



POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile

Tesi di Laurea magistrale

**Stima dei flussi di traffico attraverso dati di
localizzazione da celle telefoniche**

**Traffic flows estimation through mobile phone
tracking data**

Relatori:

Prof. Ing. Marco Diana
Ing. Andrea Chicco

Candidato:

Flavio Pallavicino
Matr. n. 231375

Dicembre 2022

Sintesi

I dati di affollamento del territorio, ricavati dalla geolocalizzazione delle SIM presenti all'interno delle celle telefoniche, costituiscono uno strumento innovativo a supporto delle analisi e delle strategie di pianificazione territoriale. Ad oggi, queste informazioni, vengono rese disponibili dai principali provider di telefonia alla Pubblica Amministrazione attraverso accordi commerciali, allo scopo di quantificare le presenze sul territorio ed individuarne trend e composizione.

Nella corrente trattazione si propone un impiego alternativo dei dati cellulari finalizzato allo studio del traffico. In questo caso, le informazioni sono fornite dal servizio "TIM – City Forecast" per l'anno 2019 e riferite alle aree di censimento ISTAT (ACE) appartenenti alla Città metropolitana di Torino. Nello specifico, analizzando i "DestinationData", ovvero le destinazioni raggiunte dagli individui nell'arco di 60 minuti, si produrrà una ricostruzione dei flussi veicolari orari per l'area di analisi di Torino e cintura.

La prima parte dell'analisi è volta alla ricerca di un metodo di riporto all'universo dei dati campionari che, a causa della loro natura, non risultano direttamente comparabili con le tradizionali fonti statistiche di riferimento, ossia il censimento ISTAT e le indagini IMQ sviluppate dall'Agenzia della Mobilità Piemontese.

L'elaborazione prosegue con la definizione di un modello di offerta infrastrutturale adeguato alla zonizzazione imposta dal dataset TIM. La costruzione del grafo stradale avviene attraverso l'unione delle informazioni georiferite tratte da OpenStreetMap (OSM) e dalla Base Dati Territoriale di Riferimento degli Enti piemontesi (BDTRE).

Attraverso l'analisi della ripartizione modale, del raggio di mobilità e della distribuzione oraria degli spostamenti, i dati campionari vengono, poi, elaborati per produrre la matrice O/D dell'ora di punta (7:00-8:00) relativa alla mobilità veicolare privata, successivamente assegnata al grafo della rete stradale con l'ausilio del software OmniTRANS al fine di stimare i flussi veicolari; i flussi così ottenuti vengono infine confrontati con le rilevazioni puntuali fornite dalla società 5T s.r.l., misurate a mezzo di spire induttive e sensori aerei, allo scopo di quantificare l'errore dei valori stimati.

Dal processo di validazione dei risultati, si riscontra un errore di assegnazione relativo, contenuto al di sotto del 20% per il 34% degli archi dotati di sensoristica, ed un errore assoluto, inferiore a 300 veicoli/ora nel 58% dei casi.

In conclusione, grazie al metodo definito nel corso della trattazione, risulta possibile adoperare i dati cellulari per ricavare una stima verosimile dei flussi di traffico. Le principali incongruenze riscontrate sono, prevalentemente, imputabili alla carenza conoscitiva sulla natura dei dati di input ed alle inevitabili approssimazioni introdotte durante la modellazione dell'offerta infrastrutturale.

Per eventuali sviluppi futuri si suggerisce di ampliare le conoscenze in merito ai dati cellulari, auspicando un maggior scambio di informazioni con il provider, e di adottare un modello d'offerta più raffinato di quello prodotto sulla base dei dati open source. Con i mezzi adeguati sarebbe, infatti, possibile sfruttare al meglio questa preziosa risorsa per la produzione di stime più accurate.

Abstract

Territorial crowding data, derived from the geolocation of SIM cards within the telephone cells, constitute an innovative tool to support regional planning analysis and strategies. To date, this information is made available by major mobile phone providers to the public administration, through trade agreements, in order to quantify the presences on the territory and identify their trends and composition.

In the following pages an alternative use of cellular data will be proposed, which aims at traffic examinations. In this case, information is provided by the "TIM - City Forecast" service for the year 2019 referring to the ISTAT census areas (ACE) of the Metropolitan City of Turin. In particular, analyzing the "Destination Data", that is the destinations reached by individuals in 60 minutes, will be produced a reconstruction of hourly vehicular flows for the study area of Turin and suburbs.

The first part of the analysis is aimed at finding a method to scale sample data to their universe, that due to their nature, are not directly comparable with the traditional statistical sources, that are ISTAT census and IMQ surveys developed by the Mobility Agency of Piedmont.

The elaboration continues with the definition of an infrastructure supply model, suitable for the zoning imposed by the TIM dataset. The construction of the road graph is made through the union of the georeferenced information from OpenStreetMap (OSM) and the Base Dati Territoriale di Riferimento degli Enti piemontesi (BDTRE).

Then, through the analysis of modal split, mobility radius and hourly distribution of trips, the sample data are processed in order to produce the peak hour O/D matrix (7:00-8:00 am) related to private vehicular mobility, which is subsequently assigned to the graph through the OmniTRANS software. The resulting flows are eventually compared with the traffic counts provided by the company 5T s.r.l., which are measured using inductive loops and traffic cameras, in order to quantify the estimated values errors.

When examining road links with sensors, the validation process finds a relative error that is less than 20% in 34% of cases, and an absolute error which is less than 300 vehicles/hour in 58% of cases.

In conclusion, thanks to this method it is possible to use the cellular data in order to obtain a plausible traffic flow estimate. For the most part the inaccuracies can be traced back to two main reasons: they can be due to the lack of knowledge about the TIM input data nature or to approximations during the infrastructure supply modelling.

For future developments, it is suggested to expand the cellular data knowledge hoping for more exchange of information with the provider, and also to adopt a more accurate supply model than the one produced with opensource data. Indeed, with the appropriate tools it would be possible to use this information better and obtain more accurate results.

Indice

1. Introduzione	1
2. Il dataset “TIM - City Forecast”	3
2.1. Descrizione dei contenuti e della struttura del dataset	4
2.1.1 Definizione del LayerId – Basi territoriali ISTAT.....	5
2.1.2 PresenceData.....	7
2.1.3 OriginData.....	8
2.1.4 DestinationData.....	9
2.1.5 Classe Viaggiatori (variabili Vr, Vp, Vi, Ve).....	11
3. Analisi e caratterizzazione del campione TIM	12
3.1. Analisi preliminare.....	12
3.1.1 Relazione tra PresenceData e DestinationData – Bilancio spostamenti per le ACE di Torino	13
3.1.2 Intervallo di campionamento e tempi di percorrenza.....	17
3.2. Tasso di campionamento atteso – quota di mercato TIM	19
3.3. Tasso di campionamento per motivo di spostamento.....	21
3.3.1 Popolazione insistente per studio e lavoro – 2018	22
3.3.1.1 Città metropolitana di Torino	24
3.3.1.2 Comune di Torino	25
3.4. Tasso di campionamento per spostamenti tra macroaree	27
3.4.1 Confronto spostamenti IMQ con valori campionati da TIM.....	28
3.4.1.1 Focus sulle zone IMQ della cintura di Torino	30
3.5. Ipotesi sulle modalità di campionamento ed assunzioni derivanti dall’analisi	33
4. Definizione dell’area di studio	36
4.1. Definizione delle macroaree d’analisi	36
4.2. Area di studio interna ed esterna.....	39
4.3. Zonizzazione	41
4.3.1 Zone interne all’area di studio - Aree di censimento (ACE)	42
4.3.2 Individuazione e caratterizzazione dei poli e dei centroidi interni all’area di studio.....	49
4.3.2.1 Poli e centroidi generatori.....	51
4.3.2.2 Poli e centroidi attrattori.....	53
4.3.2.3 Centroidi risultanti.....	56
4.3.3 Zone esterne all’area di studio	58

