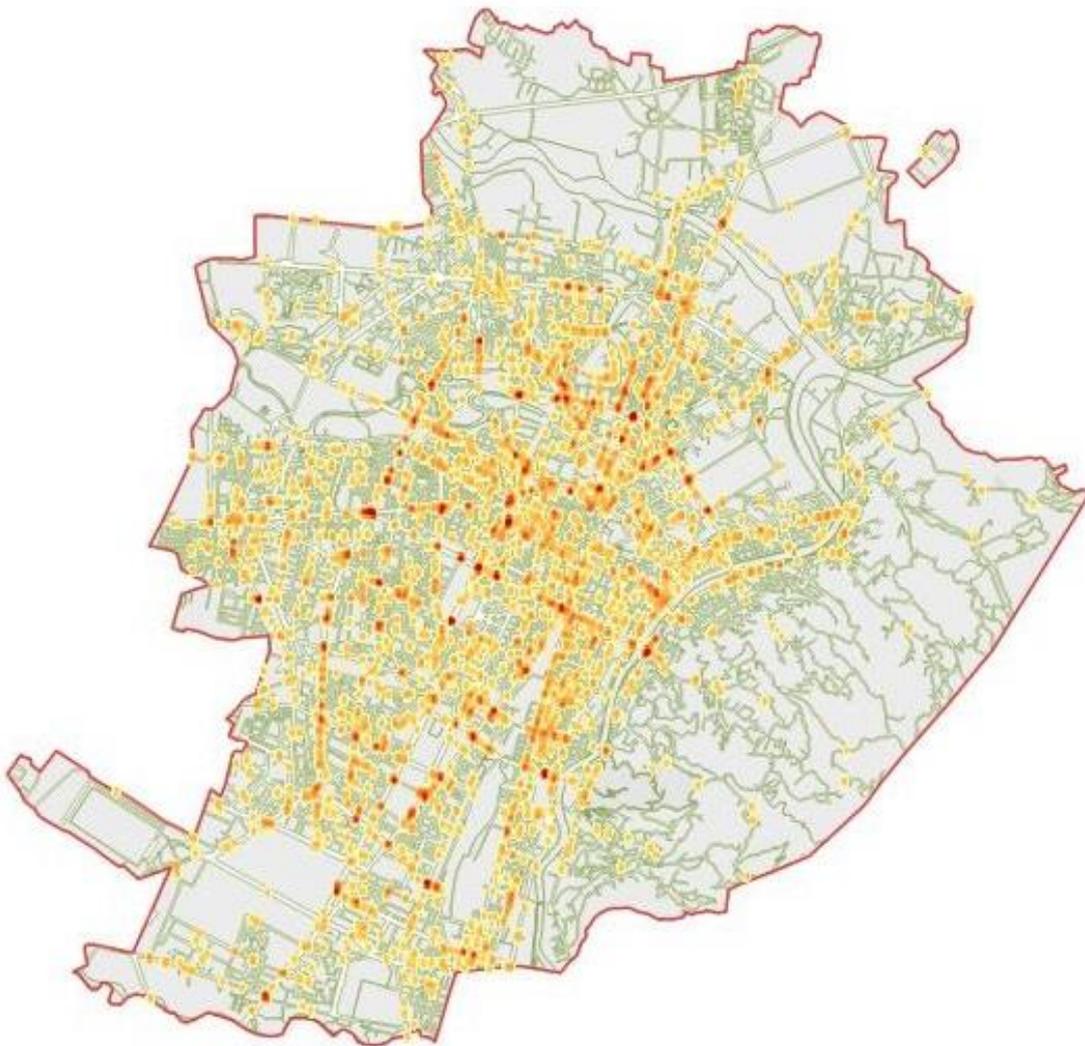


**Fig. 5.13** – Distribuzione degli eventi incidentali VRU: (a) 2006-2007; (b) 2008-2009; (c) 2010-2011; (d) 2012-2014; (e) 2015-2016.

## CAPITOLO 5: Caso studio

Lo strumento *heatmap*, basato sul metodo di stima Kernel di densità, consente di ottenere mappe di calore che rendono di più facile lettura l'identificazione dei siti pericolosi.

Si riporta, a titolo di esempio, la mappa di calore del periodo 2015-2016 (Fig. 5.14); le *heatmap* relative agli altri periodi sono riportate nell'Allegato III. Le diverse sfumature sono associate ai diversi intervalli precedentemente citati; il colore più intenso corrisponde alle più elevate concentrazioni di eventi incidentali;

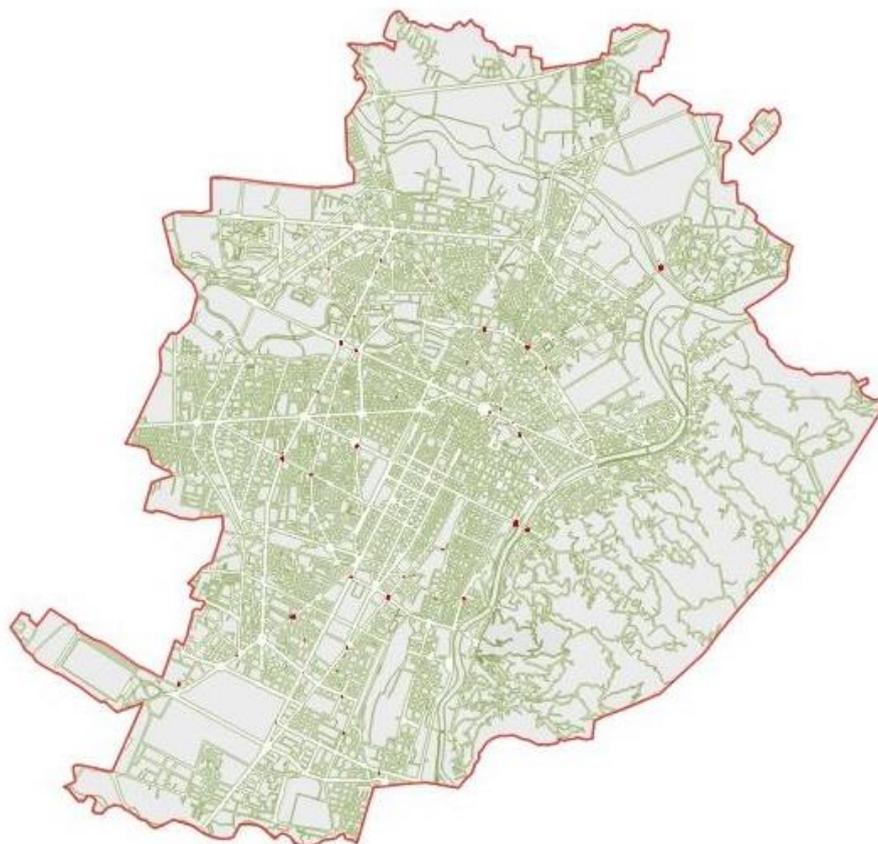


**Fig. 5.14** – *Heatmap* relativa agli incidenti VRU del periodo 2015-2016.

## CAPITOLO 5: Caso studio

Per una più semplice individuazione dei punti critici nella rete, si è deciso di rendere visibile solo l'ultimo intervallo di valori, ovvero quello relativo ai siti con elevata concentrazione di punti.

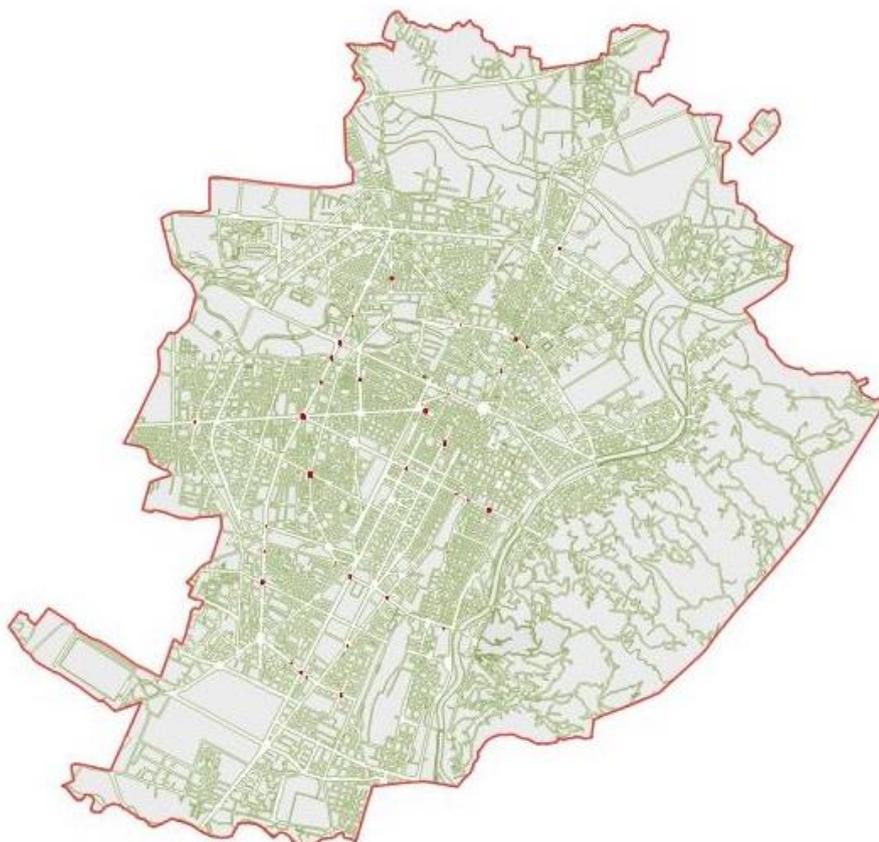
Le *heatmap* relative ai cinque periodi di studio analizzati, riportate nelle Fig. dalla 5.15 alla 5.19, mostrano dunque i soli picchi della superficie di densità ottenuta tramite l'applicazione della metodologia Kernel (par.2.2.2). La Fig. 5.20 mostra invece la mappa di calore risultante dalla sovrapposizione delle cinque; così facendo si è cercato di mettere in risalto le principali criticità della rete.



**Fig. 5.15** – Punti critici per le utenze vulnerabili, periodo 2006-2007.



**Fig. 5.16** – Punti critici per le utenze vulnerabili, periodo 2008-2009.



**Fig. 5.17** – Punti critici per le utenze vulnerabili, periodo 2010-2011.



**Fig. 5.18** – Punti critici per le utenze vulnerabili, periodo 2012-2014.



**Fig. 5.19** – Punti critici per le utenze vulnerabili, periodo 2015-2016.



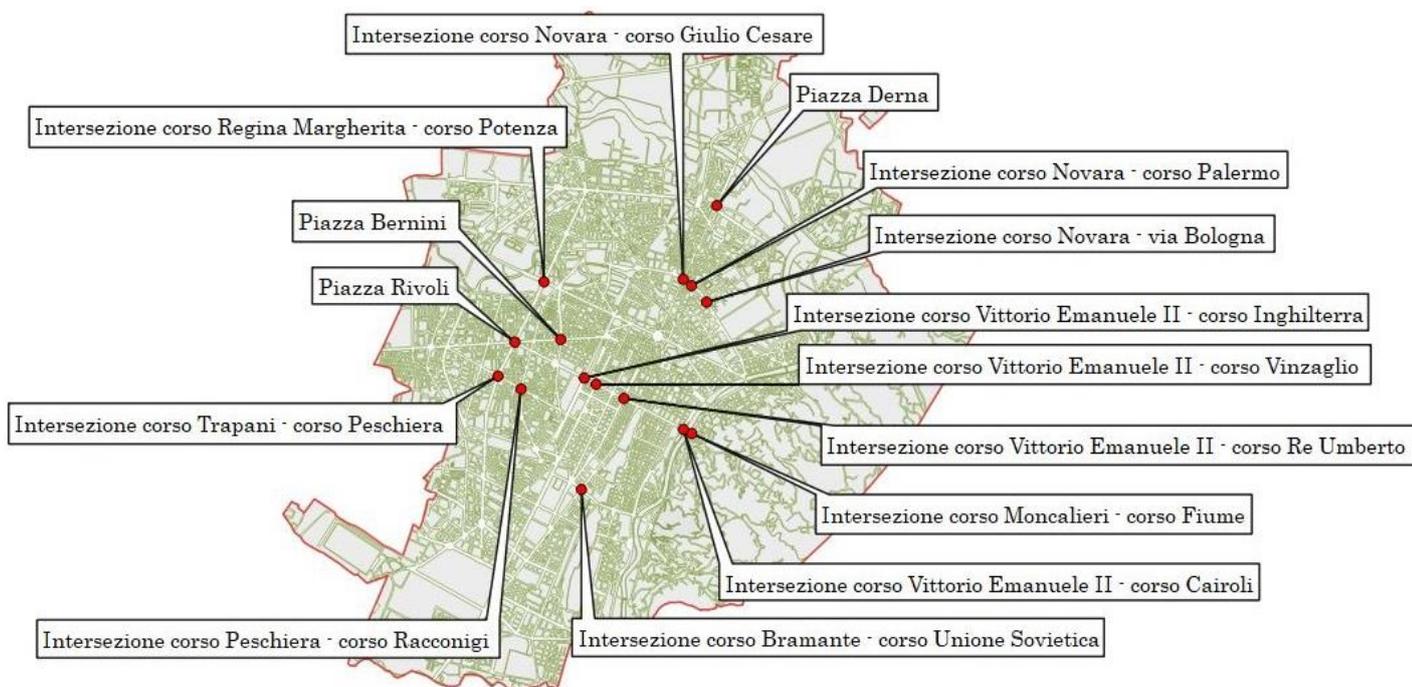
**Fig. 5.20** – Punti critici per le utenze vulnerabili, periodo 2006-2016.

Una prima osservazione derivante dall'analisi di tali mappe mostra come le criticità si concentrino nelle intersezioni lungo i principali assi della città, in particolare lungo corso Vittorio Emanuele II, lungo corso Novara e lungo il corridoio costituito da corso Lecce, corso Trapani e corso Siracusa. Si tratta di un problema quindi non localizzato ma, seppur concentrato in punti specifici, diffuso lungo i principali itinerari urbani di grande traffico. Flussi di traffico intensi danno luogo a numerosi conflitti tra veicoli e utenti vulnerabili; in più, sedi stradali ampie in termini di corsie e carreggiate espongono maggiormente a pericolo pedoni e ciclisti proprio dove sono anche elevate le differenze di velocità con le utenze veicolari, con una potenziale maggiore severità incidentale. La frequenza incidentale dunque non è solo legata alla numerosità di conflitti, particolarmente elevata in questi siti, ma anche alla geometria della

## CAPITOLO 5: Caso studio

sede stradale, che determina un maggior livello di esposizione dell'utenza vulnerabile, soprattutto negli attraversamenti pedonali e ciclabili, che richiedono tempi elevati a causa della presenza di molte corsie per senso di marcia e di controviali. È possibile notare come questi assi "critici" siano posti in zone della città caratterizzate da una maggiore promiscuità del traffico dovuta ad una cospicua mobilità di utenti vulnerabili. Gli interventi di protezione per le utenze deboli risultano dunque maggiormente necessari lungo tali assi. Tuttavia questo tipo di analisi non fornisce alcuna indicazione sul tipo di azione da adottare. L'analisi spaziale consente di identificare i luoghi nei quali si riscontrano concentrazioni molto significative di incidenti; le cause effettive di queste concentrazioni possono essere comprese solo conducendo monitoraggi puntuali dei siti.

Un secondo livello di analisi, condotto incrociando le informazioni relative ai diversi periodi presi in esame, e andando a ricercare le criticità comuni ai cinque intervalli temporali, ha comportato l'individuazione di 15 principali siti pericolosi (*Hazardous Road Locations*), ossia a più alta frequenza incidentale; la loro localizzazione è riportata in Fig. 5.21.



**Fig. 5.21** – Principali punti critici per le utenze vulnerabili nella città di Torino.

## CAPITOLO 5: Caso studio

Per ognuno di essi è stato valutato l'andamento della frequenza incidentale nel corso dei cinque diversi periodi di studio; i risultati sono riportati in Tab. 5.4.

**Tab. 5.4** – andamento delle frequenze incidentali nel corso dei cinque periodi di studio per i 15 HRL individuati. In questi siti è stata riscontrata una media di 3-6 incidenti all'anno, con almeno un utente debole coinvolto. In corsivo sottolineato 3 esempi di falsi negativi.

