

19 MAGGIO / 2021

## UTILIZZO DI OPEN STREET MAP PER IL CALCOLO DI INDICATORI PER L'INCIDENTALITÀ STRADALE SULLA RETE VIARIA ITALIANA. AGGIORNAMENTO CON DATI 2017.

### 1. Indicatori di Road Safety performance e uso di Big data

Gli indicatori di performance di sicurezza stradale (*Road Safety Performance Indicators* RSPI) offrono un approccio multidimensionale per le analisi sugli incidenti stradali e dimensioni del fenomeno: strade, veicoli e persone coinvolte. Combinando l'uso di rilevazioni statistiche totali, sistemi informativi geografici (GIS) e Big Data (BD), si forniscono nuovi elementi per le soluzioni di pianificazione delle infrastrutture, per l'applicazione di politiche con l'obiettivo di ridurre morti e feriti, per il contenimento dei costi sociali sulla collettività e per la stima di efficienza ed efficacia dei piani di sicurezza stradale. Prevenire la mortalità e la lesività sulle strade pubbliche è una delle principali responsabilità del governo, delle istituzioni preposte e degli *stakeholder* inteso come obiettivo comune e condiviso. La sfida per la sicurezza stradale e la consapevolezza delle gravi conseguenze sulle persone infortunate rafforzano l'importanza di attivare sinergie tra i diversi decisori e attori per la sicurezza stradale.

Nella costruzione di indicatori statistici per l'incidentalità stradale attualmente esiste una distorsione delle informazioni con riferimento alla scelta dei denominatori più aderenti alla misurazione del fenomeno. La popolazione residente, infatti, spesso utilizzata, non sempre è una soluzione appropriata, soprattutto alla luce della stagionalità degli incidenti stradali e della concentrazione, in alcuni periodi dell'anno e in luoghi specifici. Il parco veicolare per provincia di immatricolazione (di fonte PRA – ACI) fornisce informazioni più precise rispetto alla popolazione, ma la caratteristica del fenomeno implica una distorsione negli indicatori, legata alla mobilità degli utenti della strada sul territorio. La lunghezza in metri di carreggiata per senso di marcia di arco stradale (da *Open Street Map*) fornisce sicuramente una prima serie coerente di informazioni relative ai diversi territori. Tale informazione non è disponibile dalle statistiche ufficiali a livello nazionale, benché esistano archivi e grafi stradali dettagliati per singolo comune, provincia e regione, non è stato ancora istituito, però, un catasto strade nazionale armonizzato e sistematico.

Il primo output del progetto, in linea con il processo di modernizzazione della produzione statistica dell'Istat, è incentrato sulla valorizzazione delle fonti amministrative esistenti, lo *scouting* di nuove fonti e l'analisi di registri integrati e ausiliari. La novità introdotta per la produzione statistica consiste nel ruolo focale dell'integrazione di fonti e dell'introduzione di nuove tecniche e

metodologie applicate. Ogni elemento innovativo, infatti, alimenta un processo di miglioramento della qualità delle informazioni statistiche fornite dall'Istat. Il progetto prevede il calcolo di tassi di incidentalità, mortalità e lesività stradale, rapportando queste misure alla relativa lunghezza in metri di carreggiata per senso di marcia di arco stradale desunta da Open Street Map. Benché il prodotto costituisca un primo spendibile risultato, obiettivo finale del progetto è quello di stimare i reali flussi di traffico (veicoli/Km) sulla rete viaria nazionale. Ciò consentirebbe di calcolare le probabilità di essere coinvolti in un incidente e i tassi reali di esposizione a rischio di incidentalità.

## 2. L'utilizzo di sistemi GIS per la rappresentazione grafica

Un sistema informativo geografico (GIS) è un sistema progettato per acquisire, archiviare, manipolare, analizzare, gestire e presentare dati spaziali o geografici. Le applicazioni GIS sono strumenti che consentono agli utenti di analizzare le informazioni spaziali, modificare i dati nelle mappe e presentare i risultati di queste operazioni. Per correlare le informazioni provenienti da fonti diverse, GIS utilizza la posizione spaziale come variabile chiave di riferimento (*key reference by position*). Analogamente a quanto accade di consueto per un database relazionale contenente diverse tabelle messe in relazione mediante chiavi comuni, GIS può mettere in relazione, infatti, informazioni altrimenti non correlate utilizzando la posizione come variabile chiave. Questa specifica caratteristica del GIS ha consentito di esplorare una frontiera alternativa per la produzione di informazioni statistiche. Qualsiasi variabile può essere localizzata spazialmente utilizzando le coordinate x, y e z che rappresentano rispettivamente longitudine, latitudine ed elevazione. Queste coordinate GIS possono rappresentare altri sistemi, come territori (poligoni), reti stradali (linee) e punti di traffico (punti).

Come primo passo sono stati costruiti *layer* grafici sovrapposti, mediante l'utilizzo di un algoritmo ad hoc programmato per effettuare un'operazione di "join spaziale" tra i diversi attributi delle aree geografiche considerate. L'algoritmo considera in input il vettore con i *layer* grafici del territorio e crea un nuovo vettore costituito da una versione estesa rispetto a quella di input, con l'inclusione nella tabella collegata di attributi aggiuntivi. Gli attributi aggiuntivi e i loro valori sono desunti da un secondo livello vettoriale. Viene applicato, infatti, un criterio spaziale per selezionare i valori dal secondo livello che vengono, poi, aggiunti a ciascuna caratteristica del primo livello.

**Figura 1: La sovrapposizione dei Layer grafici OpenStreetMap e basi territoriali Istat**



## 2.1 Le Basi territoriali Istat

Le basi territoriali Istat utilizzate con il sistema GIS sono fornite per le seguenti unità amministrative:

- Regioni
- Province
- Comuni (aggiornati ogni anno)
- Località (solo al Censimento 2011)

L'aggiornamento delle località del 2011 ai comuni del 2017 è stato possibile mediante la costruzione di una tabella di collegamento che ha consentito l'aggregazione del territorio costituito da 8090 unità amministrative locali nel 2011, in 7979 comuni del territorio italiano del 2017. La scelta degli shape delle località è conseguente all'armonizzazione del grafo stradale con la variabile localizzazione degli incidenti stradali.

La classificazione località prevede 4 diverse modalità:

1. Aree urbane
2. Nucleo abitato
3. Località produttive
4. Case sparse

Per quanto concerne le definizioni<sup>1</sup> utilizzate, si riportano di seguito le descrizioni Istat.

**Località** - Area più o meno vasta di territorio, conosciuta di norma con un nome proprio, sulla quale sono situate una o più case raggruppate o sparse; si distinguono due tipi di località: località abitate e località produttive. Le delimitazioni che individuano le località abitate (centro e nucleo abitato) sono ottenute tracciando delle linee che corrono lungo il limite esterno degli edifici posti ai bordi di un raggruppamento di almeno quindici fabbricati. I confini delle località includono orti e altre pertinenze degli edifici considerati, evitando di includere aree limitrofe non edificate (come ad esempio campi coltivati e/o incolti), lasciando al di fuori dei raggruppamenti anche gli edifici posti ad una distanza superiore ai 70 metri nel caso di centri abitati e 40 metri nel caso di nuclei abitati. Se gli edifici inclusi nella nuova località sono adiacenti o in prossimità (al massimo una distanza pari a 140 metri per centri abitati e 60 metri nel caso di nuclei abitati) di elementi lineari, quali infrastrutture di trasporto o limiti idrografici, la linea di confine delle località dovrà correre lungo o sarà estesa fino alla mezzera di tali elementi.

**Centri abitati** - Aggregato di case contigue o vicine con interposte strade, piazze e simili, o comunque brevi soluzioni di continuità caratterizzato dall'esistenza di servizi od esercizi pubblici (scuola, ufficio pubblico, farmacia, negozio o simili) che costituiscono una forma autonoma di vita sociale e, generalmente, anche un luogo di raccolta per gli abitanti delle zone limitrofe in modo da manifestare l'esistenza di una forma di vita sociale coordinata dal centro stesso. I luoghi di convegno

---

<sup>1</sup> Istat - Basi territoriali e variabili censuarie <https://www.istat.it/it/archivio/104317>

Istat - Descrizione dei dati geografici e delle variabili censuarie delle Basi territoriali per i censimenti: anni 1991, 2001, 2011  
<https://www.istat.it/it/files//2013/11/Descrizione-dati-Pubblicazione-2016.03.09.pdf>

turistico, i gruppi di villini, alberghi e simili destinati alla villeggiatura, abitati stagionalmente, devono essere considerati come centri abitati temporanei, purché nel periodo dell'attività stagionale presentino i requisiti del centro.

**Nucleo abitato** - Località abitata, priva del luogo di raccolta che caratterizza il centro abitato, costituita da un gruppo di almeno quindici edifici contigui e vicini, con almeno quindici famiglie, con interposte strade, sentieri, piazze, aie, piccoli orti, piccoli incolti e simili, purché l'intervallo tra casa e casa non superi una trentina di metri e sia in ogni modo inferiore a quello intercorrente tra il nucleo stesso e la più vicina delle case manifestamente sparse.

**Località produttiva** - Area in ambito extraurbano non compresa nei centri o nuclei abitati nella quale siano presenti unità locali in numero superiore a 10, o il cui numero totale di addetti sia superiore a 200, contigue o vicine con interposte strade, piazze e simili, o comunque brevi soluzioni di continuità non superiori a 200 metri; la superficie minima deve corrispondere a 5 ettari.