5. Costruzione del grafo di riferimento.....	64
5.1. Grafo OpenStreetMap.....	65
5.1.1 La classificazione stradale OSM – fclass.....	66
5.1.2 Il verso di percorrenza degli elementi stradali OSM – oneway.....	67
5.1.3 Le intersezioni a livelli sfalsati OSM.....	68
5.1.4 La procedura di costruzione del grafo OSM.....	68
5.1.4.1 Selezione delle strade principali.....	69
5.1.4.2 Selezione degli elementi stradali a servizio dell’area di studio.....	72
5.1.4.3 Pulizia degli elementi stradali isolati.....	77
5.1.4.4 Individuazione dei nodi di intersezione.....	78
5.1.4.5 Correzione degli elementi lineari in corrispondenza dei nodi di intersezione.....	84
5.1.4.6 Costruzione degli archi.....	90
5.2. Grafo BDTRE.....	107
5.2.1 Grafo Supervisore Regionale del traffico (SVR).....	107
5.2.2 Descrizione degli attributi associati agli elementi BDTRE.....	108
5.2.3 Selezione degli elementi BDTRE.....	110
5.2.3.1 Preselezione su area rettangolare.....	110
5.2.3.2 Preselezione delle geometrie su base attributo.....	112
5.2.3.3 Selezione degli elementi di rotatoria.....	113
5.2.3.4 Selezione degli elementi di tronco di carreggiata.....	115
5.2.4 Analisi dei nodi BDTRE.....	118
5.2.4.1 Classificazione preliminare dei nodi.....	118
5.2.4.2 Correzione interruzioni.....	121
5.2.4.3 Correzione intersezioni a livelli sfalsati.....	122
5.2.4.4 Correzione errori residui.....	123
5.2.5 Valorizzazione degli attributi mancanti tramite imputazione.....	128
5.2.5.1 Descrizione del criterio di imputazione adottato.....	129
5.2.5.2 Procedura operativa.....	130
5.2.6 Costruzione degli archi BDTRE.....	135
5.2.6.1 Aggregazione preliminare delle geometrie.....	135
5.2.6.2 Aggregazione aggiuntiva degli elementi loop.....	136
5.2.6.3 Aggregazione definitiva.....	142
5.2.6.4 Definizione delle proprietà globali degli archi.....	147
5.3. Grafo risultante.....	155
5.3.1 Proiezione degli attributi BDTRE sul grafo OSM.....	155
5.3.1.1 Associazione per vicinanza.....	156

5.3.1.2	Correzione delle associazioni 1 a molti	157
5.3.1.3	Integrazione delle associazioni incomplete.....	160
5.3.1.4	Integrazione delle associazioni mancanti.....	162
5.3.1.5	Determinazione delle proprietà globali.....	166
5.3.2	Valutazione e correzione degli attributi globali	172
5.3.2.1	Correzione orientamento degli elementi di rotatoria.....	175
5.3.2.2	Determinazione della classe funzionale associata a ciascun arco.....	176
5.3.2.3	Determinazione del numero di corsie	179
5.3.2.4	Correzione della capacità degli archi.....	181
5.4.	Sintesi finale	183
6.	Definizione degli archi fittizi.....	184
6.1.	Archi fittizi relativi ai centroidi interni all'area di studio	184
6.2.	Archi fittizi relativi alle zone esterne all'area di studio	189
7.	Determinazione della matrice oraria relativa alla mobilità motorizzata.....	196
7.1.	Definizione dell'albero dei cammini minimi.....	197
7.1.1	Importazione del grafo su OmniTRANS	197
7.1.1.1	Preparazione degli shapefile per l'importazione.....	198
7.1.1.2	Inizializzazione del progetto OmniTRANS	204
7.1.1.3	Importazione degli shapefile	206
7.1.2	Calcolo delle matrici di impedenza.....	210
7.2.	Stima della ripartizione modale per l'area di studio	212
7.2.1	Stima del raggio di mobilità per area da dati campionari TIM	213
7.2.1.1	Associazione dei cammini minimi agli spostamenti campionari	214
7.2.1.2	Analisi del raggio di mobilità per macroarea.....	215
7.2.2	Stima della ripartizione modale per area da dati IMQ.....	218
7.2.3	Valutazione dello share modale in funzione del raggio di mobilità (backcalculation).....	222
7.2.4	Coefficienti di conversione globali	225
7.3.	Individuazione dell'orario di punta.....	227
7.4.	Definizione della matrice dei flussi orari	230
8.	Stima dei flussi e validazione dei risultati	231
8.1.	Assegnazione dei flussi al grafo.....	231
8.1.1	Importazione della matrice O/D oraria relativa alla mobilità motorizzata	232
8.1.2	Assegnazione Deterministic User Equilibrium.....	234
8.1.3	Rappresentazione del traffico stimato	239

8.2. Confronto qualitativo tra flussi stimati e “Typical traffic” tratto da Google Maps	244
8.3. Validazione dei risultati	248
8.3.1 Selezione dei sensori 5T	249
8.3.1.1 Preselezione dei sensori	250
8.3.1.2 Selezione dei sensori associati agli archi del grafo.....	251
8.3.2 Validazione primaria - confronto tra flussi stimati e flussi misurati dai sensori 5T	255
8.3.2.1 Distribuzione di frequenza dell’errore relativo	257
8.3.2.2 Distribuzione di frequenza dell’errore assoluto	261
8.3.2.3 Distribuzione spaziale dell’errore assoluto	265
8.3.2.4 Errore standard delle stime	267
8.3.3 Validazione integrativa - confronto tra flussi stimati e TGM da grafo BDTRE.....	270
8.3.3.1 Verifica di congruenza tra flussi misurati dai sensori 5T e TGM da grafo BDTRE.....	271
8.3.3.1.1 Distribuzione di frequenza dell’errore relativo	271
8.3.3.1.2 Distribuzione di frequenza dell’errore assoluto	273
8.3.3.1.3 Errore standard delle stime	274
8.3.3.2 Confronto tra i flussi stimati dall’assegnazione ed il traffico orario derivato dal TGM	275
8.3.3.2.1 Distribuzione di frequenza dell’errore relativo	276
8.3.3.2.2 Distribuzione di frequenza dell’errore assoluto	278
8.3.3.2.3 Distribuzione spaziale dell’errore assoluto	280
8.3.3.2.4 Errore standard delle stime	281
9. Conclusioni	282
Appendici	285
A.1 Dettagli sull’analisi e caratterizzazione del campione TIM (file Analisi_CampioneTIM.xlsx)	285
A.2 Dettagli su zonizzazione, poli e centroidi (file Zone-Area_Studio.xlsx)	301
A.3 Costruzione del grafo di riferimento.....	308
A.4 Dettagli sulla definizione della Matrice oraria dei flussi motorizzati (file Matr_Mob_Motorizzata.xlsx)	316
A.5 Dettagli sul metodo di validazione dei risultati (file ValidazioneRisultati.xlsx).....	335
Bibliografia e sitografia	350

1. Introduzione

In questa trattazione si propone uno studio della mobilità veicolare basato sull'analisi dei dati di presenza sul territorio, ricavati dalla geolocalizzazione delle carte SIM presenti all'interno delle celle telefoniche appartenenti alla rete TIM. In particolare, ci si focalizza sui dati ricavati dalle preelaborazioni condotte da Olivetti attraverso algoritmi di rilevazione del comportamento della folla, al fine di produrre una ricostruzione dei flussi veicolari orari per l'area di studio di Torino e cintura.

La volontà di approfondire le modalità d'impiego di questa risorsa scaturisce dalla consapevolezza del suo grande potenziale che, ad oggi, risulta, tuttavia, scarsamente esplorato nell'ambito della pianificazione dei trasporti.

Si ritiene, infatti, che i dati cellulari, data l'enorme pervasività dei dispositivi mobili, possano fornire una grande quantità di informazioni sulle abitudini della popolazione, pressoché diffuse su tutto il territorio ed in continua evoluzione, particolarmente utili per l'analisi della domanda di trasporto. Non essendo richiesta l'installazione di specifiche apparecchiature di misurazione o l'effettuazione di lunghe campagne d'indagine, inoltre, si potrebbero ottenere dei buoni risultati a fronte di costi e tempistiche molto contenuti, che permetterebbero un aggiornamento continuo delle informazioni, a differenza di quanto avviene, attualmente, seguendo i metodi tradizionali (es. misurazioni di traffico con spire induttive od indagini di mobilità autoamministrate o basate su interviste).