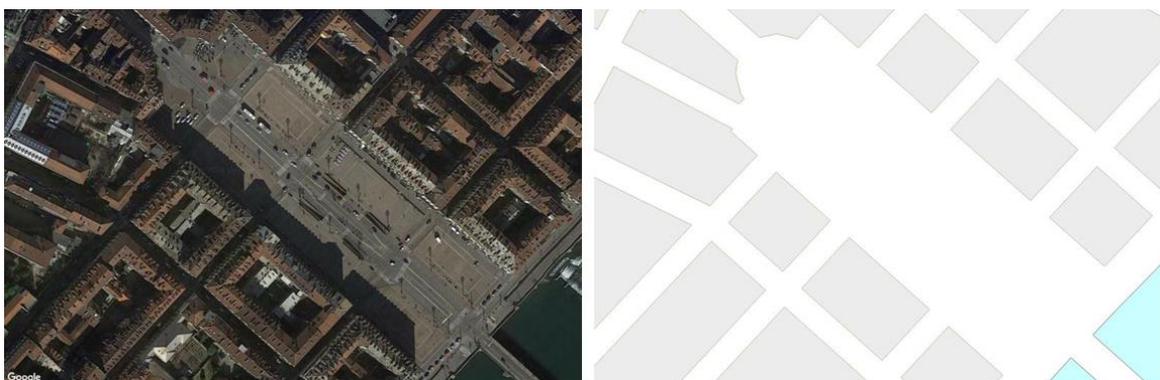
SITO	2006- 2007	2008- 2009	2010- 2011	2012- 2014*	2015- 2016	TOT
<i>Intersezione</i> corso Moncalieri - corso Fiume	9	7	<u>2</u>	5	9	<b>32</b>
<i>Intersezione</i> corso Novara - corso Giulio Cesare	<u>2</u>	11	7	5	11	<b>36</b>
<i>Intersezione</i> corso Novara - via Bologna	7	7	6	9	7	<b>36</b>
<i>Intersezione</i> corso Novara - corso Palermo	8	5	6	9	3	<b>31</b>
<i>Intersezione</i> corso Peschiera - corso Racconigi	6	4	9	9	6	<b>34</b>
<i>Intersezione</i> corso Peschiera - corso Trapani	10	11	4	10	<u>2</u>	<b>37</b>
<i>Intersezione</i> corso Regina Margherita - Corso Potenza	11	12	12	12	8	<b>55</b>
<i>Intersezione</i> corso Unione Sovietica - corso Bramante	11	6	8	7	7	<b>39</b>
<i>Intersezione</i> corso Vittorio Emanuele II - corso Cairoli	11	6	5	8	4	<b>34</b>
<i>Intersezione</i> corso Vittorio Emanuele II - corso Inghilterra	6	7	3	12	9	<b>37</b>
<i>Intersezione</i> corso Vittorio Emanuele II - corso Re Umberto	5	9	4	9	4	<b>31</b>
<i>Intersezione</i> corso Vittorio Emanuele II - corso Vinzaglio	4	8	8	9	10	<b>39</b>
Piazza Bernini**	11	4	4	16	11	<b>46</b>
Piazza Derna	4	5	8	15	5	<b>37</b>
Piazza Rivoli**	9	16	14	14	12	<b>65</b>

\*: i valori tendenzialmente più alti del periodo 2012-2014 sono dovuti alla maggior durata in termini di anni di questo periodo rispetto agli altri.

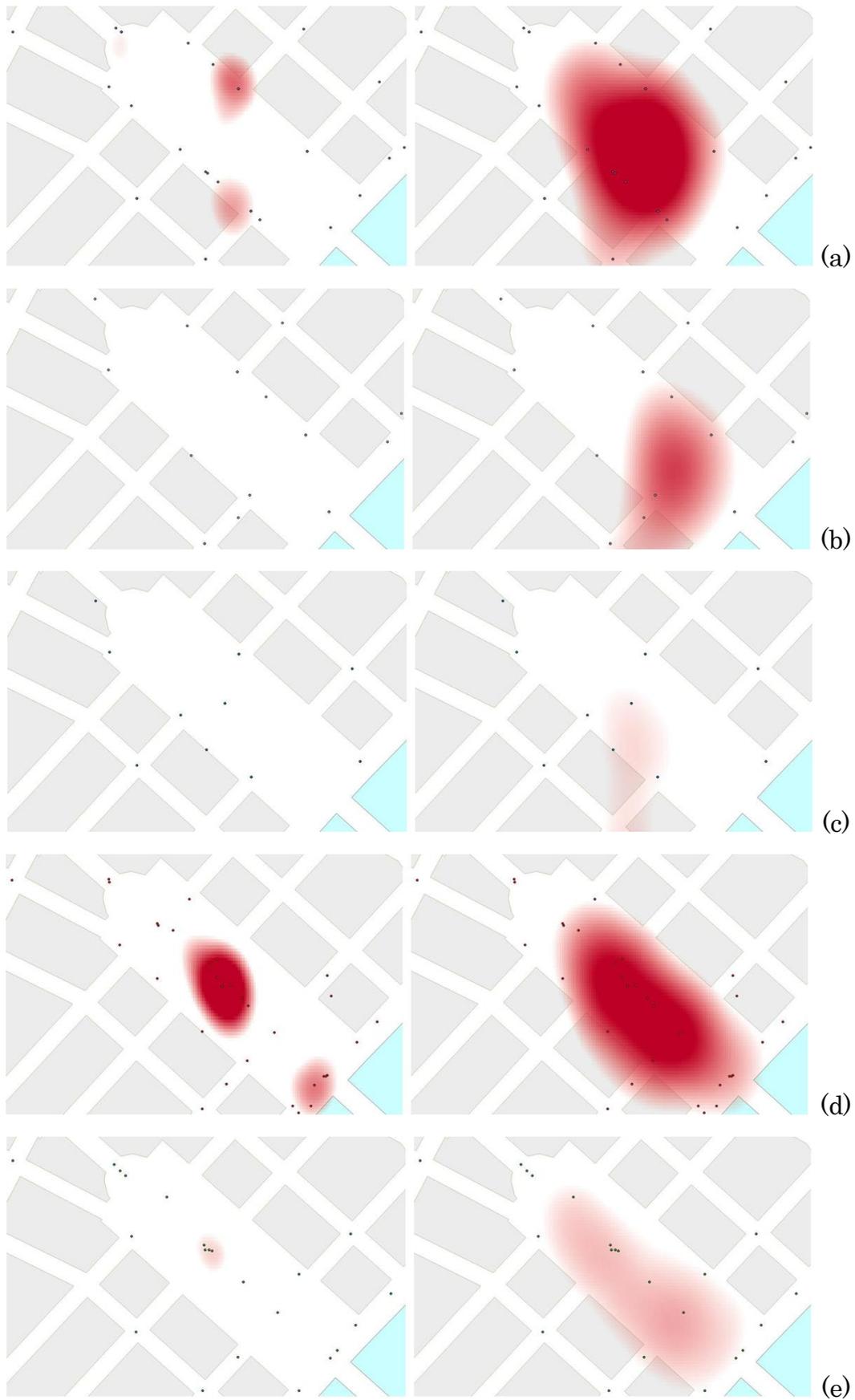
\*\* : le frequenze incidentali di questi siti sono state valutate andando a considerare un'area più estesa, non trattandosi di semplici intersezioni; la spiegazione di tale considerazione è riportata in seguito nel paragrafo.

## CAPITOLO 5: Caso studio

I risultati così ottenuti si riferiscono ad un valore del raggio di ricerca pari a 100 m che, come specificato nel paragrafo 5.5.1, consente di valutare le criticità sulla scala delle singole intersezioni. Tuttavia in presenza di problematiche diffuse su aree più estese, caratterizzate da un'elevata numerosità di eventi incidentali, tra loro però maggiormente distanziati, questo valore non consente di evidenziare la presenza di *cluster*, e quindi la pericolosità del sito. Non si tratta infatti di punti specifici della rete ma di vaste aree nelle quali le criticità sono uniformemente diffuse; la loro particolare conformazione strutturale e funzionale comporta infatti intense interazioni tra le utenze veicolari e vulnerabili, che risultano dunque particolarmente esposte. Per comprendere la pericolosità di questi siti è necessario condurre un'analisi specifica, adottando un maggiore valore di *bandwidth*. Un esempio è rappresentato da piazza Vittorio Veneto (Fig. 5.22), caratterizzata da diverse criticità distribuite prevalentemente lungo la direttrice centrale; per questo caso particolare è stato adottato un valore di  $h$  (*bandwidth*) pari a 200 m. È stato condotto un confronto delle mappe di calore relative all'area oggetto di studio con raggio pari a 100 m e 200 m; dall'analisi visiva della Fig. 5.23 risulta evidente come, con la sola eccezione del periodo 2012-2014, una valutazione della mappa con  $h$  di 100 m non identificherebbe l'area come critica per le utenze vulnerabili, pericolosità invece quasi costantemente riscontrata nel caso del raggio di ricerca di dimensioni superiori.



**Fig. 5.22** – Area di studio: immagine satellitare (a sinistra) e Shapefile “Carta di sintesi” (a destra).

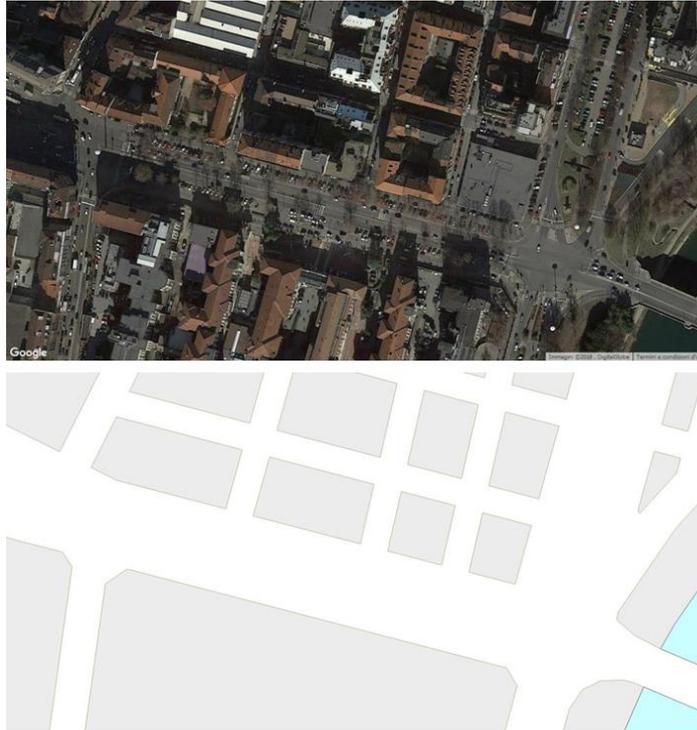


**Fig. 5.23** –  $h=100$  m (a sinistra) e  $h=200$  m (a destra). (a) periodo 2006-2007; (b) periodo 2008-2009; (c) periodo 2010-2011; (d) periodo 2012-2014; (e) periodo 2015-2016.

Inoltre quest'ultima analisi, condotta utilizzando un valore di bandwidth pari a 200 m, ha messo ulteriormente in evidenza la criticità di alcuni punti già classificati pericolosi nel caso di un raggio di 100 m. I due casi più evidenti sono quelli di piazza Rivoli e di piazza Bernini che, nella prima analisi, erano risultati essere dei siti pericolosi (Tab. 5.4); tali criticità, tuttavia, sono rimarcate in modo netto aumentando il valore del parametro  $h$ , trattandosi di aree che si collocano in una condizione intermedia tra una semplice intersezione, ben valutabile con un raggio di 100 m, e un'area molto estesa, come nel caso sopra citato di piazza Vittorio Veneto.

A differenza di punti specifici della rete, come le semplici intersezioni, aree molto estese mettono in evidenza i limiti della geolocalizzazione basata sull'indirizzo, meno precisa rispetto a quella basata sulle coordinate, introdotta nel 2011. Infatti nelle prime due mappe del caso di piazza Vittorio (Fig. 5.23a e 5.23b), relative agli anni antecedenti, gli eventi incidentali si distribuiscono esclusivamente lungo il perimetro della piazza, in quanto lo strumento utilizzato per la determinazione delle coordinate posiziona l'intersezione tra la piazza e le vie convergenti in essa nel contorno e non al centro; le analisi successive, contraddistinte da una corretta geolocalizzazione, sottolineano invece come il punto più critico della piazza sia rappresentato dalla direttrice centrale.

Un riscontro molto interessante relativamente alle differenze tra l'incidentalità che riguarda gli utenti vulnerabili e quella veicolare lo si ha nel caso dell'attraversamento di corso Bramante, fronte ingresso ospedale Molinette (Fig. 5.24). Questo punto risulta estremamente sensibile per le utenze vulnerabili, criticità evidenziata dalla significativa aggregazione di eventi incidentali riscontrabile negli ultimi 7 anni (2010-2016); non si riscontra la stessa problematica per quanto riguarda gli incidenti veicolari, relativi alla porzione complementare del database. La specificità del punto da analizzare ha comportato la scelta di operare con i soli dati caratterizzati da una più precisa geolocalizzazione.



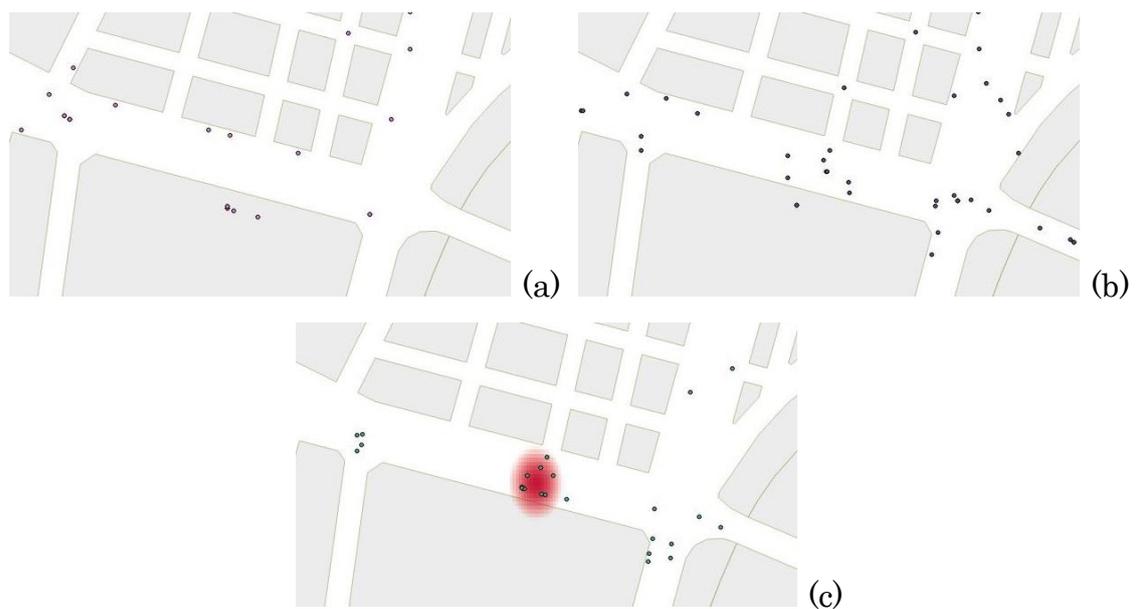
**Fig. 5.24** – Area di studio: immagine satellitare (in alto) e Shapefile “Carta di sintesi” (in basso)

I sinistri veicolari sono stati georiferiti adottando la medesima procedura descritta nel capitolo 4 per quanto riguarda gli incidenti che coinvolgono utenti vulnerabili; al fine di comprendere la differenza tra le due distribuzioni, è stato eseguito un confronto tra le mappe di calore dei due set di dati incidentali (denominati “VRU” e “noVRU”). I risultati sono riportati in Fig. 5.25.

Per verificare l’importanza di aver suddiviso il database incidentale per categoria di utenza coinvolta, la medesima analisi è stata condotta utilizzando la totalità dei dati incidentali; le mappe di calore relative ai tre periodi di studio considerati sono riportate in Fig. 5.26. Risulta evidente come non emerga la criticità dell’attraversamento di corso Bramante, in quanto la presenza di un cluster in un unico periodo non è sufficiente a classificare il sito come pericoloso, coerentemente con quanto detto in relazione al fenomeno di regressione verso la media. In questo caso, dunque, l’analisi della totalità degli incidenti non consente l’individuazione di problemi legati ad una specifica categoria di utenti, confermando la fondamentale importanza della suddivisione del database incidentale per tipologia di utenza coinvolta.



**Fig. 5.25** – Distribuzione incidenti VRU (in alto), distribuzione incidenti noVRU (in basso) e rispettive *heatmap*. (a) periodo 2010-2011; (b) periodo 2012-2014; (c) periodo 2015-2016.



**Fig. 5.26** – Distribuzione dell'incidentalità totale e rispettiva *heatmap*. (a) periodo 2010-2011; (b) periodo 2012-2014; (c) periodo 2015-2016.

Nonostante questi ultimi esempi studiati trattino due specifiche aree di Torino, le rispettive *heatmap* non sono state elaborate da un'analisi condotta sui suddetti siti, bensì estrapolate da quelle relative all'intera città. Questa precisazione risulta di fondamentale importanza in quanto le due procedure conducono a risultati differenti; infatti, gli intervalli delle mappe di calore sono basati su indici statistici riferiti alla distribuzione di densità di punti all'interno dell'area oggetto di studio, la quale risulta fortemente dipendente dal campione di dati incidentali selezionato.