**Case sparse** - Case disseminate nel territorio comunale a distanza tale da non poter costituire nemmeno un nucleo abitato.

## ***2.2 Open Street Map e le tipologie di arco stradale***

Open Street Map (OSM)<sup>2</sup> è un progetto collaborativo finalizzato a creare mappe a contenuto libero del mondo. Il progetto punta ad una raccolta mondiale di dati geografici, con scopo principale la creazione di mappe e cartografie. La caratteristica fondamentale dei dati geografici presenti in OSM è che possiedono una licenza libera, la Open Database License. È cioè possibile utilizzarli liberamente per qualsiasi scopo con il solo vincolo di citare la fonte e usare la stessa licenza per eventuali lavori derivati dai dati di OSM. Tutti possono contribuire arricchendo o correggendo i dati. Le mappe sono create usando come riferimento i dati registrati da dispositivi GPS portatili, fotografie aeree ed altre fonti libere.

I layer vettoriali di Open Street Map aggiornati quotidianamente e i dati scaricabili gratuitamente sono:

- Grafi stradali
- Punti di traffico (POT)

Shape aggiuntivi sono:

- Edifici
- Uso del suolo
- Naturale
- Luoghi
- POWF (Point of Worship)
- POIS (Point of interest)

---

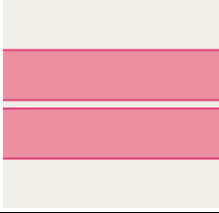



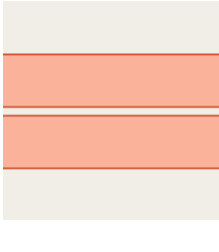


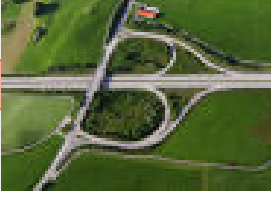



<sup>2</sup> OpenStreetMap fornisce dati geografici su migliaia di siti web, applicazioni mobili e dispositivi hardware. OpenStreetMap è costruito da una comunità di mappatori che contribuiscono e mantengono i dati sulle strade, sentieri, caffè, stazioni ferroviarie e molto altro ancora, in tutto il mondo." citazione da sito ufficiale OSM: <http://www.openstreetmap.org/about>

- Linee ferroviarie e Trasporto
- Acqua e corsi d'acqua

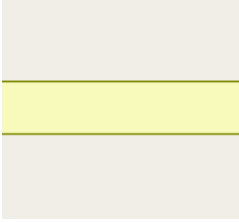





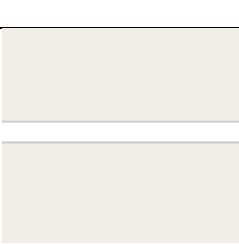

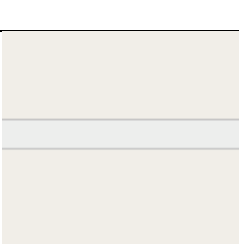

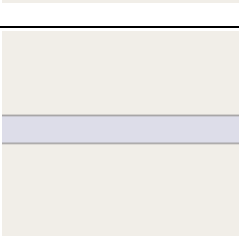
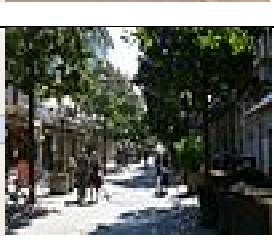
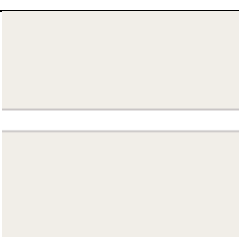

Benché si tratti di uno strumento Open Source e basato su informazioni provenienti da una community, il prodotto fornisce dati da considerarsi attendibili e robusti, tanto che la maggior parte dei software di navigazione GPS Android e iOS su dispositivi portatili sono alimentati da OSM, come ad esempio WisePilot, Maps.me, NavFree, Scout, ecc.

Nella tabella 1 sono elencate le diverse tipologie di arco stradale da Open Street Map.

**Tabella 1 - Classificazione OpenStreetMap degli archi stradali (a)**

 	<p><b>Motorway</b>          Autostrade a pagamento o gratuite, compresi i raccordi autostradali come le tangenziali di Milano e il Grande Raccordo Anulare di Roma. Equivalente alle Freeway, Autobahn, ecc...</p>
 	<p><b>Motorway Link</b>          Tratti di collegamento (svincoli/rampe) tra un'autostrada ed un'altra autostrada o altra strada di classificazione inferiore. Solitamente i limiti sono analoghi a quelli autostradali.</p>
 	<p><b>Trunk</b>          Strade che si pongono a metà strada tra Autostrade/Tangenziali e le Statali. Può anche essere classificato così il tratto di svincolo di un'autostrada-tangenziale che porta al centro città. Le cosiddette superstrade potrebbero essere contraddistinte come due corsie per distinguerle dalle autostrade. Le strade extraurbane ad una sola corsia per senso di marcia, che però non presentano incroci sul loro percorso e abbiano accessi ed uscite mediati da corsie di accelerazione e decelerazione per distinguerle da altre strade che potrebbero presentare incroci e rotonde.</p>
 	<p><b>Trunk Link</b>          Tratti di collegamento (svincoli/rampe) tra un <i>trunk</i> ed un altro <i>trunk</i> o altra strada di classificazione inferiore</p>
 	<p><b>Primary</b>          Strade di importanza nazionale e regionale che non godono della classificazione di autostrada, tangenziale o superstrada. Collegano tra loro le città principali. Normalmente sono classificate come SS (Strade Statali) o SR (Strade Regionali), tuttavia esistono eccezioni come per esempio in piccoli centri montani dove la strada SS attraversa il paese ma la strada primaria è una tangenziale di moderna costruzione che evita il centro abitato. In ambito urbano normalmente formano il primo anello della città (vedi Milano) e normalmente sono classificate come Viali.</p>
 	<p><b>Primary_link</b> Tratti di collegamento (svincoli/rampe) tra una strada di importanza nazionale (primary) ed un'altra strada di importanza nazionale o altra strada di classificazione inferiore.</p>

**Tabella 1 (segue) - Classificazione OpenStreetMap degli archi stradali (a)**

		<p><b>Secondary</b> Strade di importanza regionale e provinciale. Collegano tra loro i principali comuni di una regione. Sono normalmente classificate come SP (Strade provinciali) ma esistono eccezioni. In ambito urbano normalmente sono classificate come vie importanti anche a due corsie per senso di marcia.</p>
		<p><b>Secondary link</b> - Tratti di collegamento (svincoli/rampe) tra una strada di importanza regionale/provinciale (secondary) ed un'altra strada di importanza regionale/provinciale o altra strada di classificazione inferiore.</p>
		<p><b>Tertiary</b> Strade di importanza locale o comunale. Collegano tra loro i comuni più piccoli. In ambito urbano sono le strade laterali a primarie e secondarie con un discreto flusso di traffico.</p>
		<p><b>Tertiary link</b> - Tratti di collegamento (svincoli/rampe) tra una strada di classificazione tertiary ed un'altra strada di classificazione tertiary od inferiore.</p>
		<p><b>Unclassified</b> Classificazione per il livello minimo della rete stradale extraurbana. In ambito urbano sono utilizzate per raggiungere destinazioni nelle immediate vicinanze e il flusso del traffico è relativamente più basso che in strade di classificazione superiore. Spesso collegano villaggi e borghi.</p>
		<p><b>Residential</b> Strade situate in zone residenziali per l'accesso alle abitazioni, senza funzione di collegamento tra diversi insediamenti. Sono spesso fiancheggiate da case.</p>
		<p><b>Living Street</b> Strade a prevalente uso pedonale dove il limite di velocità è particolarmente basso, i pedoni hanno la precedenza sugli automezzi ed è facile che bambini giochino per strada (poco frequenti in Italia, comunque indicate da apposito segnale di zona residenziale).</p>
		<p><b>Pedestrian</b> Aree pedonali (strade o piazze in aree urbane), accessibili principalmente o esclusivamente ai pedoni.</p>
		<p><b>Service</b> Strade di accesso o interne ad aree di servizio, spiagge, campeggi, complessi industriali, centri commerciali, residenze, posteggi, discariche, installazioni, ecc.</p>

**Tabella 1 (segue) - Classificazione OpenStreetMap degli archi stradali (a)**

		<p><b>Track</b> Carreggiabili ad uso prevalentemente agricolo o forestale, spesso sconnesse e non pavimentate.</p>
		<p><b>Bridleway</b> Percorsi per equitazione (solitamente percorsi pedonali accessibili anche a cavallo).</p>
		<p><b>Cycleway</b> Piste ciclabili su carreggiata dedicata, prevalentemente od esclusivamente ad uso cicloturistico.</p>
		<p><b>Footway</b> Percorsi costruiti appositamente per i pedoni: passaggi pedonali urbani, percorsi nei parchi pubblici, anche sentieri se fortemente mantenuti e non allo stato naturale.</p>
		<p><b>Path</b> Sentieri non pensati per un uso specifico.</p>
		<p><b>Steps</b> Rampe di scale, accessibili esclusivamente ai pedoni</p>
		<p><b>Unknown</b> Non classificate</p>

(a) Archi stradali Open Street Map aggiornati al 16/2/2017.