Nonostante gli aspetti sopracitati, l'utilizzo di questa risorsa in ambito trasportistico è, tutt'oggi, poco diffuso e dal carattere prettamente sperimentale, spesso limitato al mero completamento del quadro informativo tratto da altre fonti più pertinenti. Il contributo risulta scarso perché, per questioni di rispetto della privacy degli utenti, il dato viene presentato in forma aggregata e pre-elaborata da terzi e risulta strutturato in maniera inefficiente e non del tutto conforme agli standard adottati in ambito trasportistico. Queste condizioni inducono, comunemente, a trascurare questa risorsa in favore di un'altra categoria di informazioni apparentemente simili ma maggiormente consolidate e più adatte alle applicazioni di carattere trasportistico, ovvero le tracce GPS.

L'obiettivo di questa tesi di laurea è quello di fornire una stima dei flussi veicolari dell'ora di punta relativi all'area di studio di Torino e cintura, basata sull'analisi dei dati orari di mobilità campionati nella giornata del 13/02/2019, opportunamente filtrati, integrati e validati attraverso la consultazione di altre fonti più attendibili. L'elaborato, in questo modo, propone un impiego della risorsa scarsamente esplorato, così da permettere una maggiore comprensione del suo potenziale e stabilirne i limiti.

La tesi viene articolata in nove capitoli che, escludendo l'introduzione, riportano i seguenti contenuti.

Nel secondo capitolo vengono, innanzitutto, presentati i contenuti e la struttura del dataset, costituito da informazioni orarie di presenza, provenienza e destinazione riferite alle aree di censimento (ACE) definite dall'ISTAT.

Nel terzo capitolo si procede con la verifica e l'analisi delle proprietà principali dei dati di destinazione, ponendo particolare attenzione alla valutazione del tasso di campionamento e concludendo con l'enunciazione di alcune ipotesi semplificative sull'interpretazione delle informazioni campionarie.

Nel quarto viene, in primo luogo, proposta una macro-ripartizione del territorio, volta a favorire il confronto tra i dati cellulari ed i risultati dell'indagine di mobilità IMQ del 2013 ([Agenzia della mobilità piemontese, 2014](#))¹, mentre la zonizzazione dell'area di studio viene stabilita mantenendo il livello di aggregazione spaziale originario del dataset (aree ACE) per evitare di introdurre ulteriori approssimazioni. I

¹ <https://mtm.torino.it/it/dati-statistiche/indagini/indagine-imq-2013/base-dati-imq-2013/>

poli generatori ed attrattori di traffico vengono analizzati rispettivamente sulla base dei dati del censimento della popolazione e delle abitazioni (Istituto Nazionale di Statistica - ISTAT (b), 2016)² e del censimento dell'industria e dei servizi (Istituto Nazionale di Statistica - ISTAT (b), 2015)³ del 2011, per poi determinare il posizionamento dei centroidi di zona.

Nel quinto capitolo viene costruito il modello di offerta, ovvero il grafo stradale, in modo tale da garantire i principali collegamenti interzonalari diretti ed una sufficiente ridondanza di percorsi alternativi, necessaria per evitare un'eccessiva concentrazione dei flussi nelle successive fasi di assegnazione. La selezione dello schema di rete avviene sulla base delle informazioni georiferite di OpenStreetMap (Geofabrik GmbH and OpenStreetMap Contributors, 2018)⁴, integrate con tutte le variabili di traffico e gli attributi trasportistici ricavati, per proiezione geometrica, dal grafo BDTRE (CSI Piemonte, 2021)⁵ e completate attraverso un processo di imputazione statistica.

Una volta definite la zonizzazione ed il grafo stradale, nel sesto capitolo viene completato il modello di offerta attraverso l'introduzione degli archi fittizi.

Nel settimo capitolo viene, innanzitutto, definito l'albero dei cammini minimi, così da poter valutare le distanze interzonalari che congiuntamente alla ripartizione modale tipica dell'area d'analisi, ricostruita sulla base dei dati dell'indagine IMQ del 2013, forniscono i criteri per isolare la quota di spostamenti motorizzati dal campione totale. Selezionata l'ora di punta del mattino, riscontrata alle ore 7:00, ed i coefficienti di riempimento relativi al mezzo privato e pubblico, i dati di spostamento vengono, quindi, utilizzati per l'ottenimento della matrice oraria relativa alla mobilità motorizzata.

I flussi veicolari vengono stimati, nel corso del capitolo otto, attraverso un'assegnazione all'equilibrio di tipo deterministico basata sulla funzione di costo BPR ed i risultati vengono, infine, confrontati con le misurazioni di traffico della 5T (Team Analisi e Modelli Dati 5T, 2019)⁶, rilevate a mezzo di spire induttive e di sensori aerei urbani, e con il traffico giornaliero medio desunto dal grafo BDTRE.

Nel nono capitolo si conclude con il commento dei risultati ottenuti dell'elaborazione dei dati cellulari, esponendo gli elementi più rilevanti e fornendo alcuni spunti di miglioramento per eventuali sviluppi futuri.

In conclusione, grazie al metodo definito nel corso della trattazione, risulta possibile adoperare i dati cellulari per ricavare delle stime discretamente verosimili dei flussi di traffico, risultato che verrà esposto dettagliatamente nelle conclusioni finali di questa tesi.

² https://www.istat.it/storage/cartografia/variabili-censuarie/dati-cpa_2011.zip

³ https://www.istat.it/storage/cartografia/variabili-censuarie/dati-sce_2011.zip

⁴ <https://download.geofabrik.de/europe/italy/nord-ovest.html>

⁵ https://www.geoportale.piemonte.it/geonetwork/srv/ita/catalog.search#/metadata/r_piemon:2bb551d2-bad8-488f-9070-07f5a65b5f11

⁶ Dataset fornito su richiesta espressa tramite e-mail all'indirizzo info@5t.torino.it, soggetto al vincolo di utilizzo esclusivo finalizzato alla corrente trattazione.

2. Il dataset “TIM - City Forecast”

In questo capitolo viene, innanzitutto, descritto il dataset principale, contenente i dati di mobilità su cui si basa l'intera trattazione.

La descrizione che verrà proposta si basa principalmente sui contenuti dei file forniti a corredo del dataset, che comprendono alcuni estratti del manuale d'uso della piattaforma TIM ed alcune nozioni fornite dai tecnici di Olivetti, opportunamente integrati con le informazioni presenti sulla pagina web “TIM City Forecast – Olivetti SPA” (Olivetti S.p.A., 2016)⁷.

Nello specifico, l'informazione è stata ottenuta dalla piattaforma “TIM – City Forecast”, che è uno dei servizi standard della famiglia TIM Big Data, pensato principalmente per le Pubbliche Amministrazioni come strumento di supporto per le analisi di scenari previsionali e le strategie di pianificazione territoriale.

I dati possono essere richiesti specificando l'area ISTAT di interesse (per esempio una regione, una provincia o un comune) per la quale verranno fornite le informazioni pre-elaborate di presenza e mobilità, completate con i principali dati socio anagrafici del campione estratto, quali sesso, fascia di età, tipologia di contratto (business/consumer) e nazionalità, ed arricchite con stime sulla località di residenza o di lavoro.

Il dato grezzo consiste, essenzialmente, nella descrizione della distribuzione spaziale della folla, ricostruita attraverso la geolocalizzazione delle SIM rilevate all'interno delle celle telefoniche appartenenti all'infrastruttura di rete TIM. Tale informazione viene raccolta e gestita in forma aggregata ed anonimizzata, per garantire il rispetto delle norme sulla privacy, e, successivamente, elaborata dai sistemi ed applicativi di Olivetti che, attraverso algoritmi di rilevazione di comportamento, sono in grado di riprodurre le abitudini di spostamento della folla, generando dati di provenienza e destinazione.

L'analisi di questi dati è potenzialmente molto promettente, poiché i terminali mobili, data la loro pervasività, possono essere equiparati ad una rete capillare di sensori in grado di fornire una grande quantità di informazioni sulla distribuzione della popolazione e sulle dinamiche di spostamento della stessa, in tempi molto ristretti (near-real time) ed a costi contenuti.

I metodi di rilevamento tradizionali, infatti, necessitano di sensoristica specifica che, a fronte dei costi d'installazione, possono produrre risultati anche di maggior pregio ma, comunque, ristretti ai pochi punti su cui ricadono le sezioni di misura.