### 5.4 Zona 30 (Mirafiori Nord)

La ricerca delle principali opere infrastrutturali realizzate negli undici anni 2006-2016 nella città di Torino (par. 5.3.3) ha portato all'individuazione della zona 30 nell'area di Mirafiori Nord. Data la peculiarità di questa area nel contesto cittadino, relativamente alla sicurezza degli utenti vulnerabili, si è deciso di condurre un approfondimento volto alla determinazione delle frequenze incidentali pre e post realizzazione della stessa e all'individuazione delle aggregazioni dei sinistri stradali. I risultati ottenuti sono stati utilizzati per condurre un confronto tra l'incidentalità che coinvolge almeno un utente debole ("VRU") e l'incidentalità veicolare ("noVRU").

#### 5.4.1 Strategia delle zone 30

Uno studio condotto dall'Assessorato ai Trasporti e Infrastrutture della regione Piemonte mette in luce come circa i 2/3 delle vittime di incidenti stradali, nelle maggiori aree urbane, siano costituiti da utenti deboli (Regione Piemonte, 2005). Tale criticità è confermata anche dai dati incidentali ISTAT relativi alla città di Torino per gli anni 2006-2016 (su un totale di 388 vittime, 247 erano utenti vulnerabili). Nell'ambito di una generale valorizzazione delle aree residenziali nel contesto urbano, risulta quindi necessario dirigere l'attenzione e gli sforzi alla pianificazione territoriale e viabilistica, soprattutto separando la viabilità principale di attraversamento della città da queste aree. La strategia delle zone 30, indicata nel contesto internazionale come politica di "moderazione del

traffico” (*traffic calming*), è volta alla messa in sicurezza dello spazio della mobilità nelle aree residenziali urbane; tale strategia, tesa alla salvaguardia principalmente delle utenze deboli della strada, ha nella moderazione della velocità del traffico a 30 km/h la sua azione portante.

La diminuzione del limite di velocità da 50 km/h a 30 km/h comporta una riduzione delle velocità operative, e auspicabilmente una riduzione della frequenza e della severità incidentale, in particolare a favore degli utenti più deboli.

Le distanze di arresto per i veicoli subiscono all'incirca un dimezzamento, con conseguente riduzione del rischio di collisione; per quanto concerne la severità è stato dimostrato che, a seguito di un impatto con un veicolo che viaggia a 65 km/h, il rischio di mortalità per un pedone adulto è dell'85%; tale percentuale scende al 55% per una velocità di 50 km/h e si riduce al 5% per una velocità di 32 km/h (Colombrita R. et al., 2005).

### 5.4.2 Interventi

Le informazioni relative ai principali interventi realizzati nell'area oggetto di studio sono state reperite dal documento “Zone 30 e traffic calming” presente nella pagina “Zone 30: meno velocità e meno incidenti anche sotto casa tua” della sezione “Trasporti e Mobilità” del sito del comune di Torino.

La città di Torino e la Circoscrizione 2 hanno partecipato nell'ottobre 2007 al primo Bando regionale per la realizzazione di Zone 30, proponendo un progetto su Mirafiori Nord, intorno all'asse di via Castalgomberto. L'area oggetto di intervento è delimitata dai corsi Sebastopoli, Siracusa, Orbassano e via Guido Reni. Il progetto nasce dal riscontro di alcuni fattori di rischio dovuti alla presenza di funzioni non coerenti con il carattere residenziale e commerciale, come ad esempio strade con sezioni molto ampie, utilizzo di alcune vie, ricadenti nell'area, come by-pass della viabilità di scorrimento circostante, con elevata incidentalità nelle intersezioni.

Al fine di mettere in sicurezza l'area, tra la fine del 2008 e l'inizio del 2009 sono stati eseguiti diversi interventi:

- realizzazione di porte di accesso, perimetrali all'area di intervento, dotate di nasi di protezione e attraversamenti pedonali rialzati;
- sistemazione di intersezioni con piastre rialzate e nasi di protezione;
- potenziamento della pista ciclabile in via Castelgomberto;
- conversione da incrocio semaforizzato a minirotonda dell'intersezione tra via Filadelfia e via Castelgomberto;
- realizzazione di chicane mediante alternanza della sosta a pettine con la sosta in linea, in particolare sugli assi di via Castelgomberto e su via Boston;
- istituzione di alcuni sensi unici di marcia sulle vie minori.

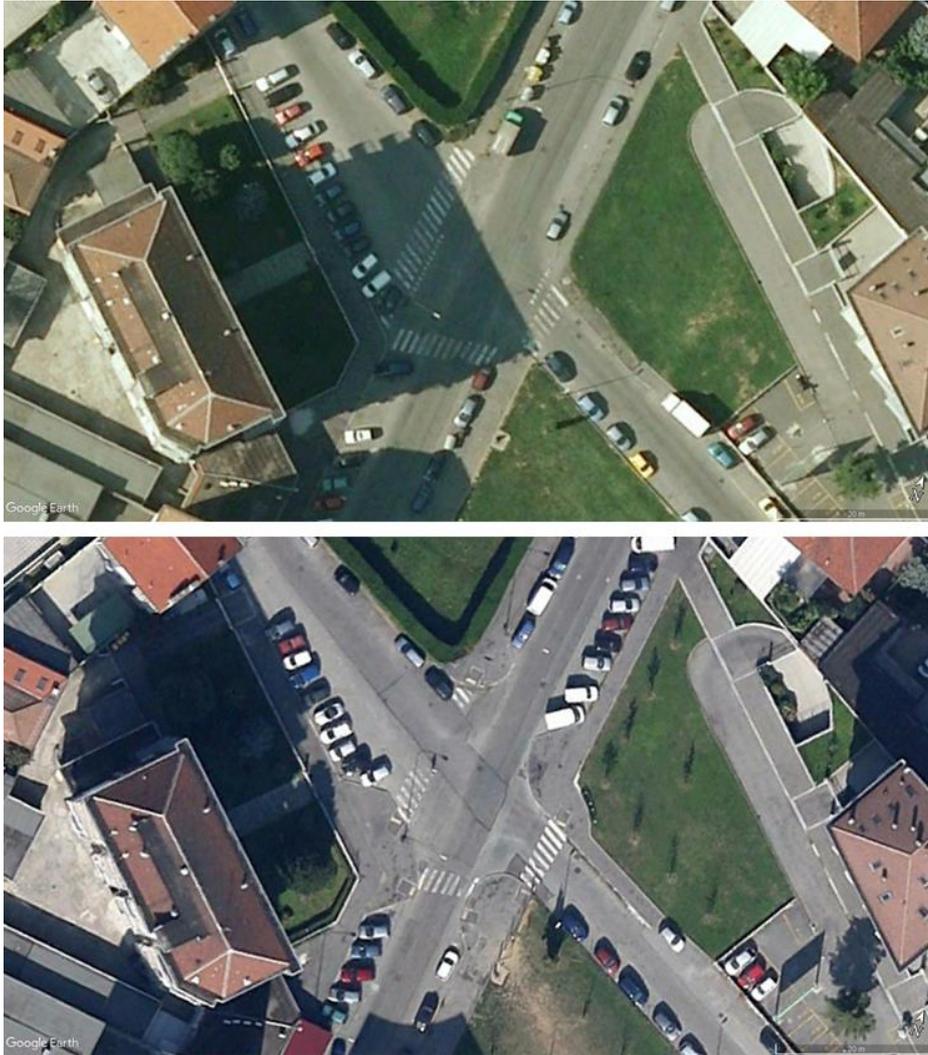
La Fig. 5.27 mostra le immagini satellitari prima e dopo la realizzazione della minirotonda (diametro interno di 19 m).

Essa si contraddistingue rispetto ad altre tipologie di rotonda per le dimensioni contenute sia dell'isola centrale, spesso parzialmente o totalmente sormontabile, sia dell'anello circolatorio, il quale è tale da non permettere l'affiancamento di più veicoli. Questo aspetto risulta di fondamentale rilevanza per la sicurezza di questo tipo di intersezione, in quanto comporta l'azzeramento delle manovre di incrocio, classificate essere le più pericolose.



**Fig. 5.27** – In alto immagine satellitare pre intervento (settembre 2007); in basso immagine satellitare post intervento (settembre 2011).

La Fig. 5.28 riporta le immagini satellitari prima e dopo la modifica dell'intersezione tra corso Cosenza e via Castelgomberto. È possibile notare la presenza, nei quattro angoli, di nasi di protezione i quali, comportando l'arretramento della disposizione dei parcheggi rispetto all'intersezione, e quindi delle ostruzioni visive, garantiscono un incremento dei triangoli di visuale, che comportano una maggiore visibilità sia degli altri veicoli circolanti che dei pedoni intenti all'attraversamento; quest'ultimo inoltre richiede un percorso ridotto rispetto alla condizione precedente. È ben visibile la realizzazione dell'alternanza dei parcheggi nella configurazione a pettine e in linea, al fine di generare una deflessione nella traiettoria che possa indurre l'utenza veicolare a ridurre la propria velocità.



**Fig. 5.28** – In alto immagine satellitare pre intervento (settembre 2007); in basso immagine satellitare post intervento (settembre 2011).

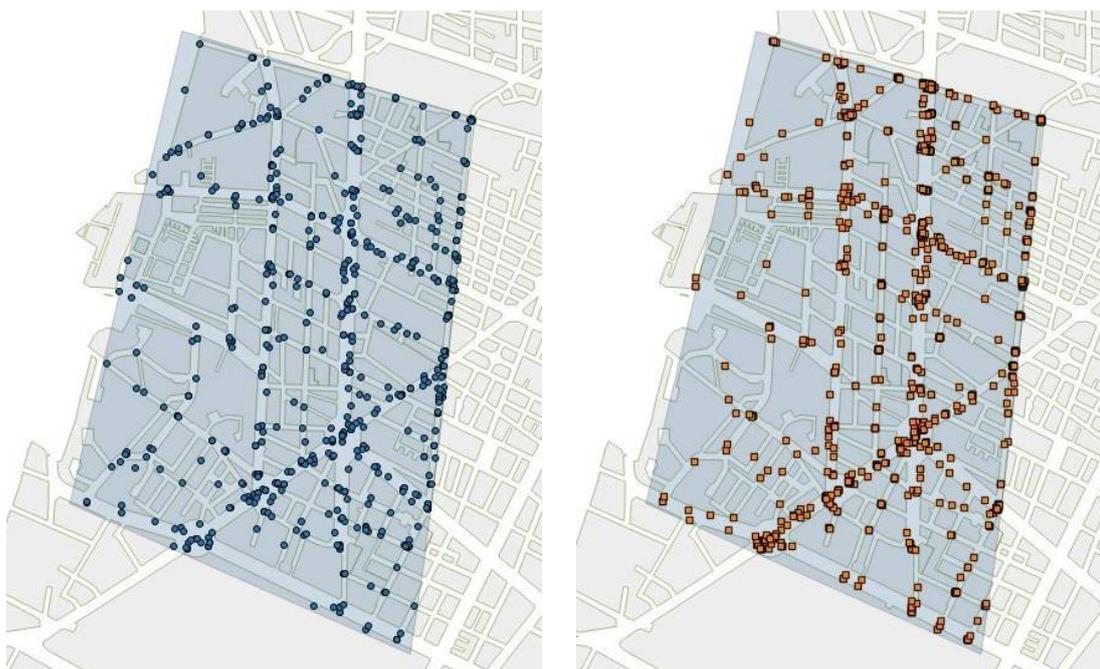
### 5.4.3 Analisi del caso studio

L'analisi ha previsto la determinazione della frequenza incidentale all'interno della zona 30, lungo i corsi perimetrali (corso Sebastopoli, corso Siracusa, corso Orbassano e via Guido Reni), nelle aree limitrofe e la valutazione dei fenomeni di migrazione degli eventi. È stata effettuata una perimetrazione dell'area di interesse cercando di inglobare aree di caratteristiche simili a quelle della zona 30, ossia prettamente residenziali, evitando di contemplare contesti molto diversi, quali zone mercatali e commerciali. Queste considerazioni hanno portato alla selezione dell'area mostrata in Fig. 5.29, delimitata a nord da via Tirreno, a sud da corso Tazzoli, a est da via Gorizia e a ovest dal confine stesso del comune di Torino.



**Fig. 5.29** – Area di Mirafiori Nord: immagine satellitare (a sinistra) e struttura semplificata data dallo shapefile “Carta di sintesi” contenente i livelli di cartografia derivata dalla Carta Tecnica della Città di Torino (a destra). In giallo perimetro della zona 30.

È stata eseguita un’operazione di filtraggio dei soli incidenti ricadenti all’interno della suddetta area, sia per quanto concerne gli eventi che coinvolgono le utenze vulnerabili (“VRU”) sia i sinistri veicolari (“noVRU”). La Fig.5.30 mostra la suddivisione di queste due categorie di incidenti per quanto riguarda il periodo di studio 2006-2016.



**Fig. 5.30** – Incidenti VRU (a sinistra) e incidenti noVRU (a destra); anni 2006-2016.

### 5.4.3.1 Frequenza incidentale

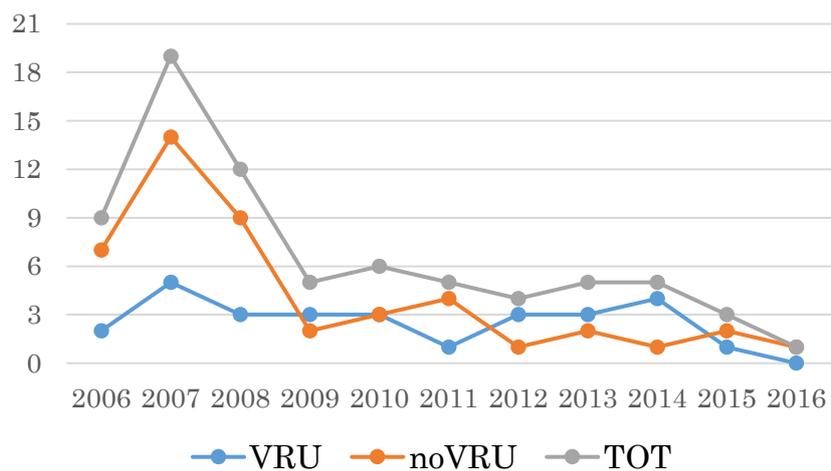
La frequenza incidentale nelle tre aree di interesse (zona 30, corsi perimetrali e zone esterne) è stata determinata per i singoli anni; si è poi valutata l'evoluzione della stessa nel corso dell'intero periodo 2006-2016, al fine di comprendere i cambiamenti occorsi negli anni successivi all'istituzione della zona 30. Come discriminante tra la condizione pre e post interventi, è stato considerato il passaggio tra l'anno 2008 e l'anno 2009, periodo nel quale sono stati eseguiti i principali lavori.

I risultati sono mostrati nei grafici di Fig. 5.31; nelle ascisse sono riportati gli undici anni di riferimento mentre nelle ordinate la frequenza incidentale.

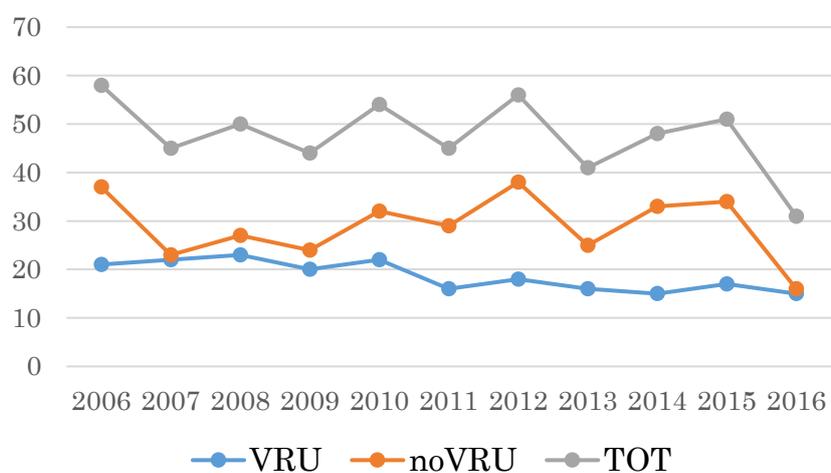
Come è possibile notare, gli effetti degli interventi della zona 30 sulla frequenza incidentale "VRU" non sono molto significativi; si riscontrano infatti le classiche fluttuazioni naturali in tutte e tre le zone considerate, anche se meno marcate per quanto riguarda la zona esterna, la quale mostra un andamento lievemente decrescente.