Un metodo innovativo per misurare la lunghezza in metri di un grafo stradale è rappresentato dall'utilizzo delle informazioni sul numero di carreggiate per ogni arco stradale rilevato da OSM. Nello *snapshot* riportato in figura 2 viene mostrato come gli archi evidenziati in giallo siano tratti a senso unico, mentre quelli evidenziati in verde rappresentino segmenti a doppio senso di marcia. In futuro, al fine di fornire informazioni ancora più dettagliate, è stato programmato di considerare anche l'informazione sul numero delle corsie contenenti ciascuna carreggiata.

**Figura 2: L'utilizzo dell'informazione OpenStreetMap sul numero di carreggiate**



### ***2.3 Classificazione archi stradali OSM e localizzazione degli incidenti stradali: da una classificazione sistematica ad una classificazione analitica***

Le tipologie di arco stradale selezionate per il calcolo degli indicatori sono tutte quelle riferite alla circolazione dei veicoli a motore: Autostrade, Tangenziali, Strade di importanza nazionale e regionale, Strade di importanza regionale e provinciale, Strade di importanza locale o comunale, Strade di importanza locale o comunale, Strade urbane, Raccordi autostradali, Tratti di collegamento (svincoli/rampe) per strade statali, regionali, provinciali o comunali, Strade di accesso o interne ad aree di servizio, non classificate. Aree pedonali, Strade carreggiabili ad uso prevalentemente agricolo o forestale, percorsi per equitazione, piste ciclabili, percorsi e passaggi pedonali, rampe di scale non sono, invece oggetto della rilevazione.

Per poter calcolare gli indicatori sull'incidentalità stradale, con denominatori rappresentati dalla lunghezza in metri di arco stradale (da Open Street Map), è stata costruita, già dalla scorsa edizione per i dati 2016, una tabella di raccordo tra le categorie di strade, di tipo funzionale, utilizzate da OSM e quelle differenti e legate alla tipologia del gestore della strada, in uso per la rilevazione incidenti stradali dell'Istat. Tale metodologia può essere definita come una tecnica di **classificazione sistematica**.

La classificazione sistematica degli archi stradali da Open Street Map nelle categorie di strada, utilizzate dall'Istat, seppure sempre molto valida, è stata modificata rispetto a quanto effettuato per il primo rilascio delle statistiche sperimentali. È stata costruita, infatti, una nuova **classificazione analitica**, utilizzando una tecnica più raffinata nell'attribuzione delle tipologie dei singoli archi stradali presenti su Open Street Map, circa tre milioni e mezzo in totale, alla classificazione Istat (Cfr. tabella 2). Il criterio operativo applicato prevede la classificazione puntuale mediante l'analisi testuale degli attributi Nome e Riferimento secondo le diverse classi di arco stradale e di attribuzione spaziale del tipo località.

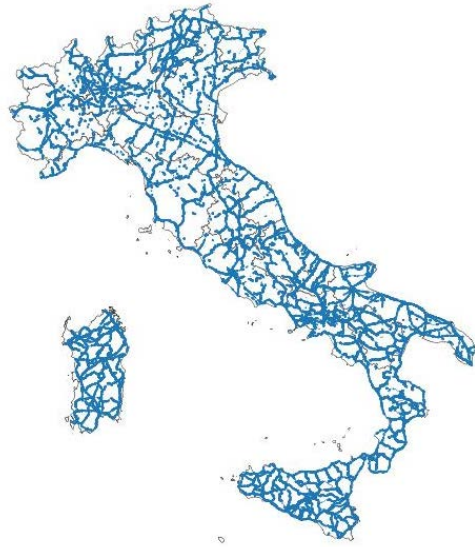
Per utilizzare i dati classificati con l'apporto della tecnica migliorativa citata e garantire, nel contempo, la comparabilità con le informazioni riferite all'anno 2016, già diffuse, le tabelle contenenti i nuovi indicatori 2017 sono state corredate anche da un ricalcolo degli indicatori di ranking provinciali, determinati con la classificazione sistematica del 2016.



**Figura 3: Autostrade. Anno 2017**  
(Istat: classificazione analitica)



**Figura 4: Strade statali. Anno 2017**  
(Istat: classificazione analitica)



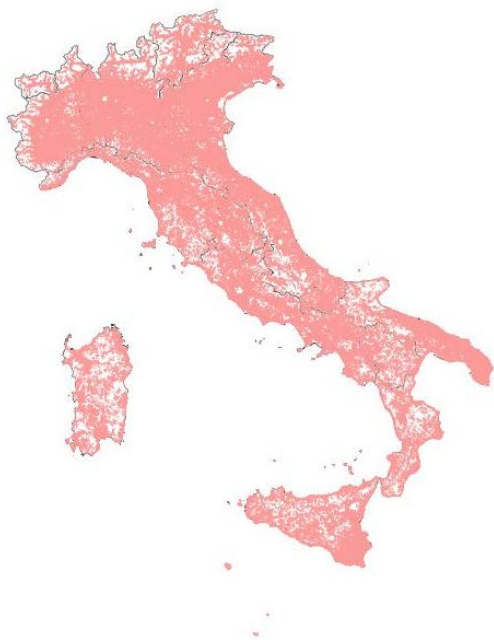
**Figura 5: Strade regionali. Anno 2017**  
(Istat: classificazione analitica)



**Figura 6: Strade provinciali. Anno 2017**  
(Istat: classificazione analitica)



**Figura 7: Strade comunali extraurbane e altre strade. Anno 2017 (Istat: classificazione analitica)**



**Figura 8: Strade urbane. Anno 2017 (Istat: classificazione analitica)**



**Tabella 2 – Tabella di raccordo tra classificazione archi stradali OSM, località e tipo strada (a)**

Classificazione degli archi stradali da OpenStreetMap	Località al Censimento 2011			
	Aree urbane e Nucleo abitato		Località produttive e case sparse	
	Tipo localizzazione strada da Incidenti stradali			
	Autostrade	Strade Urbane	Autostrade	Strade extraurbane
Motorway	X		X	
Trunk	X		X	
Primary		X		X
Secondary		X		X
Tertiary		X		X
Unclassified		X		X
Residential		X		X
Living Street		X		X
Motorway Link	X		X	
Trunk Link	X		X	
Primary Link		X		X
Secondary Link		X		X
Tertiary Link		X		X
Service		X		X
Unknown		X		X

(a) Elaborazione Istat

### 3. Gli indicatori sull'incidentalità stradale

#### 3.1 Gli indicatori sull'incidentalità stradale in relazione all'estesa stradale, popolazione residente, parco veicolare

La proposta di calcolo di nuovi indicatori legati all'incidentalità stradale e di avvalersi di nuove fonti, a carattere sperimentale, da utilizzare al denominatore di tassi e rapporti, nasce per fornire una

migliore informazione sulla esposizione al rischio rispetto a dimensioni come la popolazione residente o la flotta veicoli. Anche se popolazione e veicoli sono, infatti, ad oggi, considerate *proxy* degli esposti al rischio di incidente, è evidente che presentano delle criticità.

Come aggiornamento degli indicatori presentati nella scorsa edizione, al numeratore degli indicatori sono stati considerati gli incidenti stradali, morti e feriti riferiti all'anno 2017 e provenienti dalla "Rilevazione degli incidenti stradali con lesioni a persone". L'informazione statistica sull'incidentalità è raccolta dall'Istat mediante una rilevazione totale a cadenza mensile di tutti gli incidenti stradali sulla rete stradale pubblica nazionale che hanno causato lesioni alle persone (morti entro il 30° giorno e feriti) e verbalizzati da un organo di Polizia<sup>3</sup>.

Per quanto concerne i denominatori utilizzati sono la popolazione residente, il parco veicolare e l'estesa chilometrica delle strade per carreggiata.

La popolazione residente<sup>4</sup> non sempre è una soluzione appropriata, soprattutto alla luce della stagionalità degli incidenti stradali e della concentrazione, in alcuni periodi dell'anno, in luoghi specifici.

La flotta di veicoli per provincia di immatricolazione (di fonte PRA – ACI)<sup>5</sup> fornisce informazioni più precise rispetto alla popolazione motorizzata, ma non considera il fattore mobilità degli utenti della strada sul territorio.

La lunghezza in metri di carreggiata per senso di marcia di arco stradale (da OSM)<sup>6</sup> fornisce un set coerente di informazioni relative ai diversi territori perché è indipendente dalla stagionalità (e quindi dalla mobilità legata al periodo) e, rispetto al dato sui veicoli circolanti, dalle province di immatricolazione dei veicoli.

Tale informazione non è disponibile dalle statistiche ufficiali a livello nazionale, poiché, benché esistano archivi e grafi stradali dettagliati per singolo comune o provincia e talvolta regione, non è stato ancora istituito, però, un catasto strade nazionale.

### **3.2 Gli indicatori dell'incidentalità stradale: ponderazione con Punti di Traffico (PoT) da Open Street Map**

La lunghezza in metri di carreggiata per senso di marcia di arco stradale (da Open Street Map), utilizzata per il calcolo di indicatori per le statistiche sperimentali fornisce sicuramente una prima serie coerente di informazioni relative ai diversi territori. Benché il prodotto costituisca un primo spendibile risultato, obiettivo più ambizioso del progetto è quello di stimare i reali flussi di traffico

---

<sup>3</sup> Rilevazione degli incidenti stradali con lesioni a persone <https://www.istat.it/it/archivio/4609>

<sup>4</sup> Popolazione residente al 31 dicembre 2017.

<sup>5</sup> Parco veicolare ACI (Automobile Club d'Italia) veicoli a motore (esclusi i rimorchi) al 31/12/2017

<sup>6</sup> Elaborazione GIS Basi territoriali censuarie Istat + Grafo stradale Open Street Map, al 1/1/2018, espresso in metri di lunghezza della strada per carreggiata.