Poiché TIM è uno dei maggiori operatori telefonici nel contesto nazionale italiano, si ritiene che la quota di utenti campionati all'interno delle celle possa, dunque, garantire una buona rappresentatività della popolazione effettivamente presente sul territorio.

Come è possibile leggere sul sito “Gruppo TIM | City Forecast - Big Data” (TIM S.p.A., 2020)⁸, questa tipologia di dato ha già trovato alcune applicazioni come, ad esempio, per l'analisi delle presenze e della mobilità riguardanti il comune di Firenze, per lo studio del turismo riguardante il comune di Novara e per l'analisi della mobilità urbana e la pianificazione dei servizi di trasporto del comune di Torino.

Nel caso di Torino, in particolare, i dati cellulari TIM sono stati impiegati a supporto del progetto preliminare della linea 2 della metropolitana, per stimare la domanda di trasporto potenziale su cui dimensionare il servizio (Comune di Torino, 2018)⁹.

⁷ <https://www.olivetti.com/it/iot-big-data/analytics-big-data/tim-big-data/tim-city-forecast>

⁸ <https://www.gruppotim.it/it/innovazione/news-innovazione/city-forecast.html>

⁹ http://www.comune.torino.it/trasporti/bm~doc/180626_ppt_invio.pdf

L'utilizzo di questi dati in ambito trasportistico è, tuttavia, da intendersi ancora in fase sperimentale, infatti, l'analisi condotta per la linea metro di Torino risulta una delle prime applicazioni in ambito nazionale ed internazionale; inoltre, secondo quanto riportato sul *Piano Urbano della Mobilità Sostenibile della Città metropolitana di Torino* ([META srl, 2021](#))¹⁰, per via del carattere campionario (utenti telefonici), delle imprecisioni (associazione uno a uno SIM-utente) e dei possibili "rumori di fondo" (effetto ping-pong) i dati cellulari risultano incompatibili con altre informazioni relative alla mobilità dell'area torinese e si ritiene, dunque, necessario approfondirne ulteriormente metodologia e livelli di campionamento.

In definitiva, dunque, il dato telefonico si ritiene potenzialmente molto promettente ma, a causa delle numerose incertezze, non del tutto affidabile e, quindi, se ne consiglia un utilizzo oculato, prevalentemente, finalizzato al completamento del quadro informativo tratto da altre fonti più pertinenti.

2.1. Descrizione dei contenuti e della struttura del dataset

Il dataset completo è, innanzitutto, stato ottenuto attraverso una serie di richieste ("API calls") indirizzate alla piattaforma "TIM – City Forecast", effettuate specificando i seguenti parametri d'interrogazione:

- filtro temporale = periodo di interesse, vincolato al livello di dettaglio;
- filtro spaziale = aree di analisi specifiche, default come aggregato;
- livello di dettaglio = granularità temporale (15 minuti, 1 ora, 1 giorno), selezionabile previa disponibilità dei dati in base alle impostazioni dello scenario e del tenant;
- tipologia dato = dati di presenza o di mobilità, selezionabili previa disponibilità;
- formato dei file, a scelta tra le estensioni XML o JSON.

Nello specifico, sono stati collezionati una serie di file in formato JSON, contenenti tutti i dati di presenza (periodo Maggio 2018 - Maggio 2019) e quelli di mobilità (periodo Febbraio 2019 - Giugno 2019), relativi alle aree di censimento (ACE) dell'intera Città metropolitana di Torino, disponibili con livello di dettaglio orario. Le interrogazioni sono state effettuate nell'ambito di un accordo di cooperazione tra il Politecnico di Torino e il Comune di Torino, all'epoca abbonato alla piattaforma.

Nella corrente trattazione, tuttavia, si limiterà l'analisi ai soli dati di mobilità relativi alla singola giornata di mercoledì 13/02/2019, selezionata a campione come rappresentativa del giorno feriale tipo. Il dataset effettivamente considerato si comporrà, dunque, di 402 file JSON, uno per ciascuna ACE appartenente alla Città metropolitana di Torino, contenenti tutte le informazioni orarie relative allo specifico giorno selezionato.

Ciascun file JSON, quindi, si riferisce ad un giorno e ad un'area specifici e risulta strutturato come un vettore contenente a sua volta altri vettori annidati. L'array contenitore, etichettato come "Data", si compone, innanzitutto, di 24 vettori, uno per ciascun orario della giornata, a loro volta costituiti da tre sotto-vettori principali, ovvero "PresenceData", "OriginData" e "DestinationData", come mostrato in Figura 2-1.

¹⁰http://www.cittametropolitana.torino.it/cms/risorse/trasporti-mobilita-sostenibile/dwd/pums/RapportoFIN_v10.pdf

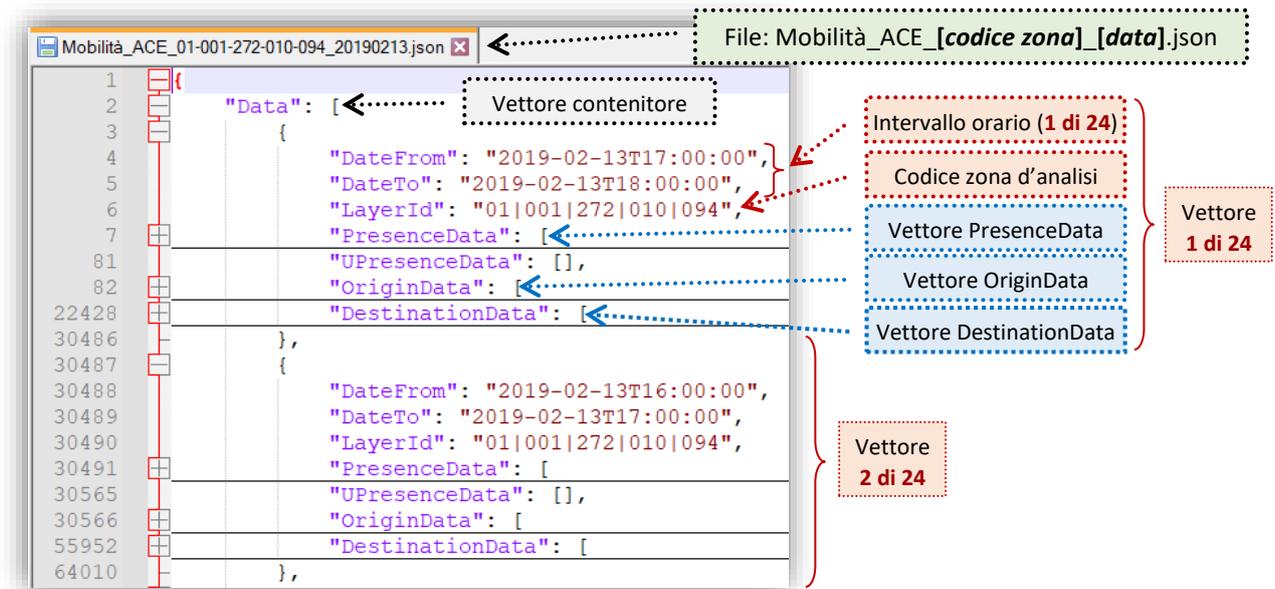


Figura 2-1 Struttura principale dei file JSON (file d'esempio Mobilità_ACE_01-001-272-010-094_20190213.json)

2.1.1 Definizione del LayerId – Basi territoriali ISTAT

Come anticipato, i dati vengono forniti in forma aggregata con riferimento alle singole aree di censimento (ACE) presenti sul territorio, identificate, all'interno dei vari file, attraverso la codifica indicata come LayerId.