Relativamente agli incidenti "noVRU", si nota come all'interno della zona 30 sia presente una drastica riduzione degli stessi in corrispondenza dell'anno 2009; tale andamento potrebbe risultare non coerente con la strategia della zona 30, se questa mirasse alla salvaguardia delle sole utenze vulnerabili. In realtà, le modifiche apportate garantiscono un incremento anche e soprattutto della sicurezza delle utenze veicolari, coerentemente con quanto detto nei riguardi degli interventi delle due intersezioni analizzate, comportanti un miglioramento della visibilità ed una riduzione dei punti di conflitto per tutte le categorie di utenti. Lungo i corsi perimetrali si riscontra un andamento caratterizzato dalle naturali fluttuazioni, ma lievemente crescente; questa condizione potrebbe essere interpretata come una migrazione dell'incidentalità veicolare dall'area interna alla zona 30 nei corsi che la perimetrano. Nella zona esterna, invece, si può notare un andamento decrescente nel tempo con un picco nel 2016, trend riscontrato anche a livello nazionale.

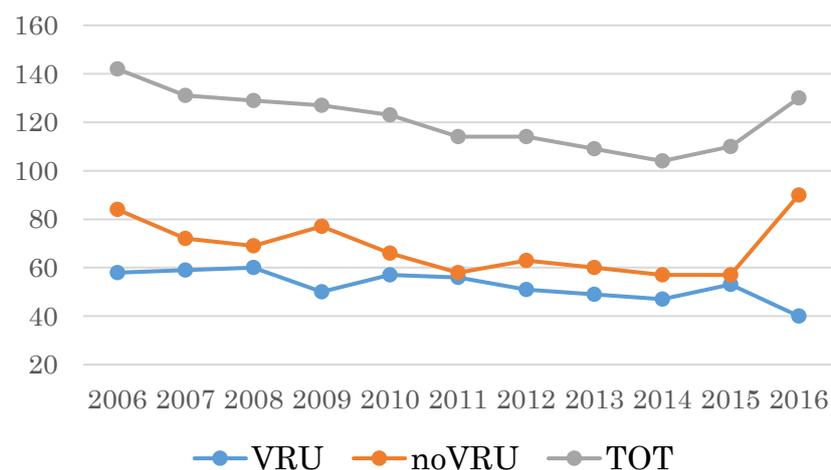
CAPITOLO 5: Caso studio



(a)



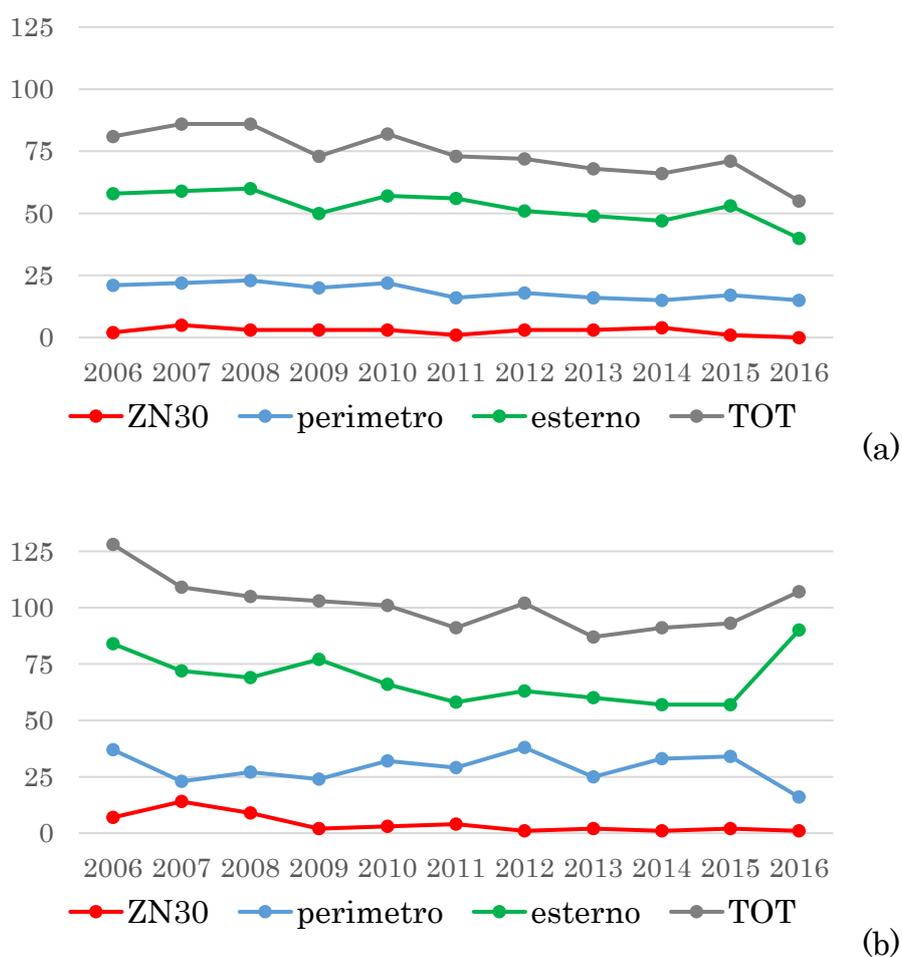
(b)



(c)

**Fig. 5.31** –Andamento della frequenza incidentale nelle 3 aree di interesse: (a) zona 30, (b) corsi perimetrali, (c) zone esterne. Incidenti con almeno un utente vulnerabile (in blu); incidenti veicolari (in arancione) e incidenti totali (in grigio).

Al fine di meglio comprendere i diversi andamenti delle singole zone in riferimento all'intera area oggetto di studio, questi, separati per categoria "VRU" e "noVRU", sono riportati all'interno dello stesso grafico, utilizzando la medesima scala per la frequenza incidentale (Fig. 5.32). Dall'analisi dei due grafici si evince come l'incidentalità della zona 30 sia poco rilevante in rapporto a quella dell'intera area studiata; relativamente ai corsi perimetrali e alla zona esterna si può notare la presenza di un andamento globalmente decrescente, con fluttuazioni più marcate nel caso delle utenze non vulnerabili. L'eccezione è rappresentata dall'incidentalità veicolare lungo i corsi perimetrali, la quale presenta un andamento lievemente crescente, potenzialmente associabile ad una migrazione del problema dalla zona 30. Inoltre, la numerosità degli incidenti veicolari risulta superiore a quella degli eventi coinvolgenti gli utenti vulnerabili, dato già documentato nel capitolo 4, relativo al trattamento dei dati, nel quale gli incidenti "VRU" risultano essere circa il 40% del totale.



**Fig. 5.32** –Andamento della frequenza incidentale nelle 3 aree di interesse; (a) utenze vulnerabili; (b) utenze veicolari.

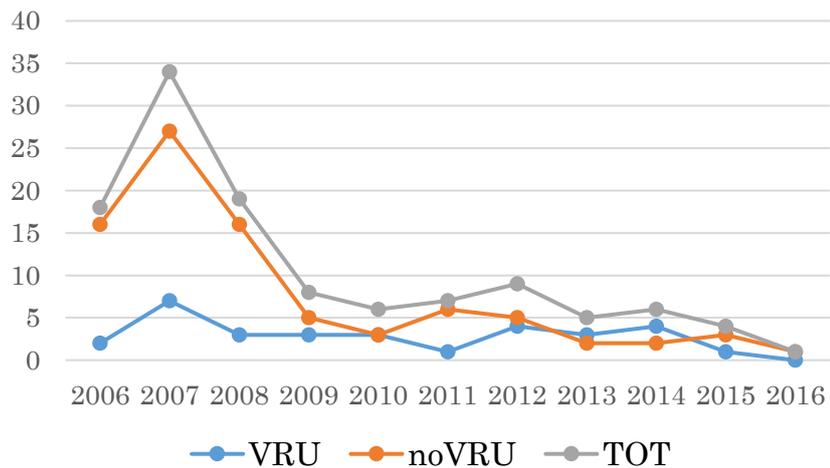
## CAPITOLO 5: Caso studio

Per una più completa valutazione dell'incidentalità dell'area, sono state condotte medesime analisi relativamente all'andamento dei feriti e dei morti associati agli eventi incidentali precedentemente studiati.

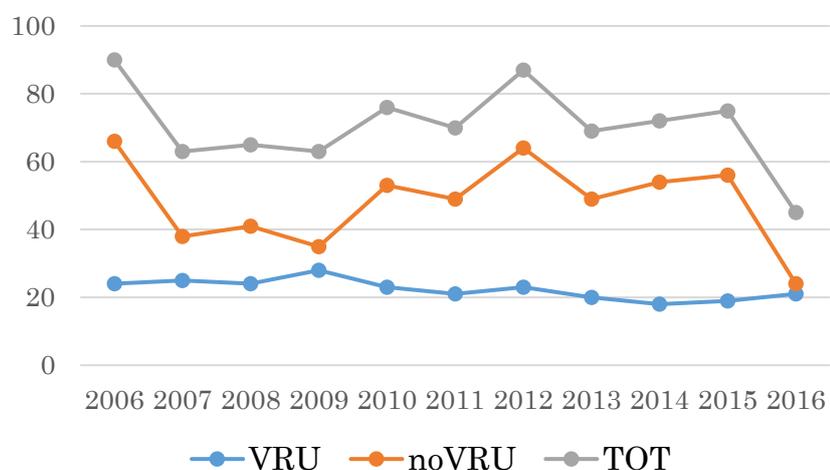
I risultati, riportati in Fig. 5.33, mostrano come l'andamento del numero di feriti negli undici anni sia qualitativamente lo stesso di quello della frequenza incidentale, con fattore amplificativo corrispondente al numero di feriti per incidente. Per le utenze veicolari, lungo i corsi perimetrali e nelle aree esterne, tale fattore è mediamente pari a 1,7; risulta ragionevole considerare un unico valore per questo coefficiente nelle suddette aree, in considerazione della piccola dispersione dei valori di tale rapporto attorno alla media nel corso degli undici anni (deviazioni standard rispettivamente pari a 0,139 e 0,088). La zona 30 è invece contraddistinta da una maggiore variabilità del rapporto feriti/incidente (deviazione standard pari a 1,134); in questo caso viene meno l'unicità del coefficiente amplificativo, che deve essere valutato anno per anno. Relativamente alle utenze vulnerabili, invece, si nota come il rapporto feriti/incidente si mantenga quasi sempre prossimo all'unità; tale considerazione evidenzia ulteriormente la vulnerabilità degli utenti deboli in un evento incidentale. È infatti presumibile che, nell'interazione tra un veicolo ed un soggetto debole, sia quest'ultimo a riportare conseguenze. I valori dei rapporti feriti/incidenti sono mostrati in Tab. 5.5.

Per quanto riguarda la mortalità, nell'intera durata del periodo di osservazione non si è verificato alcun incidente mortale all'interno della zona 30; lungo i corsi perimetrali si sono riscontrate 2 morti, di cui una correlata all'incidentalità VRU, e nell'area esterna 15, con un picco nel 2016 (4 morti), probabilmente correlato all'aumento dell'incidentalità in questo anno. Relativamente alle morti di quest'ultima zona, 11 sono associate ad incidenti classificati come VRU, evidenziando la maggiore severità degli eventi incidentali riguardanti questa specifica categoria di utenti.

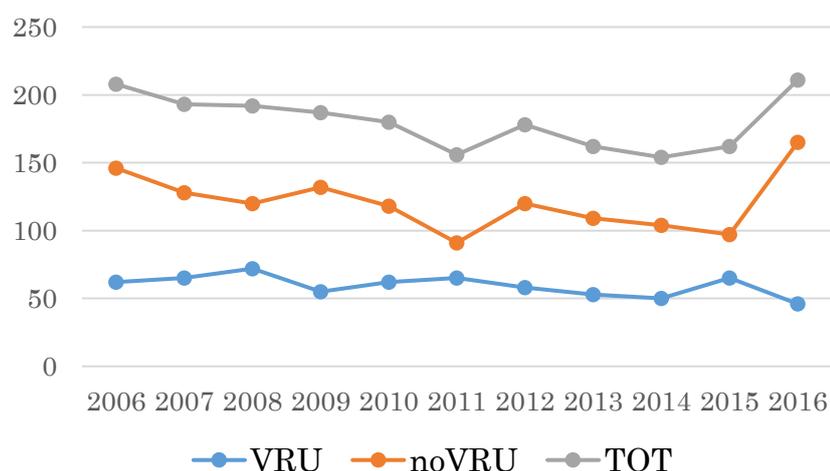
CAPITOLO 5: Caso studio



(a)



(b)



(c)

**Fig. 5.33** –Andamento del numero di feriti nelle 3 aree di interesse: (a) zona 30, (b) corsi perimetrali, (c) zone esterne. Feriti di un incidente con almeno un utente vulnerabile (in blu); feriti di un incidente veicolari (in arancione) e feriti totali (in grigio).

**Tab. 5.5** – Valori del rapporto feriti/incidente per le tre aree considerate. Anni 2006-2016.

anno	Zona 30		Perimetro		Aree esterne	
	VRU	noVRU	VRU	noVRU	VRU	noVRU
2006	1,00	2,29	1,14	1,78	1,07	1,74
2007	1,40	1,93	1,14	1,65	1,10	1,78
2008	1,00	1,78	1,04	1,52	1,20	1,74
2009	1,00	2,50	1,40	1,46	1,10	1,71
2010	1,00	1,00	1,05	1,66	1,09	1,79
2011	1,00	1,50	1,31	1,69	1,16	1,57
2012	1,33	5,00	1,28	1,68	1,14	1,90
2013	1,00	1,00	1,25	1,96	1,08	1,82
2014	1,00	2,00	1,20	1,64	1,06	1,82
2015	1,00	1,50	1,12	1,65	1,23	1,70
2016	-	1,00	1,40	1,50	1,15	1,83
<b>Media</b>	<b>1,07*</b>	<b>1,95</b>	<b>1,21</b>	<b>1,65</b>	<b>1,13</b>	<b>1,76</b>

\*: media valutata escludendo l'anno 2016, in quanto non presente alcun incidente.

#### 5.4.3.2 Individuazione di *cluster*

Una seconda fase di analisi è stata condotta al fine dell'individuazione di *cluster*; a tale proposito si è optato per una suddivisione degli undici anni 2006-2016 differente rispetto a quanto fatto per l'analisi globale dell'intera città. I periodi di studio analizzati sono stati così definiti:

- 2006-2008: unico periodo di studio pre-interventi nella zona 30. Nell'esaminare i risultati relativi a questo periodo sarà necessario tenere in considerazione la bassa affidabilità degli stessi, dovuta alla breve finestra temporale; valutare la frequenza incidentale in un singolo periodo di studio di durata così breve, infatti, comporta il rischio di incorrere in una sottostima o sovrastima della stessa, a causa di una non corretta valutazione del fenomeno di "regressione verso la media" (*Regression To the Mean*);

- gli anni seguenti la realizzazione della zona 30 sono stati invece suddivisi in due periodi di 3 anni (2009-2011, 2012-2014) ed in uno di 2 anni (2015-2016).

Relativamente alla scelta dei parametri, valgono le considerazioni fatte per l'analisi globale: la funzione kernel adottata è la *Quartic*, mentre il valore di *bandwidth* è stato correlato alla lunghezza media degli archi ricadenti all'interno dell'area studiata, coerentemente con quanto specificato nel caso dell'intera città. Quest'ultima operazione ha previsto il ritaglio dello shapefile relativo al grafo stradale della città di Torino ("Tr strad UTM zone 32N") al fine di selezionare le sole strade inerenti alla perimetrazione effettuata; individuati gli archi, è stata eseguita l'analisi della distribuzione delle lunghezze degli stessi. La lunghezza media è risultata essere 134,13 m; si è deciso di adottare un raggio di ricerca di 75 m, poco superiore alla metà della lunghezza media, in modo da permettere mediamente una valutazione delle singole intersezioni.

Dall'analisi visiva delle diverse mappe di calore (da Fig. 5.34 a Fig. 5.37), ottenute seguendo la stessa procedura impiegata per l'analisi su scala globale, risulta evidente come solo nel primo periodo di studio (2006-2008), e solo per le utenze veicolari, sia presente un *cluster* all'interno della zona oggetto di intervento, nello specifico nell'intersezione tra via Castelgomberto e via Boston; nei periodi successivi, corrispondenti alla messa in funzione dell'area come zona 30, le aggregazioni di punti si collocano al di fuori della stessa. Da questa analisi sembrerebbe esserci una migrazione delle criticità dall'area oggetto di intervento alle intersezioni dei principali corsi delle zone limitrofe, soprattutto in quella tra via Tirreno e corso Siracusa; affiancando però a questa valutazione quella dell'andamento della frequenza incidentale, condotta nel paragrafo precedente, si nota che alla riduzione dell'incidentalità della zona 30 non corrisponde un aumento significativo della stessa nelle altre aree. L'unico effetto migratorio sembrerebbe essere verso i corsi perimetrali, caratterizzati da un andamento lievemente crescente dell'incidentalità negli anni successivi al 2009; tuttavia, per dichiarare con certezza la presenza di un fenomeno migratorio, sono necessari studi specifici che prendano in considerazione sia informazioni

sull'andamento dei flussi, sia archi temporali di maggiore estensione. Infatti, i dati disponibili che precedono la realizzazione della zona 30 fanno riferimento al solo triennio 2006-2008; al fine di validare i risultati ottenuti e di meglio comprendere l'effettivo andamento dei fenomeni incidentali, è necessario condurre ulteriori osservazioni estendendo la finestra temporale agli anni precedenti il 2006. Il picco riscontrato all'interno della zona 30 nel primo periodo potrebbe essere dovuto alle naturali fluttuazioni degli eventi incidentali, spiegate dal fenomeno della regressione verso la media; per tale motivo, solo l'estensione dell'osservazione agli anni precedenti consentirebbe di stabilire l'effettiva criticità del punto individuato.