(veicoli/Km) sulla rete viaria nazionale. Ciò consentirebbe di calcolare la probabilità di essere coinvolti in un incidente stradale e quindi di reale esposizione al rischio di incidentalità.

Per colmare questa lacuna informativa sono state desunte dalla ricca fonte Open Street Map altre informazioni aggiuntive, in particolare, i dati sui Punti di Traffico presenti sull'arco stradale (PoT Point of Traffic). Sono disponibili da OSM, infatti, informazioni scaricabili mensilmente sulle localizzazioni, in relazione ai singoli archi, di punti nei quali si registra un'intensità di traffico.

La proposta di nuova costruzione di indicatori di incidentalità stradale, "ponderati" anche con l'informazione sull'intensità di traffico, è stata effettuata considerando come elemento discriminante tra le estese stradali, i chilometri di carreggiata con la presenza di un punto di traffico sull'arco.

Sono state calcolate, a questo proposito, le estese chilometriche delle strade considerando la lunghezza in metri di carreggiata dei tratti che contengono archi con la presenza di punti di traffico. E' stata calcolata la frequenza relativa (**f**) delle estese con presenza di punti di traffico sui singoli archi (per provincia e tipologia di strada) e il complemento della frequenza relativa (**1-f**) delle estese senza presenza di traffico.

Per misurare il numero di incidenti, veicoli coinvolti, morti e feriti ogni 100 chilometri di carreggiata nella provincia, al netto dell'effetto sull'incidentalità causato dalla presenza dei punti di traffico sulle strade, il calcolo viene effettuato mediante il prodotto tra il valore degli indicatori per estesa stradale e il **complemento della frequenza relativa (1-f) alla presenza di archi con punti di traffico** sulle strade della provincia.

Con riferimento alla notazione utilizzata per il calcolo, si definiscono le singole poste come segue:

**LA Tot**  $_{i,j,k}$  = Lunghezza Totale Archi in metri nella provincia (*i*), per Classe funzionale di Arco Open Street Map (*j*) e Tipo località (*k*);

**LA PoT**  $_{i,j,k}$  = Lunghezza Archi in metri con la presenza di Punti di Traffico (PoT), nella Provincia (*i*), per Classe funzionale di Arco Open Street Map (*j*) e Tipo località (*k*);

**LA Tot**  $_{i,k,l}$  = Lunghezza Totale Archi in metri nella provincia (*i*), Tipo località (*k*) e Tipologia di strada classificazione Istat (*l*);

**LA PoT**  $_{i,k,l}$  = Lunghezza Archi in metri con la presenza di Punti di Traffico (PoT), nella Provincia (*i*), Tipo località (*k*) e Tipologia di strada classificazione Istat (*l*);

La lunghezza totale dell'estesa stradale nazionale, costituita dagli archi con presenza di punti di traffico (PoT) o nel complesso, è data dalle seguenti espressioni:

**Totale Lunghezza Archi con presenza Punti di Traffico (PoT):**

$$LA\ PoT\ tot = \sum_{i=1}^{111} \sum_{j=1}^{27} \sum_{k=1}^4 LA\ PoT_{i,j,k} \quad oppure \quad \sum_{i=1}^{111} \sum_{k=1}^4 \sum_{l=0}^9 LA\ PoT_{i,k,l}$$

$$LA\ Totale\ tot = \sum_{i=1}^{111} \sum_{j=1}^{27} \sum_{k=1}^4 LA\ Totale_{i,j,k} \quad oppure \quad \sum_{i=1}^{111} \sum_{k=1}^4 \sum_{l=0}^9 LA\ Totale_{i,k,l}$$

Il Peso percentuale della Lunghezza Archi in metri con la presenza di Punti di Traffico (PoT), nella Provincia (*i*), per Classe funzionale di Arco Open Street Map (*j*) e Tipo località (*k*) sul totale è dato dalla seguente espressione:

$$p\ LA\ PoT_{i,j,k} = \frac{LA\ PoT_{i,j,k}}{LA\ Tot_{i,j,k}} * 100$$

Il Peso percentuale della Lunghezza Archi in metri con la presenza di Punti di Traffico (PoT), nella Provincia (*i*), Tipo località (*k*) e Tipologia di strada classificazione Istat (*l*) sul totale è dato dalla seguente espressione:

$$p\ LA\ PoT_{i,k,l} = \frac{LA\ PoT_{i,k,l}}{LA\ Tot_{i,k,l}} * 100$$

Il Peso percentuale della Lunghezza Archi in metri con la presenza di Punti di Traffico (PoT) a livello nazionale nel complesso, sul totale è dato, infine, dalla seguente espressione:

$$p\ LA\ PoT_{tot} = \frac{LA\ PoT_{tot}}{LA\ Totale_{tot}} * 100$$

Dove *i*= 1,..., 103, 108, 109, 110, 111 (Codice provincia Istat)

*j*= 1,.....,27 (Classe funzionale di Arco Open Street Map)

1=Motorway; 2=Motorway\_Link; 3=Trunk; 4=Trunk\_Link; 5=Primary; 6=Primary\_Link; 7=Secondary; 8=Secondary\_Link; 9=Tertiary; 10=Tertiary\_Link; 11=Unclassified; 12=Unknown; 13=Residential; 14=Living\_Street; 15= Pedestrian; 16=Service; 17=Path; 18=Steps; 19=Track; 20=Track\_Grade1; 21=Track\_Grade2; 22=Track\_Grade3; 23=Track\_Grade4; 24=Track\_Grade5; 25=Bridleway; 26=Cycleway; 27=Footway

*k*=1,.....,4 (Tipo località: 1=Centro abitato, 2=Nucleo abitativo, 3=Località produttive, 4=Case sparse)

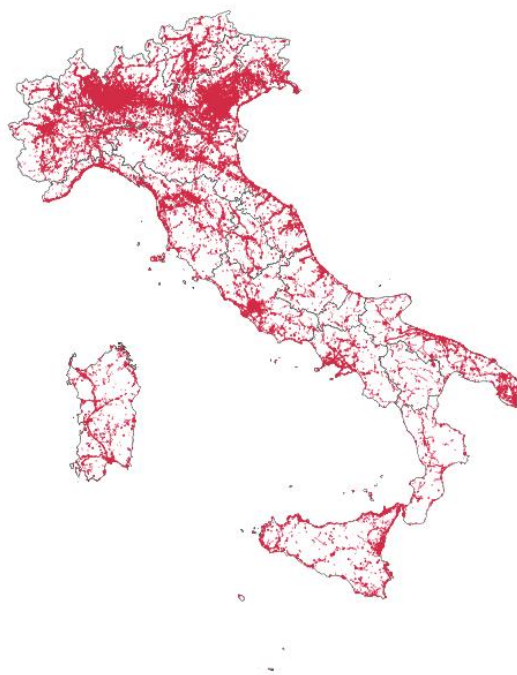
*l*= 0,.....,9 (Classificazione Istat strada Istat: 0=Regionale entro l'abitato; 1=Strada urbana; 2=Provinciale entro l'abitato; 3=Statale entro l'abitato; 4=Comunale extraurbana; 5=Provinciale; 6=Statale; 7=Autostradale; 8=Altra Strada; 9=Regionale)

Nel 2017 sono stati contati circa 220.000 Punti di Traffico sugli archi stradali della rete viaria nazionale e quasi 68.000 km di carreggiata, considerando l'estesa della totalità degli archi che contenessero almeno un punto di traffico. Questa estesa rappresenta, in Italia, il 6,3% della rete totale. Le tipologie di strada, secondo la classificazione Istat, che presentano le percentuali più elevate di punti traffico sono le autostrade (31,7%), le statali nell'abitato (30,7%) e le regionali nell'abitato (30,2%).

Con questo criterio, infatti, a parità di livelli di incidentalità e di estesa chilometrica, ad esempio, per una analoga categoria di strada in due province diverse, la presenza di punti di traffico modifica il rischio di incidentalità stradale a sfavore dei tratti stradali con minor traffico, che risultano pertanto, con una pericolosità più elevata in termini di veicoli/km.

Anche per la costruzione gli indicatori sull'incidentalità stradale, ponderati con i PoT, è stata utilizzata la classificazione delle tipologie di strada fornita da Open Street Map, riportata a quella utilizzata dalla Rilevazione Istat degli incidenti stradali (Cfr. Figura 9).