Consultando la documentazione fornita a corredo del dataset, si comprende che l'identificativo associato a ciascuna zona d'analisi (LayerId) si compone dal concatenamento di una serie di informazioni, come descritto nei punti seguenti:

- **LayerId** = identificativo univoco della zona d'analisi (ACE).
 ➔ **LayerId = RG|PRO|COM|ASC|ACE**
- **RG** = codice numerico a due cifre associato alla regione, basato sull'attributo ISTAT CODREG.
 ➔ CODREG = codice numerico che identifica univocamente la regione nell'ambito del territorio nazionale (Piemonte = 01);
- **PRO** = codice numerico a tre cifre associato alla provincia, basato sull'attributo ISTAT CODPRO.
 ➔ CODPRO = codice numerico che identifica univocamente la provincia nell'ambito del territorio nazionale (Città metropolitana di Torino = 001);
- **COM** = codice numerico a tre cifre associato al comune, basato sull'attributo ISTAT CODCOM.
 ➔ CODCOM = codice numerico che identifica univocamente il comune nell'ambito del territorio provinciale (comune di Torino = 272);
- **ASC** = codice numerico a tre cifre associato all'area subcomunale, basato sull'attributo ISTAT CODASC.
 ➔ CODASC = codice numerico che identifica univocamente l'area subcomunale, ove presente, nell'ambito del territorio comunale;
- **ACE** = codice numerico a tre cifre associato all'area di censimento, basato sull'attributo ISTAT ACE.
 ➔ ACE = numero che identifica univocamente l'area di censimento nell'ambito del territorio comunale.

Come si è visto, dunque, il Layerid è costituito da una successione di codici che si riferiscono a domini spaziali di estensione progressivamente più ristretta, a partire dal contesto regionale sino alla specifica area di censimento, che fanno parte del sistema delle basi territoriali definito dall'ISTAT.

Se da un lato sono ben noti i limiti amministrativi relativi alle regioni, alle provincie ed ai comuni, dall'altro, invece, le entità definite come ASC ed ACE risultano comunemente meno diffuse e meritano, dunque, un breve richiamo.

A tal proposito, la definizione delle entità territoriali può essere ritrovata all'interno del documento pdf "Descrizione dei dati geografici e delle variabili censuarie delle Basi territoriali per i censimenti" (Istituto Nazionale di Statistica - ISTAT (a), 2016)¹¹, reperibile sul sito dell'ISTAT, alla pagina Basi territoriali e variabili censuarie (Istituto Nazionale di Statistica - ISTAT, 2017)¹².

Di seguito vengono, dunque, riportate le principali nozioni d'interesse che, come si vedrà, torneranno utili anche per le analisi condotte nei capitoli seguenti, in particolare nel paragrafo 4.3.1:

- **Aree subcomunali (ASC)** = Frazionamento del territorio comunale in unità di decentramento amministrative e/o toponomastiche (circostrizioni amministrative, quartieri, municipi ecc.), ottenuti dalla somma di intere sezioni di censimento. Il dato, risalente al 2011, viene pubblicato solo per i 34 comuni italiani di maggiore dimensione demografica, con popolazione non inferiore a 100 mila abitanti, le cui aree hanno una valenza amministrativa.

All'interno della regione Piemonte il comune di Torino (CODCOM = 272) risulta suddiviso in 10 aree subcomunali ed è l'unico a presentare tale ripartizione.

- **Aree di Censimento (ACE)** = Raggruppamenti di sezioni di censimento, tra loro contigue, intermedie tra sezioni e località di centro abitato, appartenenti ai centri principali. Le ACE sono state costruite dall'Istat utilizzando le basi territoriali aggiornate con il progetto Census2010, insieme alle informazioni sui confini delle aree subcomunali in uso (qualora i comuni le abbiano fornite all'Istat), ai vincoli infrastrutturali (vie principali, ferrovie) ed alle eventuali barriere geografiche (fiumi, canali, crinali, fossi). Le scelte di aggregazione hanno tenuto conto anche di dati demografici e sociali, al fine di ottenere delle aree con un numero di abitanti compreso, salvo eccezioni, tra i 13mila e i 18mila.

Tale suddivisione è presente dal 2011 ed interessa solo i comuni maggiori di 20.000 abitanti o capoluogo di provincia al 1° gennaio 2008.

In Piemonte, al 2011, solo 32 comuni raggiungevano tale dimensione demografica, di cui 14 appartenenti alla Città metropolitana di Torino e, dunque, la ripartizione in ACE non è presente per gli altri comuni minori.

- **Sezione di censimento** = Unità minima di rilevazione del Comune sulla cui base è organizzata la rilevazione censuaria. È costituita da un solo corpo delimitato da una linea spezzata chiusa. A partire dalle sezioni di censimento sono ricostruibili, per accorpamento, le entità geografiche ed amministrative di livello superiore (località abitate, aree sub-comunali, collegi elettorali ed altre). Ciascuna sezione di censimento deve essere completamente contenuta all'interno di una ed una sola località. Il territorio comunale deve essere esaustivamente suddiviso in sezioni di censimento; la somma di tutte le sezioni di censimento ricostruisce l'intero territorio nazionale.

(SEZ2011 = Codice numerico che identifica univocamente la sezione di censimento 2011 nell'ambito del territorio nazionale. Il valore è ottenuto dalla concatenazione del campo PROCOM con il campo NSEZ a 7 cifre)

¹¹ <https://www4.istat.it/it/files/2013/11/Descrizione-dati-Pubblicazione-2016.03.09.pdf>

¹² <https://www.istat.it/it/archivio/104317>

Come si è visto, la maggior parte dei comuni, per via della ridotta dimensione demografica, non presenta una ripartizione in ASC o ACE, condizioni che si traducono riportando il codice "000" all'interno dei rispettivi ultimi due campi del LayerId (RG|PRO|COM|000|000).

I codici numerici associati a queste sotto-partizioni, inoltre, non risultano univoci in ambito provinciale o nazionale e, quindi, il LayerId sopperisce a questa mancanza fornendo l'intero contesto territoriale di inserimento della specifica ACE.

In definitiva, adottando l'identificativo LayerId è possibile determinare univocamente la presenza di 402 ACE all'interno della Città metropolitana di Torino, di cui 301 coincidenti con la stessa area comunale di appartenenza e 101 relative ai 14 comuni con più di 20.000 abitanti (60 ACE interne al comune di Torino).

2.1.2 PresenceData

La presenza oraria indica il numero medio di individui campionati da TIM ad ogni intervallo regolare di 15', calcolato per l'ambito spaziale oggetto dell'analisi e riferito all'arco temporale selezionato.

Come detto in precedenza, tale informazione è riportata sui vari file JSON che compongono il dataset all'interno del vettore "PresenceData", annidato in ognuno dei 24 vettori relativi agli orari della giornata selezionata.

La struttura del vettore e le informazioni (DataTypes) in esso contenute, sono quelle mostrate in Figura 2-2.

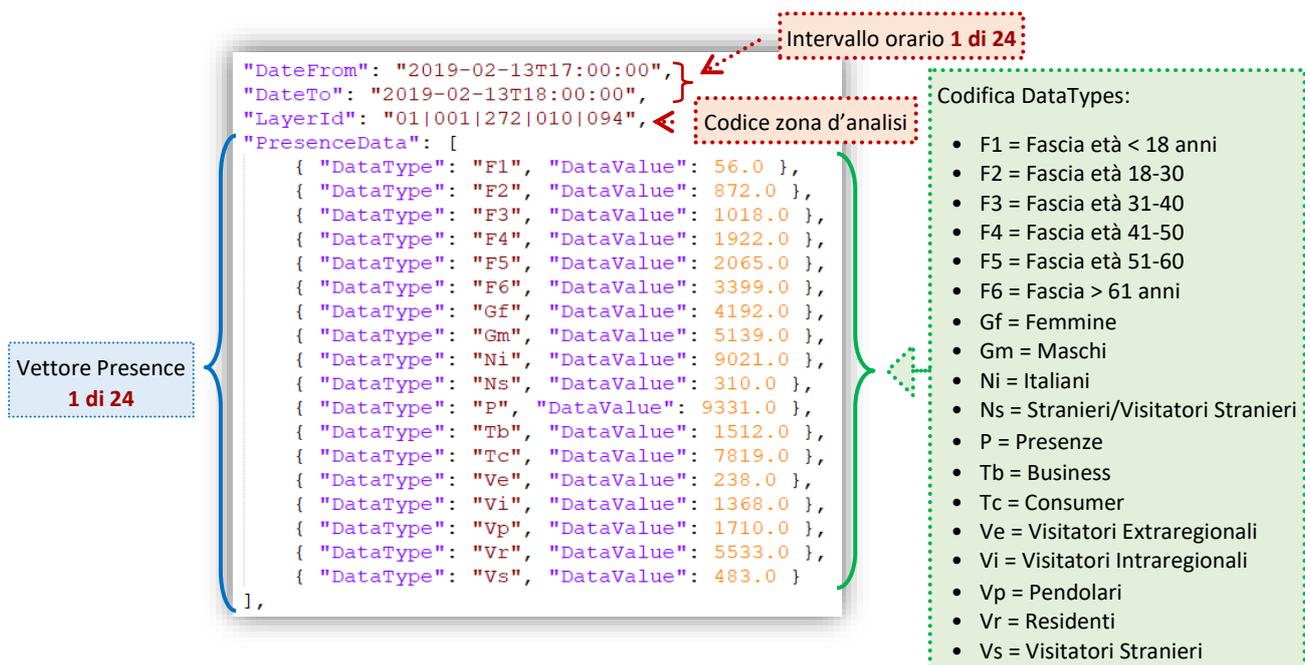


Figura 2-2 Struttura del vettore PresenceData (file d'esempio Mobilità_ACE_01-001-272-010-094_20190213.json)