**Fig. 5.34** –Mappe di calore del periodo 2006-2008; a sinistra incidenti “VRU”, a destra incidenti “noVRU”.



**Fig. 5.35** –Mappe di calore del periodo 2009-2011; a sinistra incidenti “VRU”, a destra incidenti “noVRU”.



**Fig. 5.36** –Mappe di calore del periodo 2012-2014; a sinistra incidenti “VRU”, a destra incidenti “noVRU”.



**Fig. 5.37** –Mappe di calore del periodo 2015-2016; a sinistra incidenti “VRU”, a destra incidenti “noVRU”.

## 5.5 Conclusioni

Nel presente capitolo sono state affrontate le diverse analisi di distribuzione spaziale degli incidenti descritte nel capitolo 2, riferite al caso studio della città di Torino. Per una corretta applicazione delle stesse, sono state condotte valutazioni relativamente al più adatto periodo di studio da considerare; la suddivisione dell'intera finestra temporale in 5 intervalli della durata di 2 o 3 anni ha permesso di limitare il numero di falsi positivi e falsi negativi, facilmente individuabili conducendo la ricerca in una scala locale. Per ridurre gli effetti di sovrastima o sottostima della criticità di un sito, legati al fenomeno della “regressione verso la media”, di notevole impatto nell'ambito dell'incidentalità stradale, si è deciso di definire la pericolosità di un sito sulla base di un'osservazione continua nei diversi periodi di studio, identificando come critici solo i punti nei quali si è riscontrata un'elevata frequenza incidentale nel corso di tutti i diversi intervalli temporali. La presenza di una zona 30 nella zona di Mirafiori Nord ha portato ad un'analisi specifica della stessa, data l'importanza di tale strategia di intervento nei riguardi della messa in sicurezza delle utenze vulnerabili. L'osservazione dell'incidentalità all'interno di questa zona ha messo in evidenza come si abbiano effetti benefici pure per le utenze veicolari, a seguito della riduzione delle velocità, che determina minori distanze di arresto e campi di visuale di maggiore estensione.



# CONCLUSIONI

---

Il lavoro di tesi tratta dell'analisi geospaziale dell'incidentalità urbana, con particolare riferimento a quella delle utenze vulnerabili. Gli esiti della metodologia sono di interesse per promuovere azioni di messa in sicurezza delle infrastrutture per favorire politiche di mobilità sostenibile nel contesto urbano. Per pedoni e ciclisti, oltre che per i motociclisti, è essenziale disporre di infrastrutture sicure entro cui muoversi. Una maggiore sicurezza intrinseca dei percorsi pedonali e ciclabili è la premessa per favorire la crescita di una mobilità dolce, a ridotto impatto ambientale. Come dimostrano i dati e le analisi condotte in questa tesi, gli incidenti che coinvolgono almeno un utente debole rappresentano circa il 40% del totale registrato, porzione significativamente troppo elevata dell'incidentalità totale. In più, i dati sembrano evidenziare un incremento di questa percentuale negli ultimi anni. È quindi naturale addivenire alla conclusione che per incentivare gli spostamenti di pedoni e ciclisti sia necessario, per la città di Torino, invertire il trend incidentale e garantire maggiori livelli di sicurezza a questa componente della mobilità complessiva. Per capire dove intervenire è necessario partire da un'analisi spaziale, finalizzata all'individuazione dei punti più pericolosi della rete.

Nel presente lavoro l'analisi è stata condotta al caso studio di Torino, città che, proprio per la conformazione del suo territorio fondamentalmente pianeggiante, è strutturalmente più pronta ad accogliere interventi volti alla crescita della mobilità dolce.

A seguito dello studio bibliografico, volto alla definizione delle metodologie di analisi da adottare, è stata condotta la fase di acquisizione e trattamento dati, eseguita ricorrendo al database incidentale fornito dall'ISTAT (anni 2006-2016), finalizzata all'estrapolazione dei soli incidenti che hanno coinvolto almeno un utente debole.

## CONCLUSIONI

La particolare conformazione della rete infrastrutturale della città di Torino, caratterizzata prevalentemente da una fitta e regolare maglia, ha portato all'individuazione della stima Kernel di densità come metodologia adatta ai fini del presente lavoro. È stata inoltre condotta un'analisi di sensitività finalizzata alla scelta dei valori dei parametri tali da evidenziare i picchi di incidentalità nelle singole intersezioni. L'individuazione dei punti critici ha richiesto un'attenta valutazione del periodo di studio da considerare, necessaria per escludere casi di falsi positivi e falsi negativi, o per evitare la sottostima o la sovrastima delle frequenze incidentali dovute ad una non corretta valutazione del fenomeno di "regressione verso la media". La metodologia Kernel è stata applicata su diverse scale dimensionali, al fine di studiare i fenomeni associati ad esse. La presenza dei falsi positivi e falsi negativi è riscontrabile confrontando mappe di calore relative ad eventi di anni diversi su una scala locale, in quanto a livello globale un'immediata identificazione di tali siti risulterebbe molto complicata. L'individuazione dei punti più pericolosi per le sole utenze vulnerabili può invece essere condotta alla scala globale. È stata condotta infine un'analisi specifica nel quartiere di Mirafiori Nord, che a cavallo del 2008 e 2009 è stato oggetto di un intervento generalizzato di riqualificazione urbana, con l'istituzione della zona 30 nell'area di via Castalgomberto; l'analisi ha avuto l'obiettivo di valutare gli effetti di tali azioni sull'incidentalità.

I risultati ottenuti evidenziano come le maggiori criticità per le utenze vulnerabili si concentrino nelle intersezioni dei corsi principali della città, punti nei quali si riscontra la maggiore conflittualità tra questa categoria di utenza e quella veicolare. Nello specifico, i principali *cluster* incidentali sono collocati lungo la prima circonvallazione interna della città, costituita dai corsi Siracusa, Trapani e Lecce e lungo l'asse radiale di corso Vittorio Emanuele II. Le ragioni di tali criticità sono riconducibili all'intensità dei flussi e alla numerosità dei conflitti; si tratta di strade con viali e controviali, con il viale a due o tre corsie a seconda dei tratti. Sono sezioni che rendono numerose le intersezioni tra utenti di diverse caratteristiche, con differenze di velocità significative. La geometria della sezione determina anche un maggior livello di esposizione delle utenze vulnerabili nelle zone di attraversamento della sede, per i maggiori tempi

## CONCLUSIONI

richiesti. Le specifiche contromisure che dovrebbero consentire di ridurre la frequenza incidentale nei punti specifici evidenziati in questo studio si potranno definire solo attraverso l'analisi locale. La letteratura tecnico-scientifica di settore mette a disposizione numerose metodologie e approcci per l'osservazione dei fenomeni e la definizione degli interventi strutturali di messa in sicurezza. Il presente lavoro, infatti, è parte di un'analisi più complessa che richiede, al termine, un monitoraggio puntuale dei siti, finalizzato all'identificazioni delle effettive cause delle concentrazioni incidentali che caratterizzano gli stessi. Sarà poi attraverso interventi specifici volti alla canalizzazione ordinata delle correnti veicolari (con il riordino delle manovre di svolta), alla protezione fisica delle utenze vulnerabili (con adeguate isole di protezione lungo gli attraversamenti), e ad altri interventi strutturali che si potrà addivenire a una significativa riduzione dell'incidentalità.

Relativamente alla zona 30 di Mirafiori Nord, i risultati hanno evidenziato come tale strategia non comporti esclusivamente un miglioramento della sicurezza per le utenze vulnerabili, ma produca anche benefici per le utenze veicolari. È stata riscontrata infatti una riduzione dell'incidentalità all'interno dell'area oggetto di intervento, con un'apparente migrazione dei fenomeni incidentali nelle intersezioni dei principali corsi limitrofi, fenomeno corroborato in parte dai dati sulla frequenza incidentale. Infatti, sembrerebbe esserci un effetto migratorio verso i corsi perimetrali, caratterizzati da un andamento dell'incidentalità lievemente crescente negli anni successivi al 2009, anno di inizio della funzionalità dell'area come zona 30; tuttavia, per dichiarare con certezza la presenza di un fenomeno migratorio, sono necessari studi specifici che prendano in considerazione sia informazioni sull'andamento dei flussi di traffico, sia archi temporali di maggiore durata. Infatti, i dati disponibili che precedono l'istituzione della zona 30 fanno riferimento al solo triennio 2006-2008; al fine di validare i risultati ottenuti e di meglio comprendere l'effettivo andamento degli eventi incidentali, evitando un'errata valutazione del fenomeno di regressione verso la media, si suggerisce di condurre ulteriori osservazioni estendendo la finestra temporale agli anni precedenti il 2006.

## CONCLUSIONI

La metodologia di analisi spaziale ha consentito di evidenziare la correlazione tra incidenti e struttura della rete. Per l'attuazione di politiche efficaci di contrasto all'incidentalità è dunque fondamentale collegare gli esiti di tali analisi alle successive scelte che dalla scala urbanistica portano a specifiche azioni e interventi alla scala locale. Le analisi spaziali offrono l'opportunità di fornire l'ordine delle priorità al gestore; l'analisi locale e lo studio degli interventi con le necessarie contromisure possono così essere indirizzati in modo specifico certi di poter trarre importanti risultati in termini di sicurezza.

# BIBLIOGRAFIA

---

## Introduzione

Elvik, R. (2008). A survey of operational definitions of hazardous road locations in some European countries. *Accident Analysis & Prevention*, 40(6), 1830-1835.

Jayan, D. K., & Ganeshkumar, B. (2010). Identification of accident hot spots: a GIS based implementation for Kannur District, Kerala. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, 1(1), 51.

Mohaymany, A. S., Shahri, M., & Mirbagheri, B. (2013). GIS-based method for detecting high-crash-risk road segments using network kernel density estimation. *Geo-spatial Information Science*, 16(2), 113-119.

World Health Organization. (2015). *Global status report on road safety 2015*. World Health Organization.

World Road Association, Technical Committee 3.2. "Design and Operation of Safer Road Infrastructure" (2017): VULNERABLE ROAD USERS - DIAGNOSIS OF DESIGN AND OPERATIONAL SAFETY PROBLEMS AND POTENTIAL COUNTERMEASURES.

Association for Safe International Road Travel:  
<http://asirt.org/Initiatives/Informing-Road-Users/Road-Safety-Facts/Road-Crash-Statistics>, 2015

## Capitolo 1

Amatulli, G., Lovreglio, R., & Leone, V. (2005). Analisi geo-statistiche per la valutazione della distribuzione degli incendi nello spazio rurale: Applicazione dell'adaptive kernel density estimation al territorio del parco nazionale del Gargano. *It. For. Mont*, 1, 85-97.

## CONCLUSIONI

Anselin, L., Cohen, J., Cook, D., Gorr, W., & Tita, G. (2000). Spatial analyses of crime. *Criminal justice*, 4(2), 213-262.

Aronoff, S. (1989). *Geographic information systems: a management perspective*.

Black, W. R. (1991). Highway accidents: a spatial and temporal analysis. *Transportation Research Record*, 1318, 75-82.

Borruso, G. (2008). Network density estimation: a GIS approach for analysing point patterns in a network space. *Transactions in GIS*, 12(3), 377-402.

Gladwell, M. (2001). Wrong Turn. *The New Yorker*, 11.

Newaz, K. M. S., Hasanat-E-Rabbi, S., & Miaji, S. (2017, August). Spatio-temporal study of road traffic crash on a national highway of Bangladesh. In *Transportation Information and Safety (ICTIS), 2017 4th International Conference on* (pp. 60-66). IEEE.

Porta, S., Strano, E., Iacoviello, V., Messori, R., Latora, V., Cardillo, A., Wang, F., & Scellato, S. (2009). Street centrality and densities of retail and services in Bologna, Italy. *Environment and Planning B: Planning and design*, 36(3), 450-465.

Produit T., Lachance-B. N., Strano E., Porta S., e Joost S. (2010, March). A network based kernel density estimator applied to Barcelona economic activities. In *International conference on computational science and its applications* (pp. 32-45). Springer, Berlin, Heidelberg.

Steenberghen, T., Dufays, T., Thomas, I., & Flahaut, B. (2004). Intra-urban location and clustering of road accidents using GIS: a Belgian example. *International Journal of Geographical Information Science*, 18(2), 169-181.

Ummarino, A. (2013). Una introduzione ai software per il crime mapping. *Rivista di Criminologia, Vittimologia e Sicurezza*, 7(1), 147-159.

Whitelegg, J. (1987). A geography of road traffic accidents. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 161-176.

## CONCLUSIONI

### Capitolo 2

Fotheringham, A. S., Brunson, C., & Charlton, M. (2000). *Quantitative geography: perspectives on spatial data analysis*. Sage.

Funk C. (2011): *Overview of Statistical Analysis of Spatial Data*. Geog 210C - Empirical Variograms.

Gimond M. (2017): *Intro to GIS and Spatial Analysis*.

Loo, B. P., & Anderson, T. K. (2015). *Spatial Analysis Methods of Road Traffic Collisions*. CRC Press.

Nicholson, A. (1998). Analysis of spatial distributions of accidents. *Safety science*, 31(1), 71-91.

Scheid, S. (2004). Introduction to kernel smoothing. Talk, January.

University of Florida Geomatics Program at the Fort Lauderdale Research & Education Center (2016): *Point Pattern Analysis Part 3*

### Capitolo 3

Bailey, T. C., & Gatrell, A. C. (1995). *Interactive spatial data analysis* (Vol. 413). Essex: Longman Scientific & Technical.

Baum C. (2013): *Nonparametric density estimation*. Boston College.

Deacon, J. A., Zegeer, C. V., & Deen, R. C. (1974). Identification of hazardous rural highway locations.

Elvik, R. (2007). State-of-the-art approaches to road accident black spot management and safety analysis of road networks. *Transportøkonomisk institutt*.

Flahaut, B., Mouchart, M., San Martin, E., & Thomas, I. (2003). The local spatial autocorrelation and the kernel method for identifying black zones: A comparative approach. *Accident Analysis & Prevention*, 35(6), 991-1004.

## CONCLUSIONI

Gutierrez-Osuna, R. (2004). Kernel density estimation. URL research. cs. tamu. edu/prism/lectures/pr/pr\_17. pdf.

Hakkert, A. S., & Mahalel, D. (1978). Estimating the number of accidents at intersections from a knowledge of the traffic flows on the approaches. *Accident Analysis & Prevention*, 10(1), 69-79.

Loo, B. P., & Anderson, T. K. (2015). *Spatial Analysis Methods of Road Traffic Collisions*. CRC Press.

Mohaymany, A. S., Shahri, M., & Mirbagheri, B. (2013). GIS-based method for detecting high-crash-risk road segments using network kernel density estimation. *Geo-spatial Information Science*, 16(2), 113-119.

Nicholson, A. (1998). Analysis of spatial distributions of accidents. *Safety science*, 31(1), 71-91.

O'Sullivan, D., & Wong, D. W. (2007). A surface-based approach to measuring spatial segregation. *Geographical Analysis*, 39(2), 147-168.

Okabe, A., Satoh, T., & Sugihara, K. (2009). A kernel density estimation method for networks, its computational method and a GIS-based tool. *International Journal of Geographical Information Science*, 23(1), 7-32.

Porta, S., Strano, E., Iacoviello, V., Messori, R., Latora, V., Cardillo, A., ... & Scellato, S. (2009). Street centrality and densities of retail and services in Bologna, Italy. *Environment and Planning B: Planning and design*, 36(3), 450-465.

Scheid, S. (2004). Introduction to kernel smoothing. Talk, January.

Scrucca, L. (2003). Note sul linguaggio ed ambiente statistico.

Silverman, BW, Läuter, H. (1988): *Density Estimation for Statistics and Data Analysis*. Chapman & Hall, London–New York 1986, 175 pp.,£ 12.—. *Biometrical Journal*, 30(7), 876-877.

Statens vegvesen. Håndbok 115 (2006): *Analyse av ulykkessteder*. Draft dated October 19, Vegdirektoratet, Oslo, Norway.

## CONCLUSIONI

Steenberghen, T., Aerts, K., & Thomas, I. (2010). Spatial clustering of events on a network. *Journal of Transport Geography*, 18(3), 411-418.

Ummarino, A. (2013). Una introduzione ai software per il crime mapping. *Rivista di Criminologia, Vittimologia e Sicurezza*, 7(1), 147-159.

Yu, H., Liu, P., Chen, J., & Wang, H. (2014). Comparative analysis of the spatial analysis methods for hotspot identification. *Accident Analysis & Prevention*, 66, 80-88.