**Figura 9: OpenStreetMap: archi stradali con punti di traffico (POT). Anno 2017**

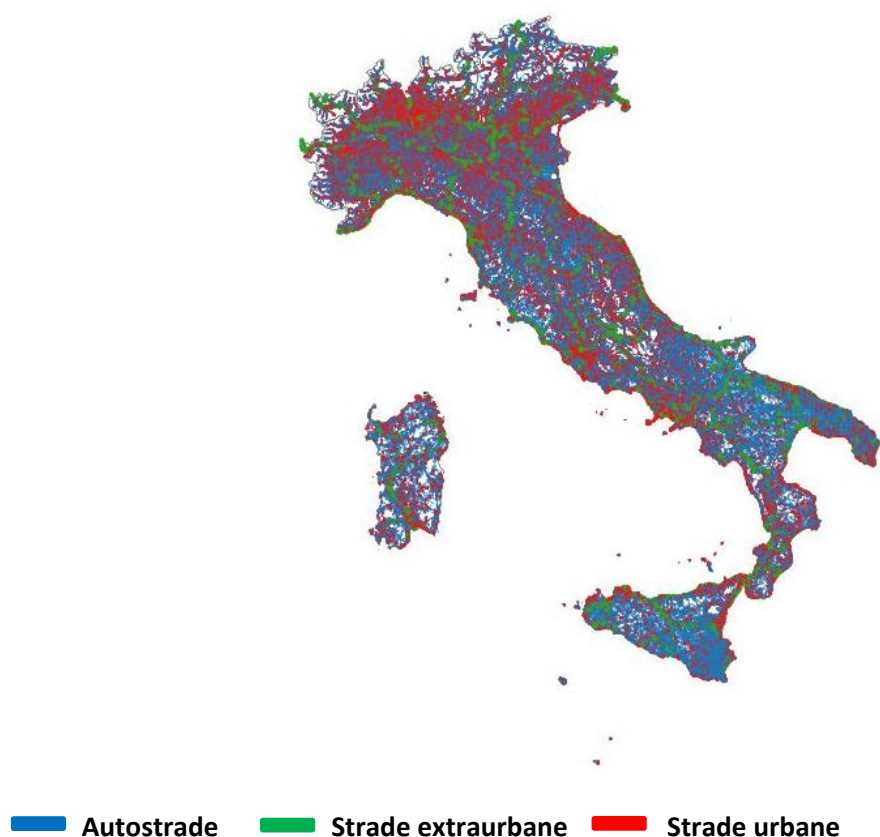


### **3.3 Il calcolo degli indicatori di incidentalità stradale: risultati**

Per quanto concerne il calcolo degli indicatori, come già affermato, sono stati aggiornati con dati 2017, rispetto alla versione già diffusa riferita a dati 2016 e, con riferimento ai tassi sull'estesa stradale, sono stati anche calcolati, per il 2017, con la riclassificazione analitica delle strade.

Gli indicatori proposti sono riferiti, infatti, al rapporto tra incidenti stradali, morti, feriti e veicoli e l'estesa stradale per tipologia di strada, con l'introduzione dell'informazione aggiuntiva sui punti di traffico, la popolazione residente e il parco veicolare.

**Figura 10: Autostrade, Strade urbane e Strade extraurbane. Anno 2017 (Istat: classificazione analitica).**



Il set di indicatori di incidentalità per estesa stradale fornisce una misura del numero di incidenti, veicoli coinvolti, morti e feriti ogni 100 chilometri di carreggiata nella provincia.

La Tavola 2.14 (Cfr. Tavole di dati) contiene i valori dei “Tassi per incidenti, veicoli coinvolti, morti e feriti ogni 100 chilometri di carreggiata per provincia italiana (classificazione applicata per il 2016) - Anno 2017”, la Tavola 2.15 è riferita, invece, agli stessi indicatori 2017, sull’estesa stradale, secondo la nuova classificazione archi stradali 2017. Con riferimento ai risultati contenuti nella Tavola 2.15 si evidenzia, una massima esposizione al rischio di incidente e numero di veicoli per le autostrade e le strade urbane principalmente nei grandi centri: Milano presenta un massimo per il tasso per incidenti e veicoli ogni 100 km di carreggiata per le Autostrade (rispettivamente 144,69 e 313,54 per la classificazione archi stradali 2017) e Genova per le Strade entro l’abitato sempre per incidenti e veicoli ogni 100 km (152,91 e 256,66). Per le strade extra-urbane, invece, le province di medie dimensioni sono quelle più colpite: Monza e della Brianza presenta il valore massimo con 62,98 incidenti per 100 km e 125,67 veicoli.

Per quanto concerne i morti su Autostrade e raccordi, Strade entro l’abitato e fuori dell’abitato per 100 km di carreggiata (classificazione archi 2017) i massimi si registrano rispettivamente per: Modena (5,72), Ravenna (1,19), Napoli (1,68). Gli indicatori per i feriti sempre su Autostrade e raccordi, Strade entro l’abitato e fuori dell’abitato per 100 km di carreggiata (classificazione archi 2017) si registrano a Milano, Genova e Monza e della Brianza (222,04; 189,04; 98,48).

**Il set di indicatori di incidentalità stradale, calcolato utilizzando il parco veicolare**, misura il numero di incidenti, veicoli coinvolti, morti e feriti ogni 100 mila veicoli immatricolati nella provincia.

Per i tassi di incidentalità stradale e feriti per tipo di strada, rapportati al parco veicolare, sono più elevati a Savona per le autostrade (58,82 e 104,53 per 100.000 veicoli circolanti), a Genova per le Strade nell'abitato (697,96 e 862,84) e a Grosseto per le Strade fuori dall'abitato (157,63 e 238,62).

Gli indicatori calcolati mediante il rapporto tra veicoli coinvolti in incidenti stradali e parco veicolare (per 100.000 veicoli circolanti) fanno registrare massimi in corrispondenza di Bologna per le Autostrade e raccordi (114,27), Genova per le Strade entro l'abitato (1171,51), Pisa per le strade fuori dall'abitato (268,82).

La mortalità stradale (per 100.000 veicoli immatricolati) risulta più elevata a Verona su Autostrade (2,76), a Pistoia su Strade nell'abitato (7,52) e a Foggia per le Strade extraurbane (14,24).

Da segnalare, a corredo della descrizione degli indicatori, che per le autostrade, per le province con la presenza di importanti nodi infrastrutturali e fattori stagionali, il numero di immatricolazioni nella provincia, non proporzionato all'effettivo flusso di traffico sul territorio, potrebbe amplificare la distorsione per la distribuzione degli indicatori. Il pendolarismo, inoltre, ad esempio, non è evidenziato nella distribuzione del parco veicolare nelle aree urbane. Per le strade extra-urbane, invece, gli indicatori calcolati non consentono di tener conto della presenza della fitta rete di strade consolari sul territorio e dell'effettiva portata della circolazione dei veicoli (Cfr. tavole di dati - Tavola 2.16).

**Il set di indicatori di incidentalità stradale, calcolato utilizzando la popolazione residente**, misura il numero di incidenti, veicoli coinvolti, morti e feriti ogni milione di residenti nella provincia.

Per i tassi di incidentalità stradale, veicoli e feriti per tipo di strada, rapportati alla popolazione residente, sono più elevati a Savona per le autostrade (rispettivamente 565,13; 1087,07 e 1004,28 per 100.000 abitanti per incidenti, veicoli e feriti), a Genova per le Strade nell'abitato (rispettivamente 5676,03, 9527,11 e 7016,93 per 100.000 abitanti per incidenti, veicoli e feriti) e a Grosseto per le Strade fuori dall'abitato (rispettivamente 1462,81; 2480,03 e 2214,47 per 100.000 abitanti per incidenti, veicoli e feriti).

I tassi di mortalità stradale (per 100.000 abitanti) risultano più elevati a Verona su Autostrade (23,84), a Ravenna su Strade entro l'abitato (63,88) e a Foggia per le Strade extraurbane (95,95).

Da segnalare che la popolazione residente nelle province non include, ad esempio, il numero effettivo degli utenti esposti al rischio in presenza di nodi della rete autostradale, portando, spesso, a valori non realistici degli indicatori. La presenza di aree portuali, aree di transito e di insediamenti produttivi nelle aree urbane, invece, portano all'esposizione al rischio di un numero ben più alto di individui, rispetto a quelli inclusi tra i residenti. Anche per le strade extra-urbane non si tiene conto della reale portata del fenomeno. Gli indicatori in questo caso, quindi, potrebbero essere distorti e amplificati (Cfr. tavole di dati Tavola 2.17).



**Il nuovo set di indicatori di incidentalità per estesa stradale ponderati con l'informazione sulla presenza di punti di traffico** misura il numero di incidenti, veicoli coinvolti, morti e feriti ogni 100 chilometri di carreggiata nella provincia, "depurato" dall'effetto sull'incidentalità causato dalla presenza dei punti di traffico sulle strade. Il calcolo viene effettuato mediante il prodotto tra il valore degli indicatori per estesa stradale e la percentuale complementare alla presenza di archi con punti di traffico sulle strade della provincia (Cfr. tavole di dati Tavola 2.15 T). Nella tabella emerge come alcune province nella graduatoria dell'indicatore, rispetto alla sola estesa stradale, presentino posizioni diverse rispetto a quella depurata dall'effetto traffico. È il caso degli incidenti sulle Autostrade a Genova e Milano, ad esempio, per le quali si invertono, infatti, le posizioni a svantaggio di Genova, considerando la reale pericolosità delle strade al netto del traffico.

I tassi di incidentalità stradale e feriti ogni 100 chilometri di carreggiata ponderati con l'informazione sulla presenza di punti di traffico presentano massimi per le Autostrade e raccordi a Genova (85,58 e 134,92 rispettivamente per incidenti e feriti) e Milano per i veicoli coinvolti (177,89), sulle Strade entro l'abitato a Genova per i tassi per incidenti e feriti per 100 chilometri di carreggiata (rispettivamente 116,88 e 144,49 per incidenti, e feriti), per le Strade fuori dall'abitato a Monza e della Brianza per incidenti, veicoli e feriti (52,79, 105,34 e 98,48 per incidenti, veicoli e feriti).

Per quanto concerne i tassi di mortalità si registra un massimo in corrispondenza della provincia di Verona sulle Autostrade (4,35 morti ogni 100 chilometri di carreggiata, depurati dal traffico), per le strade urbane a Ravenna (1,02) e per le strade extraurbane a Napoli (1,60) (Cfr. tavole di dati Tavola 2.15 T).