Secondo quanto riportato sulla documentazione fornita a corredo del dataset, contribuiscono al calcolo della presenza le SIM italiane e quelle degli stranieri in roaming su reti TIM.

Se ne deduce che l'universo campionario dovrebbe, approssimativamente, coincidere con la popolazione TIM e ci si aspetta, dunque, un tasso di campionamento prossimo alla rispettiva quota di mercato.

Poiché, inoltre, il campionamento coinvolge tutti gli utenti TIM presenti sul territorio d'analisi, il valore complessivo di presenza non risulta confrontabile con i dati di residenza ISTAT.

Anche l'informazione relativa al numero di residenti (Vr), come verrà spiegato meglio nel paragrafo 2.1.5, rappresenta una stima basata puramente su considerazioni relative alle attività telefoniche degli utenti, che non rispecchia i valori effettivi di popolazione con residenza anagrafica nell'area.

Come verrà discusso nel paragrafo 3.3.1, il valore di presenze potrebbe, tuttalpiù, avvicinarsi all'ammontare della popolazione insistente sul territorio, poiché comprendente sia gli individui residenti che quelli domiciliati con segnali di studio o lavoro all'interno dell'area d'analisi, trascurando però la quota degli utenti city users.

2.1.3 OriginData

Analogamente ai dati di presenza, le provenienze orarie rappresentano un valore mediato sulla base dei campionamenti effettuati da TIM con cadenza di 15', riferito alla zona ed all'arco temporale d'analisi.

I dati sono riportati all'interno dei vettori "OriginData", anche in questo caso, annidati in ciascuno dei 24 vettori orari, ma, questa volta, per ogni orario sono presenti molteplici vettori Origin, con numerosità pari all'ammontare delle differenti zone di provenienza (FromId) associate alle presenze campionate per la zona d'analisi (LayerId).

La struttura del vettore e le informazioni (DataTypes) in esso contenute, sono quelle mostrate in Figura 2-3.

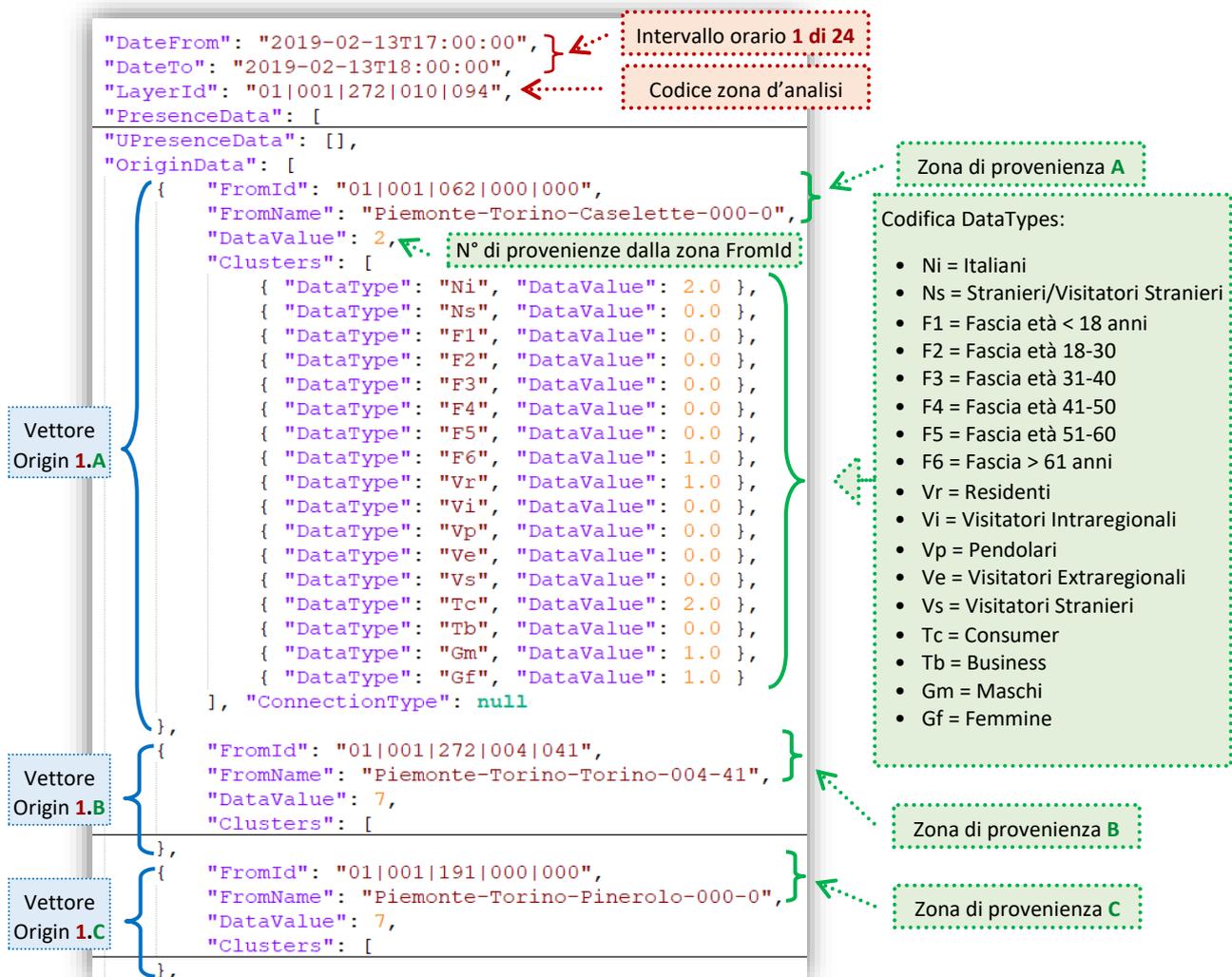


Figura 2-3 Struttura del vettore OriginData (file d'esempio Mobilità_ACE_01-001-272-010-094_20190213.json)

Consultando la documentazione sul dataset, si comprende che la zona di provenienza, associata alla popolazione pervenuta su ciascun'area d'analisi, viene valutata sulla base di dove l'utenza era localizzata nella notte precedente (fascia oraria 22:00 – 06:00).

La provenienza, dunque, indica la numerosità dei presenti in funzione della località di pernottamento, che, quindi, rimane costante per l'intera giornata considerata e potrebbe rappresentare l'origine del tour giornaliero, da non confondere con l'origine dei singoli spostamenti.

2.1.4 DestinationData

A differenza dei casi precedenti, i dati di destinazione sono stimati da rilevamenti orari (non con granularità di 15'), ma sempre riferiti alla zona d'analisi per l'arco temporale selezionato.

Tali informazioni vengono introdotte all'interno dei vettori "DestinationData", che, analogamente agli "OriginData", risultano annidati in ciascuno dei 24 vettori orari con numerosità pari al totale delle differenti zone di destinazione (Told) raggiunte dagli spostamenti in uscita dalla zona d'analisi (LayerId).

La struttura del vettore e le informazioni (DataTypes) in esso contenute, sono quelle mostrate in Figura 2-4.