Xie, Z., & Yan, J. (2008). Kernel density estimation of traffic accidents in a network space. *Computers, environment and urban systems*, 32(5), 396-406.

## Capitolo 4

ACI (2013): Analisi sull'incidentalità degli Utenti Deboli della strada – Anno 2013.

ACI-ISTAT (2017): INCIDENTI STRADALI, anno 2016.

Gazzetta ufficiale dell'Unione europea (6.8.2010): DIRETTIVA 2010/40/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 7 luglio 2010 sul quadro generale per la diffusione dei sistemi di trasporto intelligenti nel settore del trasporto stradale e nelle interfacce con altri modi di trasporto.

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (2017): PROGRAMMAZIONE STRATEGICA 2017 OBIETTIVO OPERATIVO: Statistiche sull'Incidentalità nei Trasporti Stradali, anche con riferimento alla tipologia di strada - INCIDENTALITÀ STRADALE UTENTI VULNERABILI (pedoni, utenti su velocipede, ciclomotore, motociclo con e senza passeggero).

World Road Association, Technical Committee 3.2. "Design and Operation of Safer Road Infrastructure" (2017): VULNERABLE ROAD USERS - DIAGNOSIS OF DESIGN AND OPERATIONAL SAFETY PROBLEMS AND POTENTIAL COUNTERMEASURES.

## CONCLUSIONI

Zegeer, C., Hunter, W., Staplin, L., Bents, F., Huey, R., & Barlow, J. (2010). White Papers for 'Toward Zero Deaths', A National Strategy on Highway Safety: 5. Safer Vulnerable Road Users: Pedestrians, Bicyclists, Motorcyclists, and Older Users. Washington, DC.

GPS Visualizer's Address Locator: <http://www.gpsvisualizer.com/geocoder/>

World Health Organization: <http://www.who.int/news-room/factsheets/detail/road-traffic-injuries>, 2018

### Capitolo 5

Cheng, W., & Washington, S. P. (2005). Experimental evaluation of hotspot identification methods. *Accident Analysis & Prevention*, 37(5), 870-881.

Colombrita, R., Donnini, C., Leonardi, S. (2005). Collisioni veicoli-pedoni: dinamiche e parametri di riferimento. *Riv. Le Strade*. N° 4

Deacon, J. A., Zegeer, C. V., & Deen, R. C. (1975). Identification of Hazardous Rural Highway Locations, Record 543. *Transportation Research*.

Elvik, R. (2008). A survey of operational definitions of hazardous road locations in some European countries. *Accident Analysis & Prevention*, 40(6), 1830-1835.

May, J. (1964). A Determination of an Accident Prone Location. *Traffic engineering*.

Mohaymany, A. S., Shahri, M., & Mirbagheri, B. (2013). GIS-based method for detecting high-crash-risk road segments using network kernel density estimation. *Geo-spatial Information Science*, 16(2), 113-119.

Mueller, B. A., Rivara, F. P., & Bergman, A. B. (1988). Urban-rural location and the risk of dying in a pedestrian-vehicle collision. *The Journal of trauma*, 28(1), 91-94.

## CONCLUSIONI

National Research Council (US). Transportation Research Board. Task Force on Development of the Highway Safety Manual, & Transportation Officials. Joint Task Force on the Highway Safety Manual. (2010). Highway safety manual (Vol. 1). AASHTO.

Piemonte, R. (2005). La strategia delle "zone 30". Sicurezza, multifunzionalità e qualità ambientale delle strade urbane, Franco Angeli, Milano.

Dati statistici circoscrizioni Torino:

<http://www.comune.torino.it/statistica/dati/demog.htm>

Geoportale Regione Piemonte: <http://www.geoportale.piemonte.it/cms/>

Informazioni Zona 30 Via Castelgomberto:

<http://www.comune.torino.it/torinoinstrada/zone30/zone30.pdf>

Principali interventi infrastrutturali:

<http://www.comune.torino.it/trasporti/infrastrutture/opere01-11/opere-pubbliche.shtml>

Statistiche demografiche ISTAT:

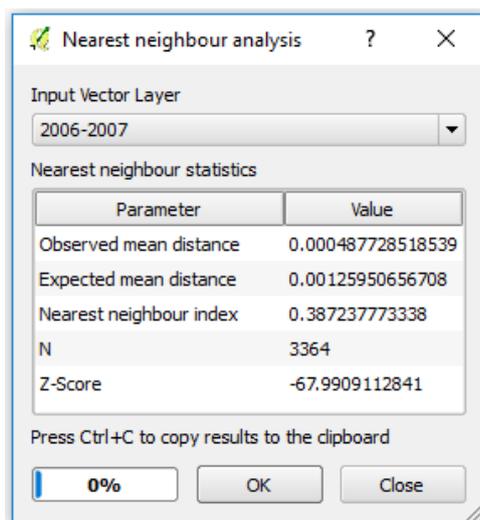
<http://demo.istat.it/bilmens2018gen/index.html>, 2018



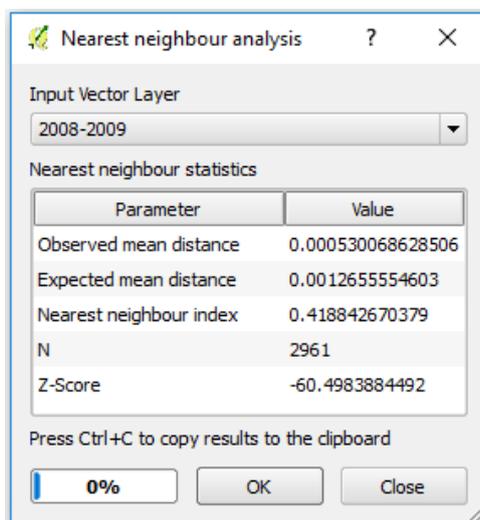
# ALLEGATO I

---

In questa sezione sono riportate le schermate output dello strumento “Nearest Neighbor Analysis” di QGIS, relative ai cinque periodi considerati nello studio.

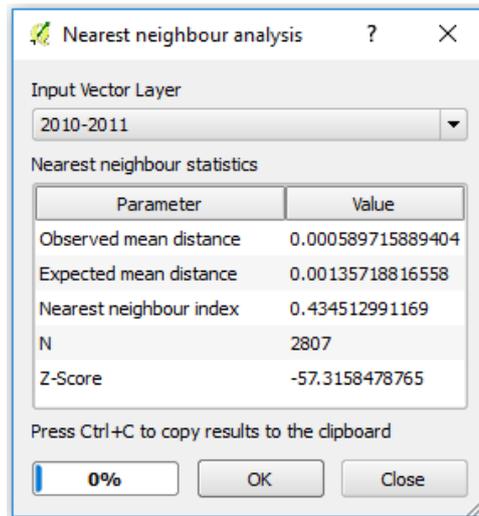


Schermata output del comando “Nearest Neighbor Analysis” relativa al periodo di studio 2006-2007.

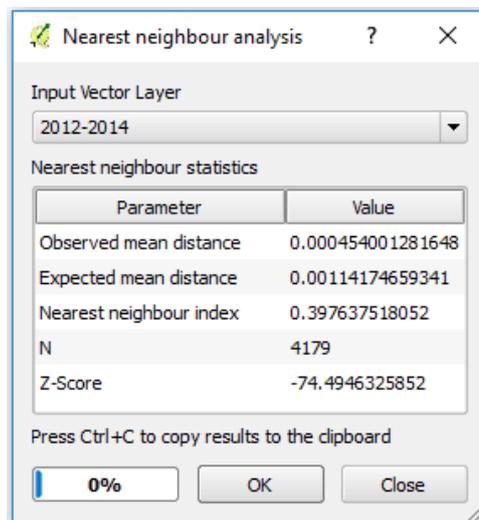


Schermata output del comando “Nearest Neighbor Analysis” relativa al periodo di studio 2008-2009.

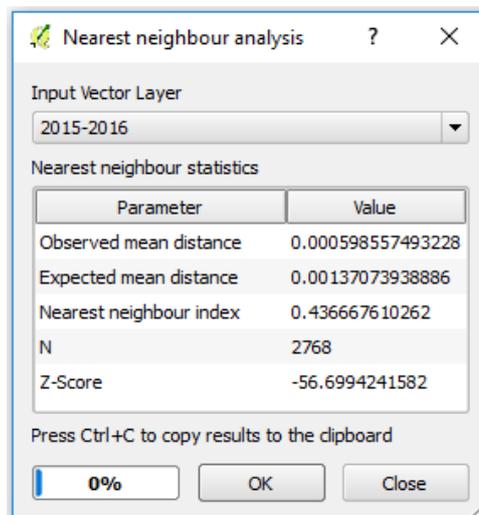
## ALLEGATO I



Schermata output del comando “Nearest Neighbor Analysis” relativa al periodo di studio 2010-2011.



Schermata output del comando “Nearest Neighbor Analysis” relativa al periodo di studio 2012-2014.



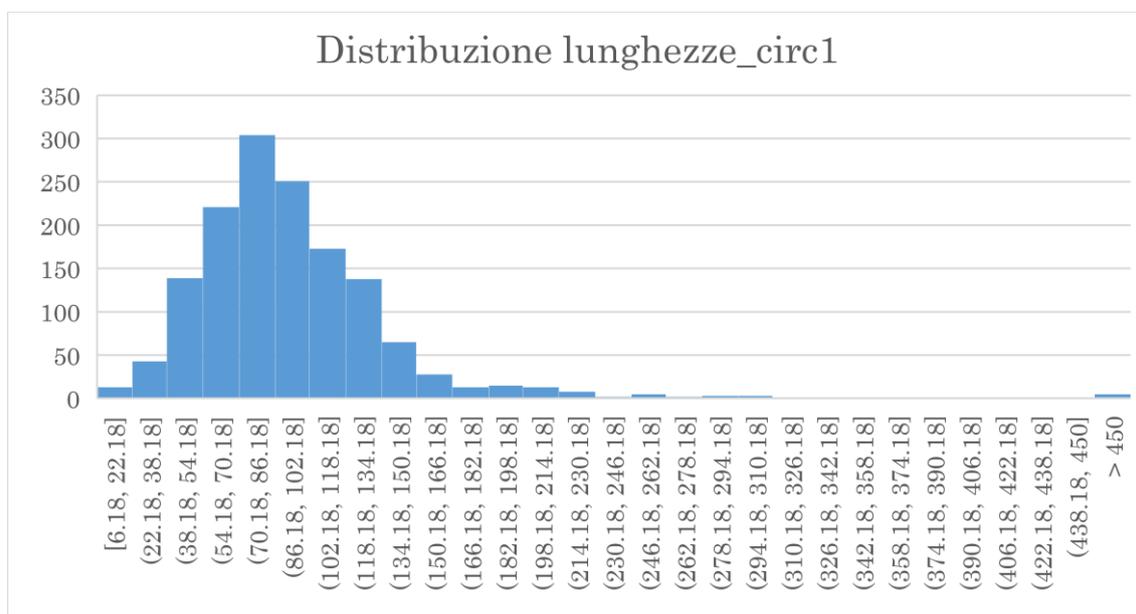
Schermata output del comando “Nearest Neighbor Analysis” relativa al periodo di studio 2015-2016.

# ALLEGATO II

In questa sezione sono riportate le analisi sulla distribuzione delle lunghezze degli archi delle singole circoscrizioni.

## CIRCOSCRIZIONE 1

La circoscrizione 1 comprende la zona del centro e il quartiere Crocetta, per un'estensione di 7,006 km<sup>2</sup> ed una popolazione di 79.053 abitanti. La rete stradale si sviluppa per 135.772 m; la distribuzione della lunghezza degli archi è la seguente:



Distribuzione delle lunghezze degli archi relativi alla circoscrizione 1.

Principali indici statistici.

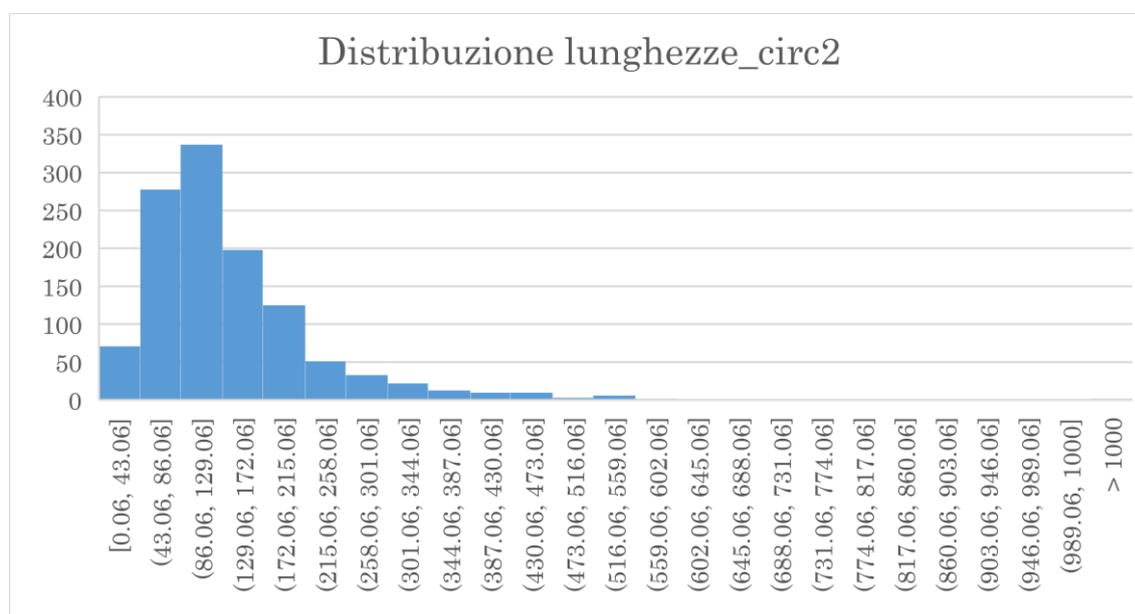
<b>indice</b>	<b>valore</b>
media	<u>93,96 m</u>
dev.st.	50,11
min	6,18 m
max	889,82 m
mediana	86,29 m
moda	62,72 m
totale	135772,19 m

## ALLEGATO II

Questi risultati confermano quanto riscontrabile da una semplice valutazione visiva della maglia stradale della circoscrizione, che risulta essere molto fitta e quindi caratterizzata da archi di lunghezza modesta.

### CIRCOSCRIZIONE 2

La circoscrizione 2 racchiude i quartieri Santa Rita, Mirafiori Nord e Mirafiori Sud; si estende per 18,818 km<sup>2</sup> e presenta una popolazione di 137.671 abitanti. La lunghezza complessiva della rete stradale è di 164.686 m e la distribuzione delle lunghezze degli archi è la seguente:



Distribuzione delle lunghezze degli archi relativi alla circoscrizione 2.

Principali indici statistici.

<b>indice</b>	<b>valore</b>
media	<u>141,36 m</u>
dev.st.	128,68
min	0,06 m
max	2384,62 m
mediana	114,45 m
moda	116,65 m
totale	164686,75 m

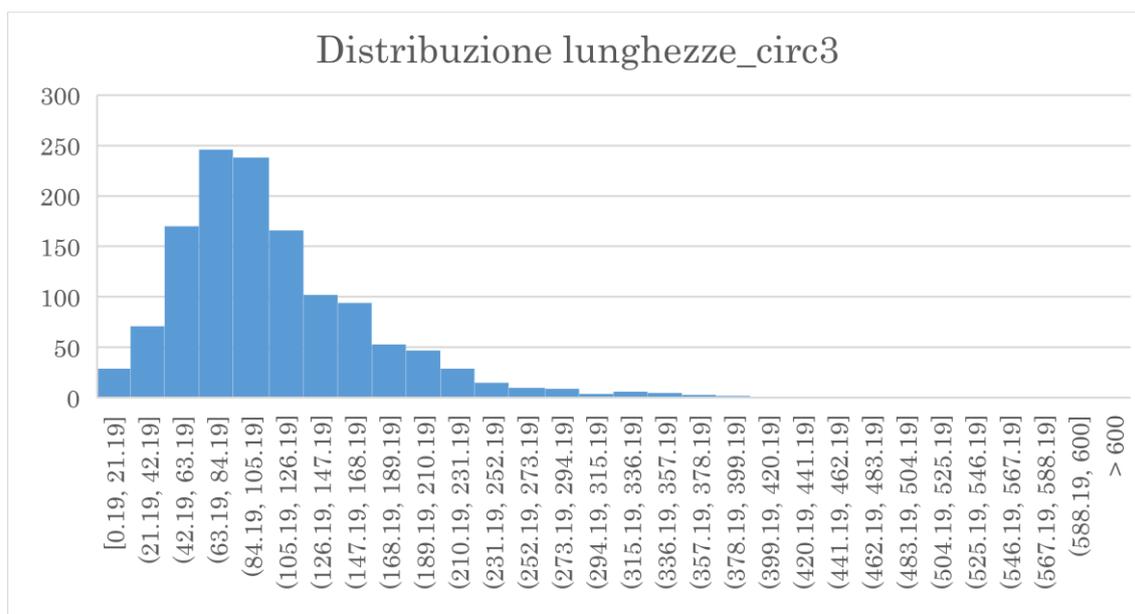
Si può notare come la lunghezza media sia aumentata significativamente, a riprova di una rete che si dirada nelle zone periferiche. Sono presenti valori

## ALLEGATO II

molto bassi di lunghezza, con un minimo di 0,06 m, rappresentativi di accessi, contemplati comunque nello shapefile della rete stradale, o di porzioni iniziali di strade che proseguono nei comuni limitrofi; si è deciso di considerare nell'analisi pure questi tratti in quanto poco influenti nella determinazione del valor medio finale.