Il set di indicatori per il 2017 è stato corredato, infine, da tabelle con indici sintetici di incidentalità stradale, calcolati con il metodo MZ media aritmetica (z-scores) (Software Ranker - Cfr. Paragrafo 4) per arco stradale e arco stradale in presenza di traffico, parco veicolare e popolazione (cfr. tavole di dati – Tavola 2.18). Sono stati infine ricalcolati i valori degli indici di incidentalità stradale secondo il metodo MZ per arco stradale, parco veicolare e popolazione anche utilizzando la classificazione sistematica degli archi, analoga a quella in uso per la scorsa edizione, per poter operare un confronto tra gli anni 2016 e 2017 (Cfr. tavole di dati Tavola 2.19).

Occorre segnalare che il software Ranker, utilizzato per il calcolo degli indicatori sintetici richiede di impostare la polarità dell'indicatore per poter definire un ranking dei valori, attribuendone un significato specifico con segno + o -.

Gli indicatori di sintesi 2016 sono stati calcolati impostando la polarità con segno positivo, per evidenziare la maggiore pericolosità connessa alla sicurezza stradale nelle province, nel caso di valore più elevato dell'indicatore.

Per i dati 2017 è stato incluso un ulteriore elemento, il "fattore traffico". I nuovi pesi utilizzati per il calcolo degli indicatori per estesa stradale, quindi, sono rappresentati dal complemento (1-p) della percentuale (p) delle estese stradali con punti di traffico, con la finalità di depurare gli indici dall'effetto traffico ed evidenziare le conseguenze del comportamento alla guida dei conducenti e delle criticità nelle infrastrutture. È stato ritenuto, pertanto, più intuitivo, per la lettura dei valori, considerare la polarità negativa dell'indicatore, legata a situazioni di svantaggio nelle province.

Per poter effettuare un confronto diretto tra gli indicatori di sintesi per gli anni 2016 e 2017, è stata invertita la polarità per gli indici già diffusi e riferiti all'anno 2016 (Cfr. tavole di dati Tavola 2.19).

#### 4. La costruzione degli indicatori sintetici

Per la costruzione e l'analisi di indicatori sintetici sulle dimensioni prese in esame, sono stati utilizzati due strumenti standard sviluppati in Istat: RankerTool desktop e i.Ranker web application (per i richiami alla metodologia Cfr. Appendice A).

Entrambi, con poche differenze, permettono all'utente di:

- acquisire in formato standard (csv o .xls) i valori dei diversi indicatori elementari disponibili per ogni entità, già calcolati e normalizzati;
- effettuare il calcolo, per ogni entità, di uno o più metodi tra quelli implementati;
- visualizzare i valori e le graduatorie risultanti dall'applicazione di ogni singolo metodo, in forma sia tabellare sia grafica;
- porre a confronto le graduatorie mediante i diversi metodi.

Lo strumento Ranker utilizzato prevede la possibilità di scelta anche di diversi metodi.

In particolare, il metodo della Media dei valori standardizzati (MZ), il metodo MR - degli indici relativi (IR), il metodo MPI - Mazziotta-Pareto Index (De Muro et al. 2010), il Metodo delle Graduatorie (MG) e il Metodo tassonomico di Wroclaw (MTW). Le ultime due opzioni sono state però escluse a priori, poiché non ritenute idonee per il ranking degli indicatori sull'incidentalità stradale e a rappresentare il fenomeno oggetto di studio. Il metodo delle graduatorie, infatti, non tiene conto dei dati anomali (outliers), mentre il metodo tassonomico di Wroclaw si basa sulla distanza da un'unità ideale nello spazio euclideo.

L'analisi dei dati è stata condotta seguendo due fasi distinte:

- **Standardizzazione dei singoli indicatori:** la standardizzazione è finalizzata a ottenere indicatori depurati dalle specifiche unità di misura, che abbiano eguale ampiezza (per es. tra 0 e 100) o ordine di grandezza (per es. media 0 e scarto 1).
- **Aggregazione degli indicatori standardizzati:** una volta caricata la matrice con i dati elementari e dopo aver effettuato la loro standardizzazione, con Ranker<sup>7</sup>.

Per la selezione del metodo da utilizzare per la costruzione degli indici sintetici è stato effettuato un **test di robustezza e condotta una analisi di influenza** mediante l'applicazione del software COMIC<sup>8</sup> (COMposite Indices Creator) per la costruzione di indici compositi, attraverso metodi di sintesi e la valutazione della loro consistenza. Tramite il software COMIC è stato possibile effettuare la

---

<sup>7</sup> La nota metodologica e la guida all'utilizzo sono disponibili in Appendice A del presente documento e ai link:

<http://www.istat.it/en/files/2014/03/RANKER-manuale.pdf>

[https://i.ranker.istat.it/wr\\_guida.htm](https://i.ranker.istat.it/wr_guida.htm)

[https://i.ranker.istat.it/wr\\_guida\\_notametodologica.htm](https://i.ranker.istat.it/wr_guida_notametodologica.htm)

<sup>8</sup> COMIC (COMposite Indices Creator) <https://www.istat.it/it/metodi-e-strumenti/metodi-e-strumenti-it/analisi/strumenti-di-analisi/comic>

comparazione tra il grado di robustezza per i principali metodi applicabili, in particolare in tabella 7 sono presentati i dati sulle medie e scarti quadratici medi degli “shifts” per i vari metodi (Cfr. Tabella 7).

Dallo studio dei risultati dell’analisi d’influenza, a seguito dell’effettuazione dei test di robustezza su un set di metodi di sintesi, la scelta ottimale risulta essere orientata ai metodi di MZ - media aritmetica (z-scores) e MPI - Mazziotta-Pareto Index.

Viste le caratteristiche del metodo MZ - media aritmetica (z-scores), metodo più conosciuto e di più facile interpretazione per la lettura dei risultati e accessibile a tutti gli utenti, è stato selezionato per la presentazione dei dati contenuti nel presente lavoro.

**Tabella 7 - Riepilogo delle medie e degli scarti quadratici medi degli “shifts”(a)**

Metodo di sintesi	Media delle medie degli shift	S.q.m. delle medie degli shift	Media degli s.q.m. degli shift	S.q.m. degli s.q.m. degli shift
Media indici 0-1	2,092	0,828	2,152	0,857
MZ Media aritmetica z-scores	2,224	0,604	2,356	0,631
Jevons statico	2,671	1,416	2,752	1,221
MPI	2,183	0,667	2,440	0,938
MPI corretto	2,136	0,862	2,288	1,090
IMG	2,006	1,098	2,530	2,057

(a) Risultati del test di robustezza, mediante il software COMIC, per il calcolo di indicatori di sintesi per i tassi di incidentalità stradale per arco stradale, parco veicolare e popolazione. Anno 2016.

L'applicazione di diversi criteri di ponderazione porta a risultati molto divergenti. L’analisi del fenomeno dell’incidentalità, utilizzando indicatori basati sull’estesa chilometrica stradale, consente di eliminare parte degli effetti della componente di mobilità del fenomeno e di effettuare un confronto territoriale più adeguato.

Nella tabella 8 sono presentati i valori delle covarianze, riferite alle variazioni di ogni variabile riportata nella matrice rispetto a tutte le altre.

**Tabella 8 - Matrice di covarianza tra gli indicatori calcolati: risultati dall’applicazione del software Ranker su dati 2017**

Ranghi	Arco Stradale	Parco Veicolare	Popolazione residente
Arco Stradale	1,0000	0,5588	0,4550
Parco Veicolare	0,5588	1,0000	0,9331
Popolazione residente	0,4550	0,9331	1,0000

Dai valori riportati in tabella si evince, infatti, che il rischio di un soggetto di essere coinvolto in un incidente stradale nel territorio della provincia di residenza (0,4550) o della provincia di immatricolazione del veicolo (0,5588) risulta significativamente più basso se comparato al caso nel quale si considerano le caratteristiche dell’arco stradale di accadimento dell’incidente.

La misurazione dell'incidentalità, legata alle infrastrutture presenti sul territorio, quindi, consente di arrivare ad un risultato più vicino a quanto si otterrebbe calcolando la reale esposizione al rischio di sinistro utilizzando i reali flussi di traffico.

Nella tabella 9 sono presentati i valori delle covarianze, riferite alle variazioni dei diversi criteri di classificazione degli archi stradali.

**Tabella 9 - Matrice di covarianza nell'applicazione dei criteri di classificazione degli archi stradali su dati 2017**

Ranghi	Classificazione sistematica	Classificazione Analitica	Classificazione con traffico
Classificazione sistematica	1,0000	0,9940	0,9793
Classificazione Analitica	0,9940	1,0000	0,9828
Classificazione con traffico	0,9793	0,9828	1,0000

Dai valori riportati in tabella, si evince che il criterio analitico di classificazione degli archi stradali porta ad un miglioramento qualitativo nell'attribuzione dell'evento secondo la variabile di rilevazione dell'indagine (0,9940) senza alterare significativamente le due distribuzioni provinciali. L'implementazione del fattore traffico come depurazione della componente di circolazione dai restanti fattori di incidentalità stradale quali quelli infrastrutturali e comportamentali dei conducenti, porta ad un criterio di valutazione più oggettivo del fenomeno (0,9828). Tale misurazione rende più evidente l'individuazione delle azioni di miglioramento dei fattori di sicurezza stradale da parte degli stakeholder e nelle azioni di prevenzione da parte delle Forze dell'Ordine preposte al controllo delle strade.