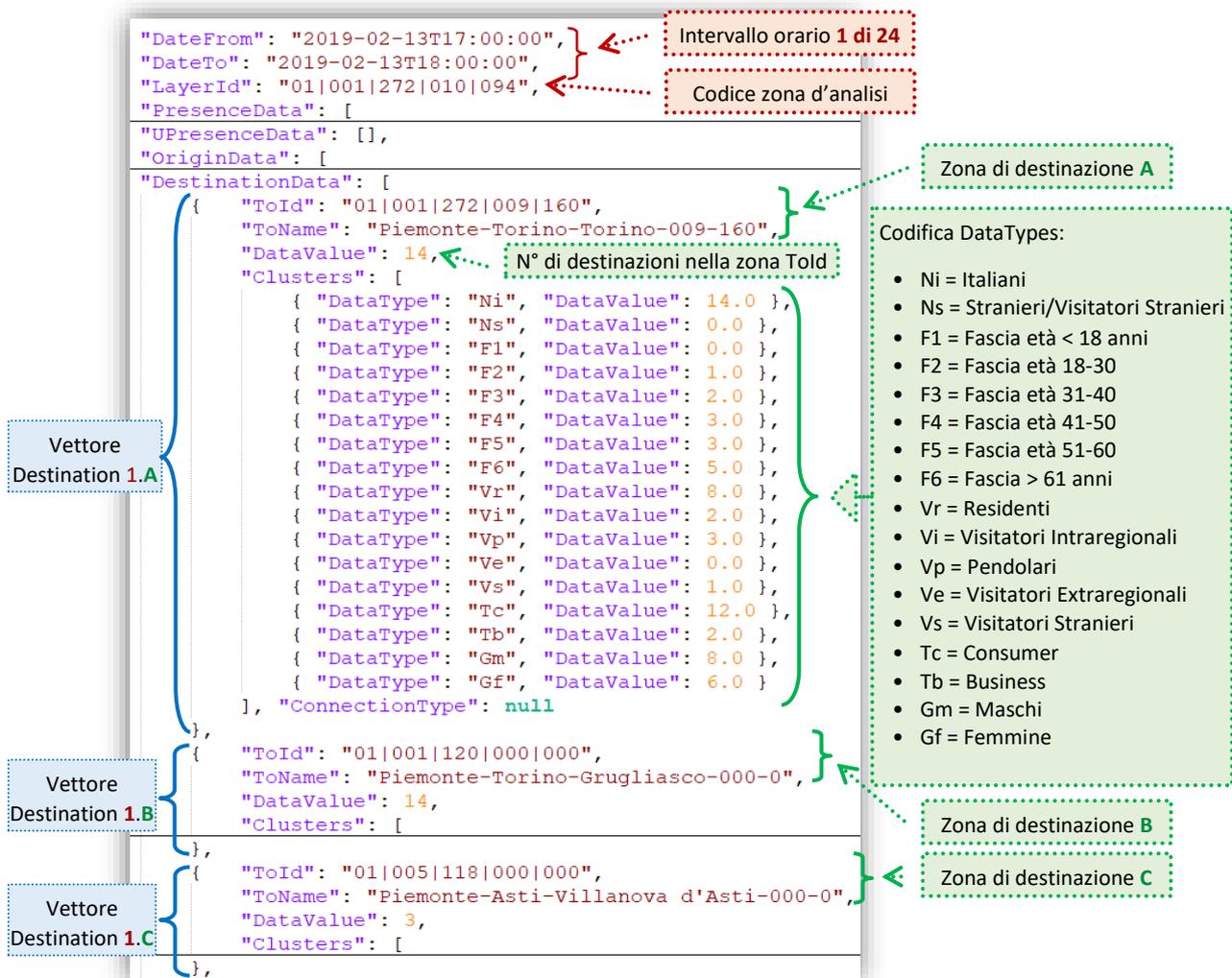


Figura 2-4 Struttura del vettore DestinationData (file d'esempio Mobilità_ACE_01-001-272-010-094_20190213.json)

Consultando, nuovamente, la documentazione allegata al dataset, si comprende quanto segue:

- Il conteggio delle destinazioni, riportato in ciascun vettore "DestinationData" riferito ad un differente Told, indica la numerosità degli spostamenti in funzione delle direzioni in uscita dall'area d'analisi (LayerId) per l'intervallo orario considerato.
- Lo spostamento si considera rilevato a fronte di due eventi consecutivi nella stessa cella. Non viene fornita una definizione di "evento", ma, come verrà discusso nel corso del paragrafo 3.5, si ipotizza che gli eventi siano generati dalle interazioni tra il dispositivo mobile dell'utente e la cella telefonica, definite "handover".
- Il dato viene calcolato riferito al giorno precedente con granularità oraria.
- A differenza delle provenienze, che vengono calcolate in base alle presenze rilevate in un'area, le destinazioni rappresentano gli spostamenti effettuati e, pertanto, non c'è nessuna corrispondenza esplicita tra presenze e spostamenti. La possibile relazione tra le due grandezze verrà approfondita nel corso del paragrafo 3.1.1.

Per chiarire meglio il concetto di destinazione adottato dalla piattaforma TIM, si propone l'esempio in Figura 2-5.

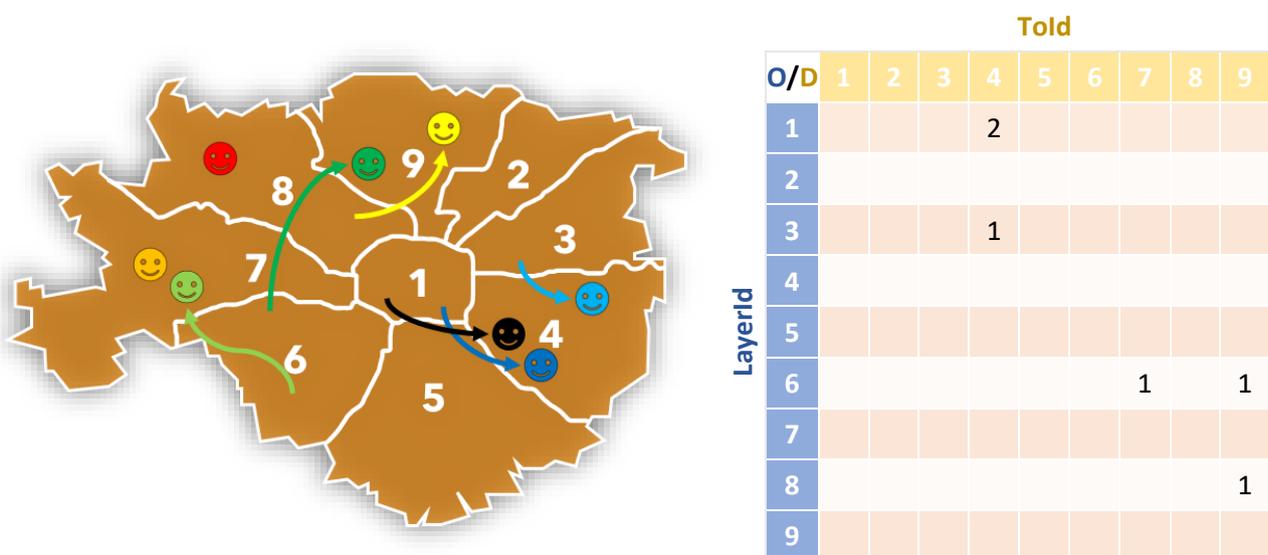


Figura 2-5 Immagine d'esempio tratta dal manuale d'uso della piattaforma TIM

Con l'esempio mostrato in Figura 2-5, si vuole spiegare in cosa consiste la funzionalità "Destinazioni" della piattaforma TIM, che, in altre parole, dovrebbe rispondere alla seguente domanda: "le SIM che in un dato giorno ad una data ora vengono rilevate in una certa ACE, dove le trovo (se le trovo) nell'ora successiva?"

Unendo la spiegazione sopracitata con quanto mostrato in Figura 2-5, si intuisce che, probabilmente, la zona di destinazione costituisce l'ultima area ACE raggiunta da un utente in movimento allo scadere dell'ora successiva. Per cui, anche se è corretto stabilire che un utente si è spostato se nell'ora successiva si trova in un'ACE differente da quella di partenza, la limitazione impartita dall'intervallo di un'ora rende, però, inesatta la definizione della zona di destinazione, che potrebbe non essere la meta finale dello spostamento.