### CIRCOSCRIZIONE 3

La circoscrizione 3 comprende i quartieri di San Paolo, Cenisia, Pozzo Strada, Cit Turin e di Borgata Lesna; presenta una superficie di 8,623 km<sup>2</sup> ed una popolazione di 126.298 abitanti. La lunghezza complessiva degli archi è di 143517,11 m; la distribuzione delle lunghezze degli archi è la seguente:



Distribuzione delle lunghezze degli archi relativi alla circoscrizione 3.

Principali indici statistici.

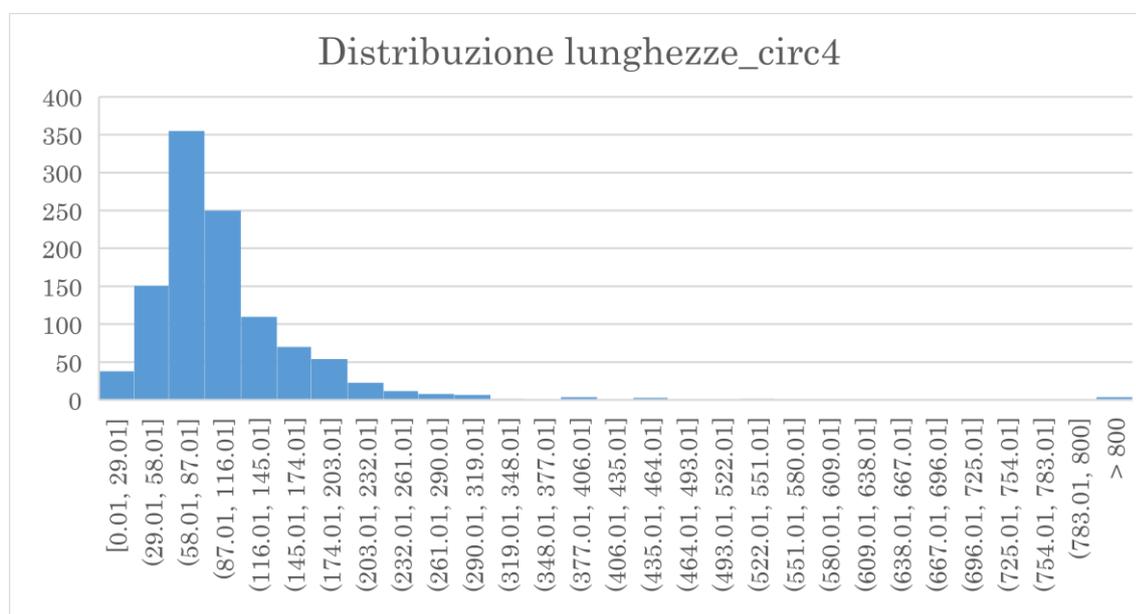
<b>indice</b>	<b>valore</b>
<u>media</u>	<u>110,06 m</u>
dev.st.	66,71
min	0,19 m
max	871,86 m
mediana	95,97 m
moda	158,22 m
totale	143517,11 m

## ALLEGATO II

Anche in questo caso si riscontra una lunghezza media superiore a quella della zona centrale, testimoniando un diradamento della maglia, anche se meno evidente del caso della circoscrizione 2.

### CIRCOSCRIZIONE 4

La circoscrizione 4 include i quartieri San Donato, Campidoglio e Parella; la superficie è di 9,183 km<sup>2</sup> e la popolazione è di 97.519 abitanti. La rete stradale si sviluppa per 117.133,36 m; la distribuzione delle lunghezze degli archi è la seguente:



Distribuzione delle lunghezze degli archi relativi alla circoscrizione 4.

Principali indici statistici.

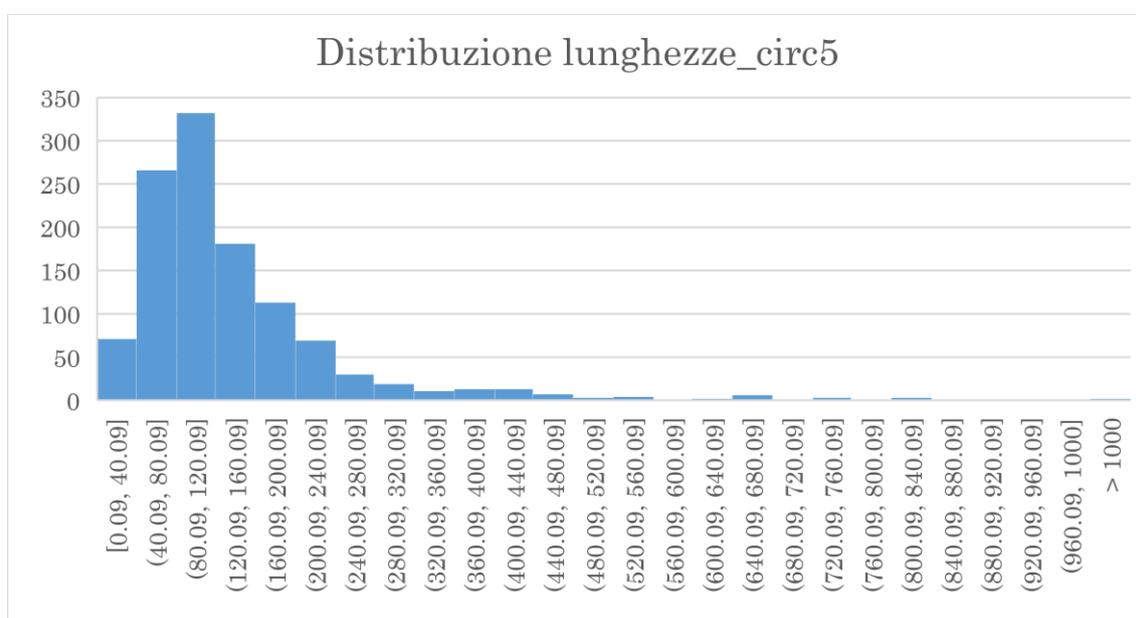
<b>indice</b>	<b>valore</b>
media	<u>106,68 m</u>
dev.st.	84,54
min	0,01 m
max	1.008,34 m
mediana	87,75 m
moda	91,43 m
totale	117.133,36 m

## ALLEGATO II

Questa circoscrizione presenta una maglia più prossima a quella del centro città, così come nel caso della circoscrizione 3; infatti la lunghezza media degli archi è ridotta rispetto al caso di altre zone periferiche.

### CIRCOSCRIZIONE 5

La circoscrizione 5 ingloba i quartieri di Borgo Vittoria, Madonna di Campagna, Lucento e Vallette; si estende per 15,583 km<sup>2</sup> e presenta una popolazione di 124.341 abitanti. La rete stradale si sviluppa per 161.482,14 m; la distribuzione delle lunghezze degli archi è la seguente:



Distribuzione delle lunghezze degli archi relativi alla circoscrizione 5.

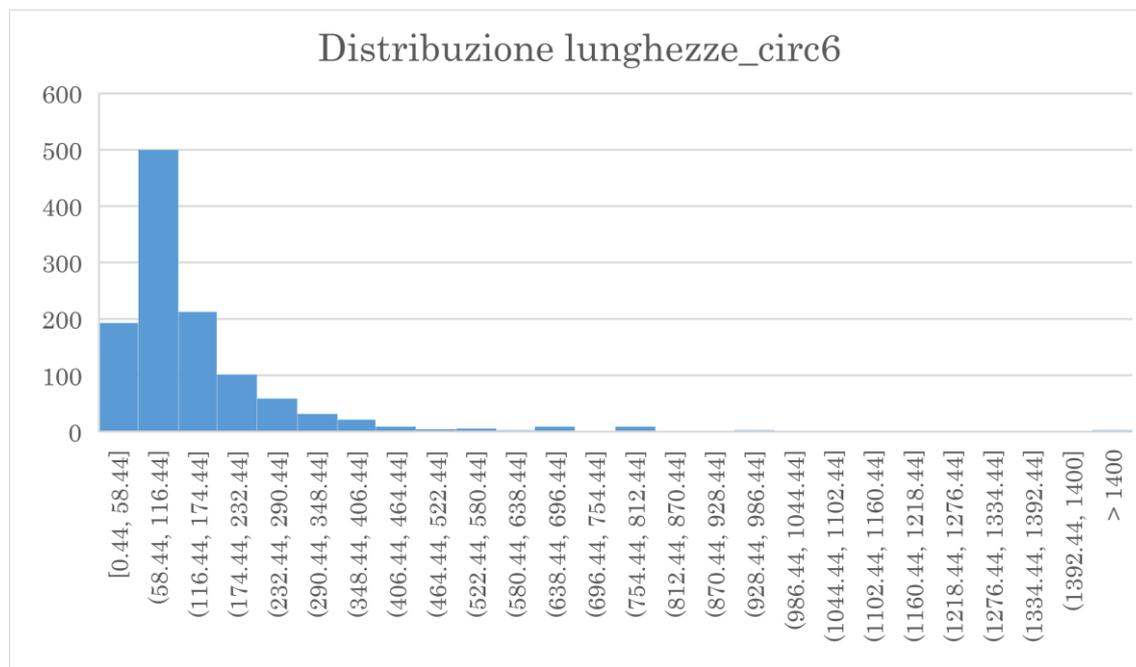
Principali indici statistici.

<b>indice</b>	<b>valore</b>
media	<u>140,30 m</u>
dev.st.	120,93
min	0,09 m
max	1317,37 m
mediana	106,72 m
moda	26,25 m
totale	161.482,14 m

Il diradamento della rete è più marcato in questo caso, ai livelli della circoscrizione 2.

**CIRCOSCRIZIONE 6**

La circoscrizione 6 comprende i quartieri di Barriera di Milano, Regio Parco, Barca, Bertolla, Falchera, Rebaudengo e Villaretto; l'estensione della superficie è di 25,206 km<sup>2</sup> e la popolazione è di 106.756 abitanti. La rete stradale presenta una lunghezza complessiva di 173.990,82 m; la distribuzione delle lunghezze degli archi è la seguente:



Distribuzione delle lunghezze degli archi relativi alla circoscrizione 6.

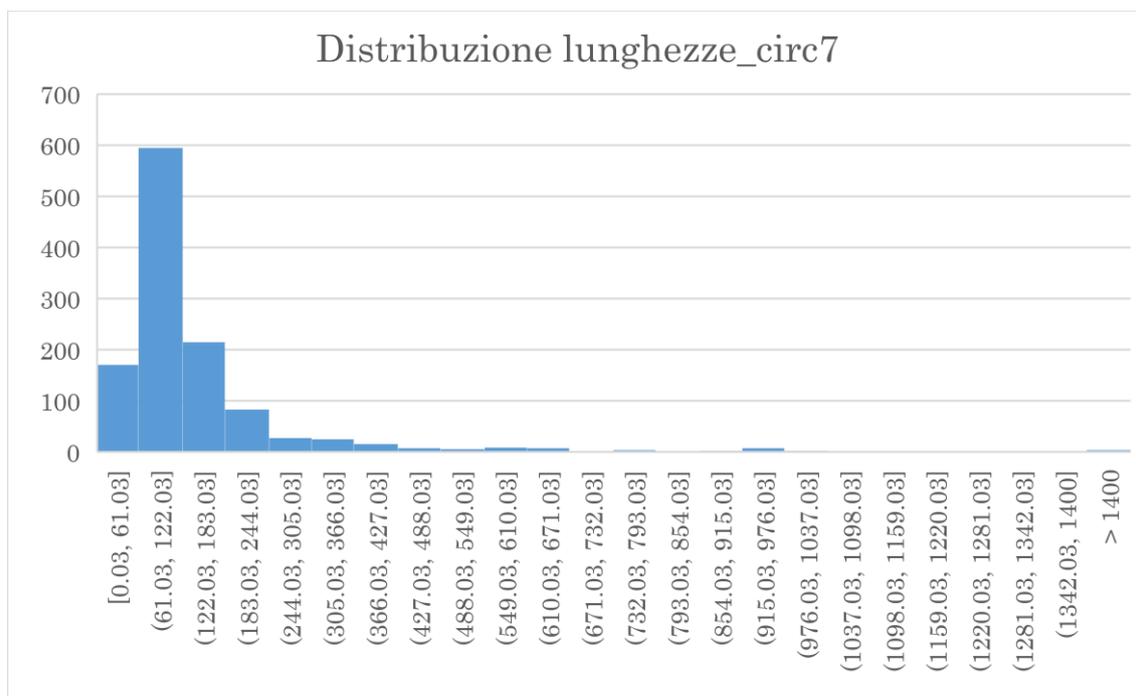
Principali indici statistici.

<b>indice</b>	<b>valore</b>
media	<u>148,20 m</u>
dev.st.	173,92
min	0,44 m
max	2.694,13 m
mediana	102,06 m
moda	26,70 m
totale	173.990,82 m

Il valor medio è molto alto in questo caso; ciò è dovuto alla presenza di una parte della tangenziale nord di Torino all'interno di quest'area e di un notevole diradamento della maglia.

CIRCOSCRIZIONE 7

La circoscrizione 7 è composta dai quartieri Aurora, Vanchiglia, Sassi e Madonna del Pilone; presenta una superficie di 22,582 km<sup>2</sup> e una popolazione di 87.322 abitanti. La rete stradale si sviluppa per 181.417,74 m; la distribuzione delle lunghezze degli archi è la seguente:



Distribuzione delle lunghezze degli archi relativi alla circoscrizione 7.

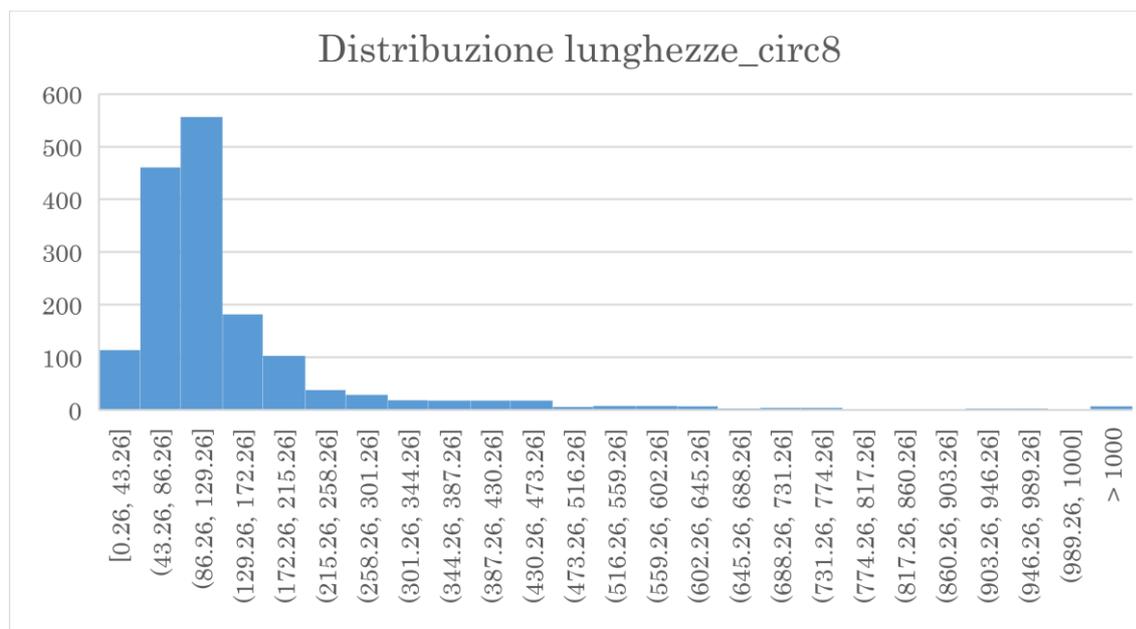
Principali indici statistici.

<b>indice</b>	<b>valore</b>
media	<u>151,81 m</u>
dev.st.	185,88
min	0,03 m
max	2.356,30 m
mediana	104,55 m
moda	74,87 m
totale	181.417,74 m

Si riscontra il valor medio più alto tra le diverse circoscrizioni; ciò è dovuto alla presenza di diverse strade lungo la Collina Torinese, situata a est del fiume Po. Queste presentano un basso numero di intersezioni e conseguentemente sono caratterizzate da un notevole sviluppo, che determina appunto una grande valor medio della lunghezza degli archi.