## APPENDICE A – Lo strumento Ranker per la costruzione di un indice sintetico

### A1. La costruzione di un indice sintetico<sup>9</sup>

Un indice sintetico è una combinazione matematica (o aggregazione) di un insieme di indicatori elementari (variabili) che rappresentano le diverse componenti di un concetto multidimensionale da misurare (per es., sviluppo, qualità della vita, benessere, ecc.). Quindi, gli indici sintetici sono usati per misurare concetti che non possono essere catturati da un unico indicatore.

Generalmente, un indice sintetico dovrebbe essere basato su un quadro teorico che consenta di selezionare, combinare e pesare gli indicatori elementari in modo da riflettere le dimensioni o la struttura del fenomeno che si sta misurando. Tuttavia, la sua costruzione non è semplice e, spesso, richiede una serie di decisioni/scelte (metodologiche o no) da prendere.

La procedura per costruire un indice sintetico prevede i seguenti passi.

1) *Definizione del fenomeno da misurare.* La definizione del concetto dovrebbe fornire un senso chiaro di ciò che si intende misurare con l'indice sintetico. Essa dovrebbe riferirsi a un quadro teorico, comprendente diversi sottogruppi e indicatori sottostanti. Un aspetto fondamentale riguarda l'identificazione del modello di misurazione, per il quale si distinguono due diversi approcci:

- modello *riflessivo*, se gli indicatori sono visti come “effetto” del fenomeno da misurare, per cui un cambiamento nella variabile latente si riflette in un cambiamento degli indicatori osservati (gli indicatori sono intercambiabili e le correlazioni tra di essi sono spiegate dal modello);
- modello *formativo*, se gli indicatori sono visti come “causa” del fenomeno da misurare, per cui un cambiamento nella variabile latente non implica necessariamente un cambiamento di tutti gli indicatori osservati (gli indicatori non sono intercambiabili e le correlazioni tra di essi non sono spiegate dal modello).

2) *Selezione di un gruppo di indicatori elementari.* La forza e la debolezza di un indice sintetico riflettono la qualità degli indicatori elementari sottostanti. Gli indicatori dovrebbero essere selezionati in base alla loro rilevanza, validità, tempestività, disponibilità, ecc. La fase di selezione è il risultato di un compromesso tra possibili ridondanze e perdita di informazione. Un approccio statistico alla scelta degli indicatori consiste nel calcolare le correlazioni tra potenziali indicatori e includere quelli meno correlati tra loro. Tuttavia, il processo di selezione dipende dal modello di misurazione adottato: in un modello *riflessivo*, tutti gli indicatori devono essere correlati tra loro, mentre in un modello *formativo* possono essere incorrelati.

3) *Normalizzazione degli indicatori elementari.* La normalizzazione ha lo scopo di rendere gli indicatori comparabili in quanto essi, spesso, sono espressi in unità di misura diverse e possono avere polarità [2] differenti. Pertanto, è necessario portare gli indicatori a uno stesso standard, invertendo la polarità, laddove necessario, e trasformandoli in numeri puri, adimensionali. Esistono

---

<sup>9</sup> RankerTool desktop software (<http://www.istat.it/en/tools/methods-and-it-tools/analysis-tools/ranker>)  
i.Ranker web application (<https://i.ranker.istat.it>)

vari metodi di normalizzazione, come la trasformazione in ranghi, il “re-scaling” in indici relativi (o metodo Min-Max) e la standardizzazione (calcolo dei z-scores).

4) *Aggregazione degli indicatori normalizzati*. È la combinazione di tutte le componenti per formare l’indice sintetico (funzione matematica). Tale passo richiede la definizione dell’importanza di ciascun indicatore elementare (sistema di ponderazione) e l’identificazione della tecnica di sintesi (compensativa o non-compensativa). Il sistema più semplice e usato per la definizione del sistema di ponderazione – ma non per questo esente da critiche – consiste nell’assegnare lo stesso peso a tutti gli indicatori. Per quanto riguarda la tecnica di sintesi, si distinguono due approcci:

- approccio *compensativo*, se gli indicatori elementari sono considerati sostituibili[3]; in tal caso, si adottano delle funzioni lineari, come la media aritmetica;
- approccio *non compensativo*, se gli indicatori elementari sono considerati non-sostituibili [4] ; in tal caso, si adottano delle funzioni non lineari in cui si tiene conto – implicitamente o esplicitamente – dello sbilanciamento tra i diversi valori, in termini di penalizzazione.

5) *Validazione dell’indice sintetico*. Consiste nel verificare che l’indice sintetico è coerente con il quadro teorico generale. In particolare, occorre valutare la capacità dell’indice di produrre risultati stabili e corretti (robustezza) e la sua capacità discriminante.

## A2. I metodi di sintesi

I metodi di sintesi disponibili su i.ranker si basano sull’assunzione di un modello di misurazione *formativo*, quelli utilizzati nel presente lavoro sono i seguenti:

- - Media dei valori standardizzati (MZ);
- - Media degli indici relativi (MR);
- - Mazziotta-Pareto index (MPI+/MPI-);

### **Media dei valori standardizzati (MZ)**

Data la matrice  $\mathbf{X}=\{x_{ij}\}$  di  $n$  righe (unità statistiche) e  $m$  colonne (indicatori), si calcola la matrice trasformata  $\mathbf{Z}=\{z_{ij}\}$ , con:

$$z_{ij} = \begin{cases} \frac{(x_{ij} - M_{x_j})}{S_{x_j}} & \text{se l'indicatore } j \text{ ha polarità positiva;} \\ -\frac{(x_{ij} - M_{x_j})}{S_{x_j}} & \text{se l'indicatore } j \text{ ha polarità negativa;} \end{cases}$$

dove  $M_{x_j}$  e  $S_{x_j}$  sono, rispettivamente, la media e lo scostamento quadratico medio dell’indicatore  $j$ .

L’indice sintetico, per l’unità  $i$ , è dato dalla formula:

$$MZ_i = \frac{\sum_{j=1}^m z_{ij}}{m}$$

### Media degli indici relativi (MR)

Data la matrice  $\mathbf{X}=\{x_{ij}\}$  di  $n$  righe (unità statistiche) e  $m$  colonne (indicatori), si calcola la matrice trasformata  $\mathbf{R}=\{r_{ij}\}$ , con:

$$r_{ij} = \begin{cases} \frac{(x_{ij} - \text{Min}_{x_i})}{(\text{Max}_{x_i} - \text{Min}_{x_i})} & \text{se l'indicatore } j \text{ ha polarità positiva;} \\ \frac{(\text{Max}_{x_i} - x_{ij})}{(\text{Max}_{x_i} - \text{Min}_{x_i})} & \text{se l'indicatore } j \text{ ha polarità negativa;} \end{cases}$$

dove  $\text{Min}_{x_i}$  e  $\text{Max}_{x_i}$  sono, rispettivamente, il minimo e il massimo dell'indicatore  $j$ .

L'indice sintetico, per l'unità  $i$ , è dato dalla formula:

$$\text{MR}_i = \frac{\sum_{j=1}^m r_{ij}}{m}$$

### Mazziotta-Pareto index (MPI<sup>+</sup>/MPI<sup>-</sup>)

Data la matrice  $\mathbf{X}=\{x_{ij}\}$  di  $n$  righe (unità statistiche) e  $m$  colonne (indicatori), si calcola la matrice trasformata  $\mathbf{Z}=\{z_{ij}\}$ , con:

$$z_{ij} = \begin{cases} 100 + \frac{(x_{ij} - M_{x_i})}{S_{x_i}} 10 & \text{se l'indicatore } j \text{ ha polarità positiva;} \\ 100 - \frac{(x_{ij} - M_{x_i})}{S_{x_i}} 10 & \text{se l'indicatore } j \text{ ha polarità negativa;} \end{cases}$$

dove  $M_{x_i}$  e  $S_{x_i}$  sono, rispettivamente, la media e lo scostamento quadratico medio dell'indicatore  $j$ .

L'indice sintetico, per l'unità  $i$ , è dato dalla formula [5] :

$$\text{MPI}_i^{+/-} = M_{x_i} \pm S_{x_i} \text{cv}_i$$

dove 
$$M_{x_i} = \frac{\sum_{j=1}^m z_{ij}}{m}; \quad S_{x_i} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (z_{ij} - M_{x_i})^2}{m}}; \quad \text{cv}_i = \frac{S_{x_i}}{M_{x_i}}$$

### A3. La scelta del metodo di sintesi

Come è noto, non esiste un metodo generale per la costruzione di indici sintetici. La loro costruzione è legata alla particolare applicazione, sia dal punto di vista teorico (assunzioni di base) che empirico (tipo di indicatori), e dipende dall'obiettivo prefissato, oltre che da una conoscenza approfondita del fenomeno da misurare.

Gli indici sintetici possono inviare messaggi fuorvianti se costruiti male o male interpretati e possono portare a conclusioni semplicistiche, se non sono usati insieme agli indicatori elementari. Tuttavia, i vantaggi degli indici sintetici sono chiari e possono essere riassunti in: (a) misurazione unidimensionale di fenomeni complessi, (b) facilità di interpretazione rispetto a una batteria di indicatori elementari (“dashboard” o “cruscotto”), (c) semplificazione dell’analisi dei dati (in particolare, ordinamento delle unità geografiche).

Nella tabella A1 sono riportate le principali caratteristiche dei metodi a disposizione, per la scelta di quello più adatto.

**Tabella A1.** Caratteristiche dei metodi di sintesi utilizzati

<b>Metodo di sintesi</b>	<b>Caratteristiche principali</b>
Media dei valori standardizzati (MZ)	Metodo compensativo Si basa sulla media aritmetica degli <i>z-scores</i> Ha media 0 e varia, all'incirca, tra -3 e +3 Assume che gli indicatori abbiano la stessa variabilità
Media degli indici relativi (MR)	Metodo compensativo Si basa sulla media aritmetica di valori relativi Varia tra 0 e 1 Non ha una media prefissata (si perde il riferimento del valor medio)
Mazziotta-Pareto index (MPI <sup>+</sup> /MPI <sup>-</sup> )	Metodo non compensativo Si basa su una media aritmetica penalizzata in base allo sbilanciamento dei valori Ha media 100 e varia, all'incirca, tra 70 e 130 Assume che gli indicatori abbiano la stessa variabilità È applicabile sia a fenomeni <i>positivi</i> (MPI <sup>-</sup> ) che a fenomeni <i>negativi</i> (MPI <sup>+</sup> ). Può essere scomposto in due parti: effetto “medio” (compensativo) ed effetto “penalità” (sbilanciamento)



## Bibliografia

- Aureli Cutillo E. (1996), *Lezioni di statistica sociale. Parte seconda, sintesi e graduatorie*, CISU, Roma.
- Delvecchio F. (1995), *Scale di misura e indicatori sociali*, Cacucci editore, Bari.
- Harbison F. H., Maruhn J., Resnick J. R. (1970). *Quantitative Analyses of. Modernization and Development*, Princeton University Press, New Jersey.
- Maggino F. (2008), *La misurazione dei fenomeni sociali attraverso indicatori statistici. Aspetti metodologici*, Università degli Studi di Firenze – Working paper, Firenze.
- Mazziotta M., Pareto A. (2011), Un indice sintetico non compensativo per la misura della dotazione infrastrutturale: un'applicazione in ambito sanitario, *Rivista di Statistica Ufficiale*, n. 1/2011, pp. 63-79.
- Mazziotta M., Pareto A. (2015). On a Generalized Non-compensatory Composite Index for Measuring Socio-economic Phenomena, *Social Indicators Research*, DOI 10.1007/s11205-015-0998-2.
- OECD (2008), *Handbook on Constructing Composite Indicators. Methodology and user guide*, OECD Publications, Paris.
- Silvio-Pometa J. F. (1973), *Typological study using the Wroclaw Taxonomic Method (A study of regional disparities in Venezuela)*, SHC/WS/316, UNESCO.

---

[1] Un indicatore elementare è un dato “elaborato” costruito, generalmente, rapportando un dato “grezzo” ad un altro che ne costituisce una base di riferimento (per es., “reddito pro-capite”).

[2] La “polarità” (o “verso”) di un indicatore elementare è il segno della relazione tra l’indicatore e il fenomeno da misurare (per es., nella costruzione di un indice sintetico di sviluppo, la “speranza di vita” ha polarità positiva, mentre la “mortalità infantile” ha polarità negativa).

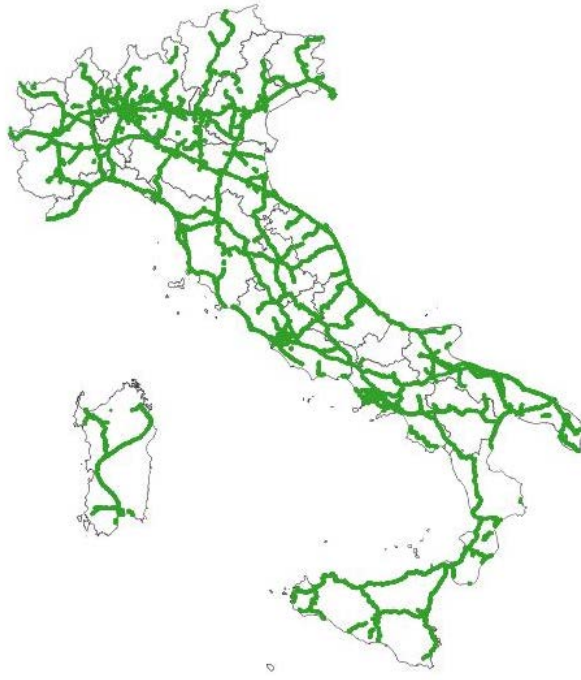
[3] Gli indicatori elementari sono detti “sostituibili” se un deficit in un indicatore può essere compensato da un surplus in un altro (per es., un valore basso in “Percentuale di persone che hanno partecipato ad attività spirituali o religiose” può essere compensato da un valore alto in “Percentuale di persone che hanno partecipato a incontri di associazioni ricreative o culturali” e viceversa).

[4] Gli indicatori elementari sono detti “non-sostituibili” se un deficit in un indicatore non può essere compensato da un surplus in un altro (per es., un valore basso in “Letti di ospedale per 1.000 abitanti” non può essere compensato da un valore alto in “Medici per 1.000 abitanti” e viceversa).

[5] È una forma generalizzata, poiché include due indici in uno. Se l’indicatore è di tipo *crescente* o *positivo*, ossia se a variazioni crescenti dell’indicatore corrispondono variazioni positive del fenomeno (per esempio, il benessere), si utilizza MPI-, viceversa, se l’indicatore è di tipo *decrescente* o *negativo*, ossia se a variazioni crescenti dell’indicatore corrispondono variazioni negative del fenomeno (per esempio, il malessere), si utilizza MPI+.

**APPENDICE B – Rappresentazione cartografica di alcune tipologie di archi stradali da OpenStreetMap**

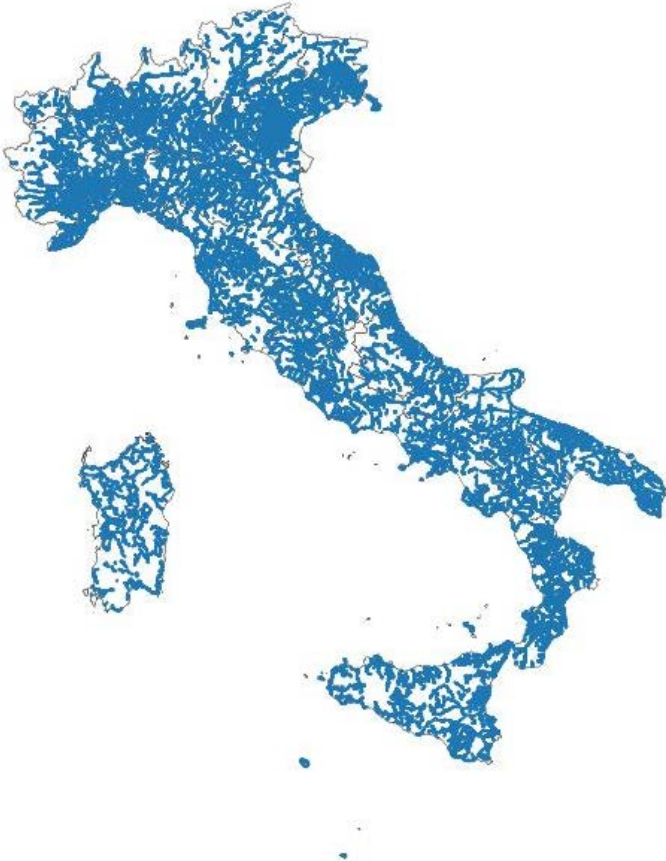
**Figura B1. Mappa delle Motorways and trunks. Anno 2017 (Open Street Map)**



**Figura B2. Mappa delle Primary Roads. Anno 2017 (Open Street Map)**



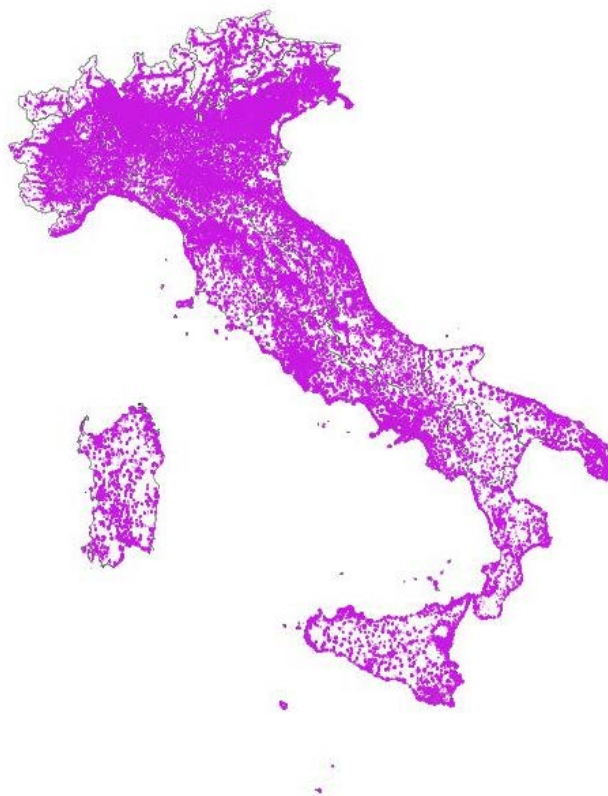
**Figura B3. Mappa delle Secondary Roads. Anno 2017 (Open Street Map)**



**Figura B4. Mappa delle Tertiary. Anno 2017 (Open Street Map)**



**Figura B5. Mappa delle Residential living. Anno 2017 (Open Street Map)**



■ Cura e redazione del contributo: Silvia Bruzzone ([bruzzone@istat.it](mailto:bruzzone@istat.it); tel. 06 4673.7384); Marco Broccoli ([broccoli@istat.it](mailto:broccoli@istat.it); tel. 06 4673.3312).