CIRCOSCRIZIONE 8

La circoscrizione 8 si compone dei quartieri San Salvario, Cavoretto, Borgo Po, Nizza Millefonti, Lingotto e Filadelfia; ha una superficie di 23,165 km<sup>2</sup> e una popolazione di 129.961 abitanti. La rete stradale si estende per 226.228,24 m; la distribuzione delle lunghezze degli archi è la seguente:



Distribuzione delle lunghezze degli archi relativi alla circoscrizione 8.

Principali indici statistici.

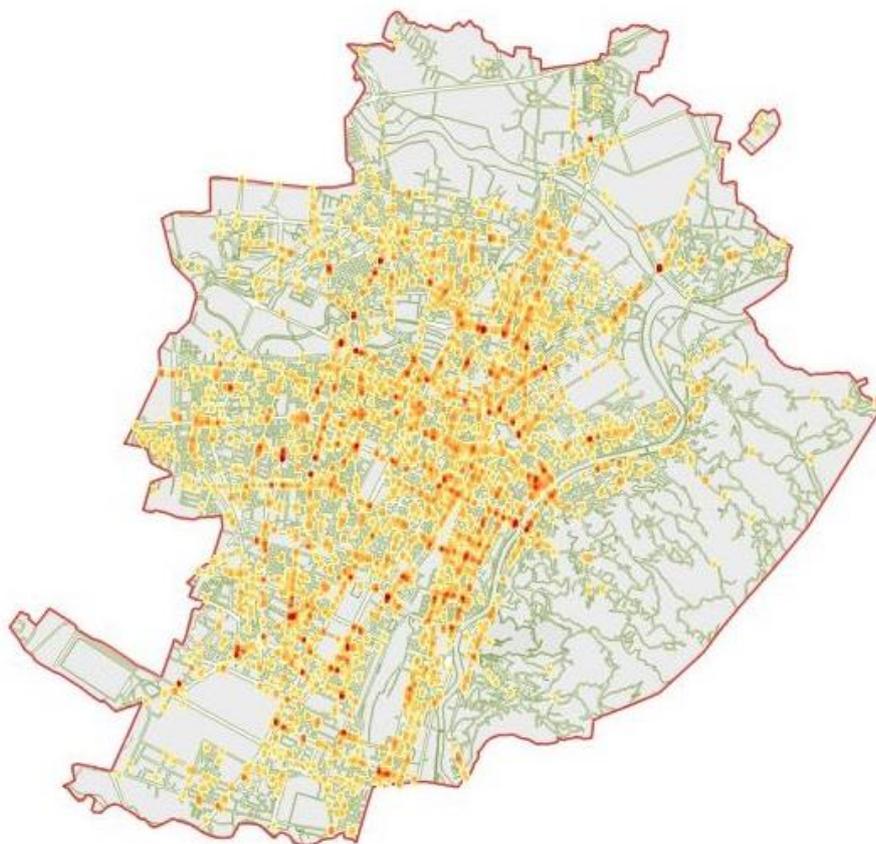
<b>indice</b>	<b>valore</b>
media	<u>140,17 m</u>
dev.st.	142,73
min	0,26 m
max	1.366,33 m
mediana	99,27 m
moda	97,24 m
totale	226.228,24 m

Anche in questo caso si può notare come il valor medio sia molto alto, corroborando quanto detto precedentemente per le zone periferiche; inoltre anche questa circoscrizione presenta una vasta porzione nella Collina Torinese, con la presenza di molte strade di lunghezza significativa.

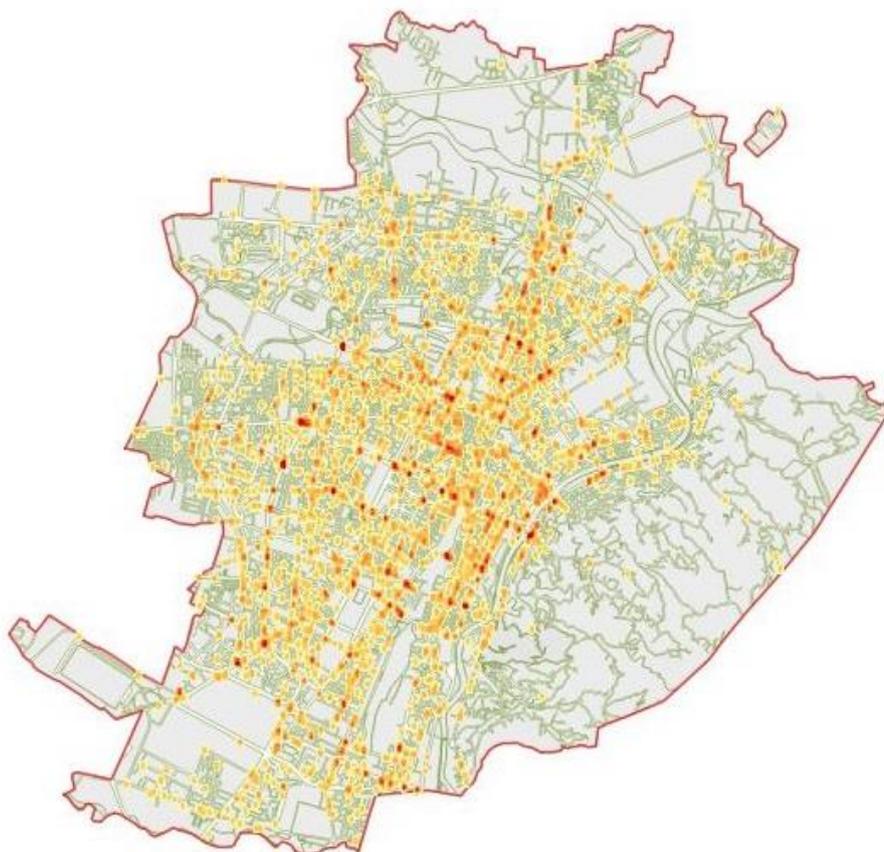
# ALLEGATO III

---

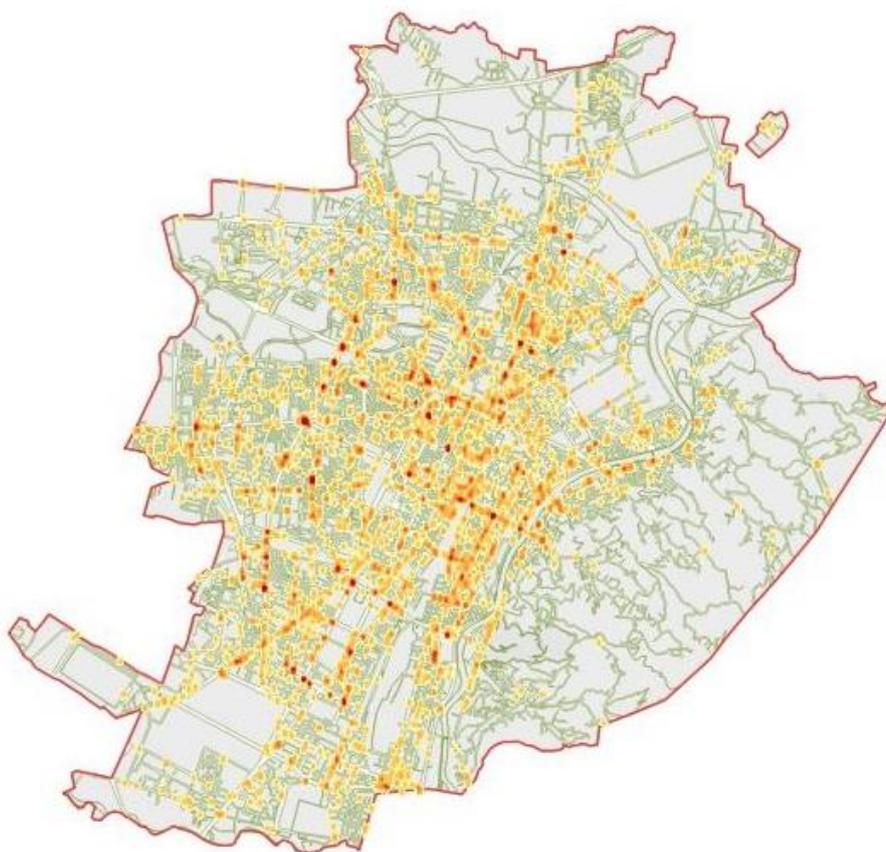
In questa sezione sono riportate le mappe di calore relative agli incidenti che hanno visto coinvolto almeno un utente vulnerabile nella città di Torino, suddivise in riferimento ai diversi periodi di studio analizzati.



Mappa di calore relativa agli incidenti VRU, periodo 2006-2007.

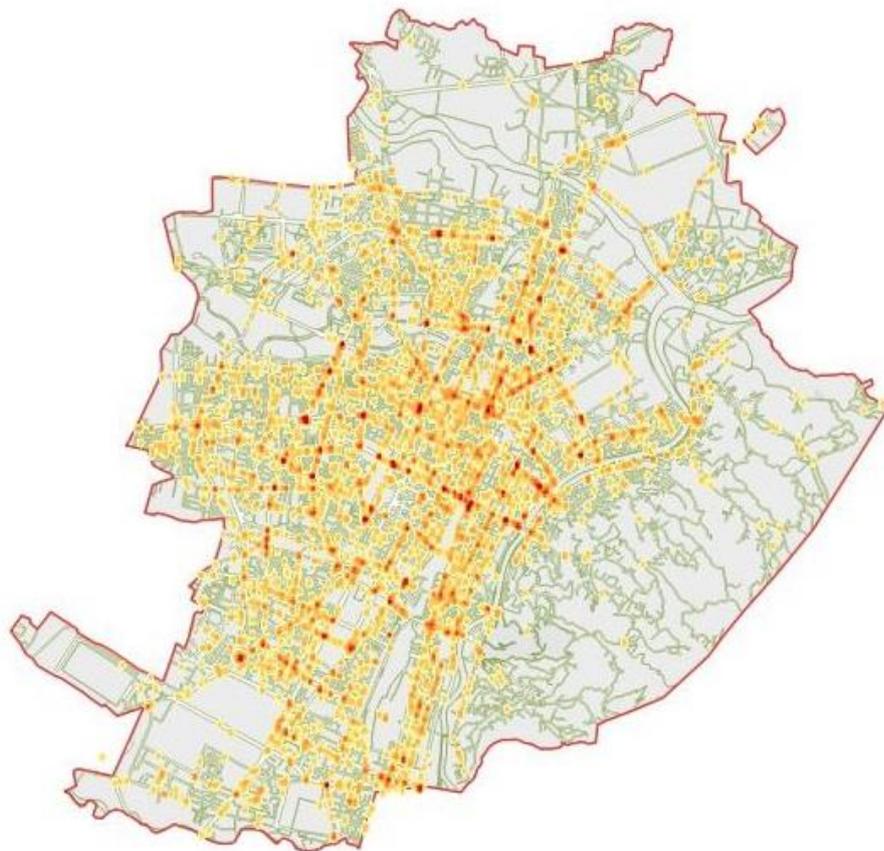


Mappa di calore relativa agli incidenti VRU, periodo 2008-2009

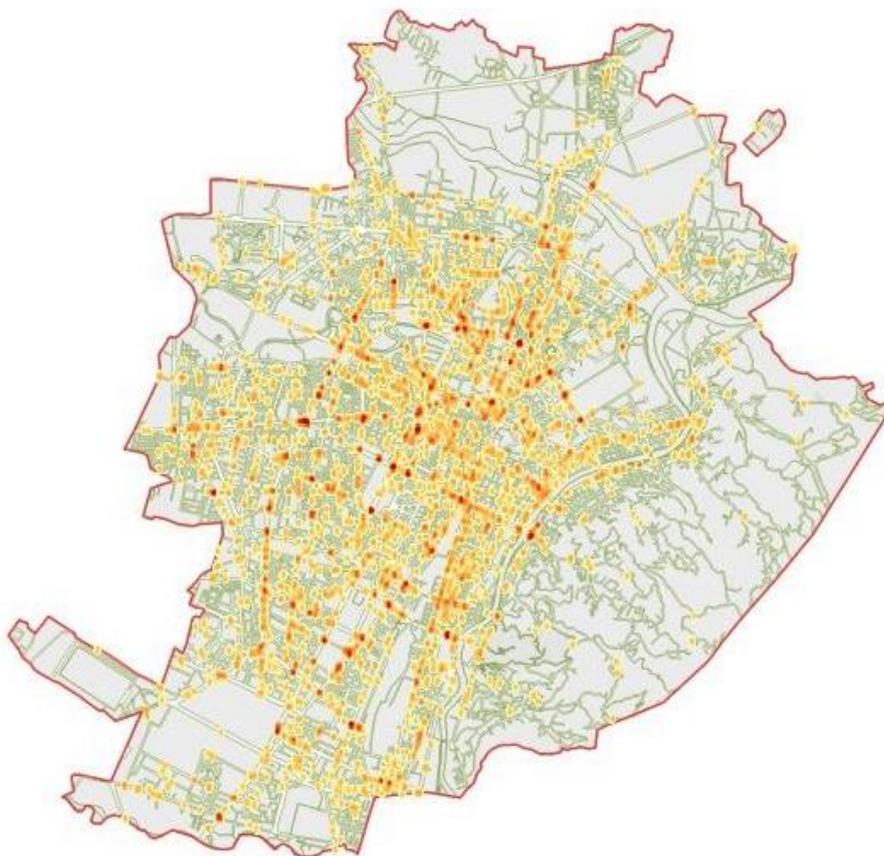


Mappa di calore relativa agli incidenti VRU, periodo 2010-2011

ALLEGATO III



Mappa di calore relativa agli incidenti VRU, periodo 2012-2014



Mappa di calore relativa agli incidenti VRU, periodo 2015-2016



# APPENDICE

---

In questa sezione è riportata la procedura di inserimento delle informazioni nell'applicativo online *GPS Visualizer's Address Locator* e di gestione dei dati processati, di seguito esposta:

- si incollano gli indirizzi nella casella “input”;
- si seleziona il motore di ricerca (è stato utilizzato Bing Maps in quanto l'unico a fornire le coordinate del punto di intersezione tra due vie);
- si avvia la geocodifica.

Il programma restituisce gli indirizzi comprensivi di coordinate geografiche nella casella output *“Results as text”*.

Tuttavia, le API consentono solo un numero limitato di query al giorno; al fine di eseguire un maggior numero di ricerche, è stato necessario richiedere una “Bing Maps API key”, da inserire poi nell'apposita casella.

Non è stato possibile inserire come input in *GPS Visualizer's Address Locator* gli indirizzi così come presenti nel database, ma sono state necessarie una serie di operazioni di modifica da eseguire in Excel, di seguito riportate:

- eliminazione delle parentesi (comando “sostituisci”);

UNIONE SOVIETICA CORSO, 437

- suddivisione del testo in due colonne distinte, in modo da separare il primo indirizzo con il civico o il secondo indirizzo (in 7 casi si è riscontrata la presenza anche di un terzo indirizzo) (comando “testo in colonne”, con virgola come separatore). I suddetti campi sono stati denominati “*nomestra\_1*”, “*nomestra\_2*” e “*nomestra\_3*”;

UNIONE SOVIETICA CORSO	437
------------------------	-----

## APPENDICE

- eliminazione dello spazio all'inizio del testo di “*nomestra\_2*” e “*nomestra\_3*” (comando “ANNULLA.SPAZI”);
- spostamento dell'ultima parola all'inizio del testo (formula “SE(VAL.ERRORE(TROVA("VIA";*cella*));RIMPIAZZA(*cella*;1;0;"VIA"))”);

### CORSO UNIONE SOVIETICA CORSO

- eliminazione dell'ultima parola appena spostata all'inizio del testo (è stata necessaria una formulazione di questo tipo:  
“SINISTRA(ANNULLA.SPAZI(*cella*);TROVA("~";SOSTITUISCI(*cella*;" "; "~";LUNGHEZZA(ANNULLA.SPAZI(*cella*))-LUNGHEZZA(SOSTITUISCI(ANNULLA.SPAZI(*cella*);" "; "")))-1”);

### CORSO UNIONE SOVIETICA

- formulazione della stringa finale da inserire come input in *GPS Visualizer's Address Locator* (“*cella strada1&*” & “*&cella civico/strada 2&*”, Torino, Italia”).

### CORSO UNIONE SOVIETICA & 437, Torino, Italia

È necessario porre attenzione ai record dal 2013 in poi in quanto essi non presentano la virgola come separatore tra indirizzo e civico e riportano la denominazione urbanistica generica (via, strada, piazza, corso, largo) all'inizio della stringa di testo; le modifiche sopra riportate, quindi, sono valide nel periodo 2006-2012.

Ottenute queste stringhe di testo, si è proceduto al loro inserimento nella casella input di *GPS Visualizer's Address Locator*; i dati ottenuti sono stati copiati e salvati in formato file di testo (estensione .csv in Excel).