Si ipotizza che questa imprecisione si possa, quindi, ripercuotere sugli spostamenti di durata superiore ai 60 minuti, tipicamente dovuti a percorrenze medio/lunghe o a contesti urbani particolarmente congestionati.

2.1.5 Classe Viaggiatori (variabili Vr, Vp, Vi, Ve)

Per stabilire a quale classe di viaggiatori appartengono gli utenti campionati, la piattaforma TIM ricorre ad alcuni espedienti finalizzati alla determinazione preventiva delle rispettive zone di residenza e di lavoro:

- La zona ACE di residenza viene individuata sulla base della prevalenza delle attività telefoniche svolte dagli utenti nell'orario notturno (fascia oraria 22:00 – 06:00) dei giorni feriali, a seguito di un periodo di osservazione di 30 giorni in modalità rolling.

In questo modo, dunque, vengono definiti residenti anche gli utenti che non hanno necessariamente la residenza anagrafica nelle ACE in cui sono stati campionati nell'orario notturno e, pertanto, l'informazione così ottenuta non è immediatamente confrontabile con quella ISTAT.

- La zona ACE di lavoro viene, invece, individuata sulla base della prevalenza delle attività telefoniche svolte dagli utenti nell'orario diurno (fascia oraria 06:00 – 22:00) dei giorni feriali, anche in questo caso, a seguito di un periodo di osservazione di 30 giorni in modalità rolling.

Anche questo metodo, seppur ragionevole, presenta delle lacune tali da rendere l'informazione non pienamente attendibile. Innanzitutto, in questa classe potrebbero rientrare a pieno titolo anche studenti, casalinghe ed altre tipologie di utenti che per ragioni non lavorative si recano sistematicamente nella stessa area. Anche se meno rilevanti, si stanno, inoltre, trascurando gli utenti che lavorano in orario notturno e chi, per ragioni d'affari, si sposta continuamente senza recarsi presso una sede fissa. È, infine, discutibile affermare che la prevalenza delle attività telefoniche avvenga proprio in sede lavorativa o di studio, ma, prima di scartare la soluzione, occorrerebbe comprendere in cosa consistano queste attività, poiché potrebbero anche essere dovute ad interazioni tra il dispositivo mobile e la cella telefonica senza interventi da parte dell'utente.

Utilizzando l'informazione dell'ACE di residenza e dell'ACE di lavoro, dunque, il sistema calcola per ogni pixel del territorio nazionale i seguenti contatori a partire dalle presenze totali rilevate:

- Vr, viaggiatori residenti = stima degli utenti italiani della rete TIM che si trovano (nel momento selezionato) nella propria ACE di residenza.
- Vp, viaggiatori pendolari = stima degli utenti italiani della rete TIM che si trovano (nel momento selezionato) nella propria ACE di lavoro.
- Vi, visitatori intra-regione = stima degli utenti italiani della rete TIM che si trovano (nel momento selezionato) fuori dalla propria ACE di lavoro o di residenza ma nella regione di residenza.
- Ve, visitatori extra-regione: stima degli utenti italiani della rete TIM che si trovano (nel momento selezionato) fuori dalla propria ACE di lavoro o di residenza e fuori dalla regione di residenza.

La definizione sembra riferirsi ai soli dati di presenza ma, come si è visto nei paragrafi precedenti, queste informazioni vengono riportate anche per i vettori "OriginData" e "DestinationData". Si ipotizza, dunque, che la spiegazione fornita vada, poi, declinata a seconda dei casi specifici.

Se, ad esempio, si individuassero 10 destinazioni dirette verso la zona X, di cui 5 Vr e 5 Vp si potrebbe, allora, dire che 5 spostamenti avvengono per ragioni lavorative e 5 per il rientro presso la propria abitazione. Ipotesi analoghe potrebbero essere espresse per i dati di provenienza e per le altre classi di viaggiatori.

Questa possibilità verrà esplorata nel corso dei paragrafi 3.3.1 e 3.4.1.

3. Analisi e caratterizzazione del campione TIM

In questa sezione vengono analizzati i principali attributi associati ai dati campionari contenuti nel dataset “TIM – City Forecast”, al fine di determinarne l’affidabilità, verificare i presunti metodi di raccolta e preelaborazione delle informazioni e, conseguentemente, formulare le assunzioni necessarie per un impiego adeguato della risorsa.

L’incognita principale del problema è costituita dalla numerosità della popolazione di riferimento, sulla base della quale stabilire il tasso di campionamento, o coefficiente di riporto all’universo del dato campionario, necessario per soppesare opportunamente i dati raccolti all’interno del dataset.

Poiché il campione raccoglie tutti gli utenti telefonici connessi alla rete TIM, che siano o meno residenti nell’area del rilevamento, il dato non è direttamente confrontabile con la popolazione residente fornita dalle statistiche ISTAT. Sul dataset viene anche indicata la classe dei viaggiatori residenti, ma, come spiegato nel capitolo precedente, tale informazione non si basa sugli effettivi dati anagrafici dell’utenza e, anche in questo caso, la corrispondenza con i dati ISTAT non sussiste.

Per questa ragione, nel corso dei paragrafi seguenti, verranno sperimentati approcci differenti, volti, principalmente, alla definizione dell’universo di riferimento ed alla stima del tasso di campionamento.

Gran parte dell’analisi verrà condotta con l’ausilio di una cartella di lavoro Excel denominata *Analisi_CampioneTIM.xlsx*, la cui struttura e compilazione vengono esposte nel dettaglio in appendice A.1 .

3.1. Analisi preliminare

Prima di procedere con la valutazione del coefficiente di riporto all’universo, si propone un’analisi preliminare sui dati di “presenza” e di “destinazione”, per meglio comprenderne la natura e stabilirne l’eventuale complementarità.

A tal fine, occorre, innanzitutto, importare le informazioni “PresenceData” e “DestinationData” sul file *Analisi_CampioneTIM.xlsx*, procedendo come descritto in seguito:

- Sul foglio di calcolo *Pres_TO-TIM* si importa un estratto dei “PresenceData” relativi al giorno 13/02/2019 e ristretti alle sole 60 aree ACE del comune di Torino (LayerID = 01|001|272|ASC|ACE).

Oltre alle informazioni base, quali data, orario e codifica dell’area d’analisi (LayerID), vengono selezionati i campi relativi ai totali delle presenze (valore “P” indicato in tabella come “Tot”), dei visitatori residenti (“Vr”) e dei visitatori pendolari (“Vp”), ottenendo così un foglio di calcolo strutturato come in Tab. 1-1 e completato con le formule riportate in Tab. 1-2.

- Sul foglio di calcolo *Dest_TOT-TIM* si importano, invece, i “DestinationData” relativi al giorno 13/02/2019 ed estesi alle 396 aree ACE dell’intera Città metropolitana di Torino (LayerID = 01|001|COM|ASC|ACE).

Anche in questo caso, oltre alle informazioni base, quali data, orario, codifica dell’area d’analisi (LayerID indicato come “LayerID_O”) e dell’area di destinazione (“Told” indicato come “LayerID_D”), vengono selezionati i campi relativi al totale degli spostamenti (“DataValue” indicato come “Tot”), dei visitatori residenti (“Vr”) e dei visitatori pendolari (“Vp”), ottenendo così un foglio di calcolo strutturato come in Tab. 1-3 e completato con le formule riportate in Tab. 1-4.

Focalizzando, successivamente, l'attenzione sui "DestinationData", verrà, inoltre, condotta una verifica di congruenza tra l'intervallo di campionamento dichiarato ed i tempi di percorrenza necessari per raggiungere le destinazioni indicate sul dataset.

3.1.1 Relazione tra PresenceData e DestinationData – Bilancio spostamenti per le ACE di Torino

Mentre i "DestinationData" sono indispensabili per questa trattazione, finalizzata alla stima dei flussi veicolari, i "PresenceData" non sono necessari e verranno, successivamente, trascurati.

In questa fase preliminare, tuttavia, l'analisi delle presenze può essere utile per comprendere la logica adottata in fase di preelaborazione dei dati campionari ed individuare le eventuali sovrastime degli spostamenti, causate da una possibile mal interpretazione del concetto di destinazione.

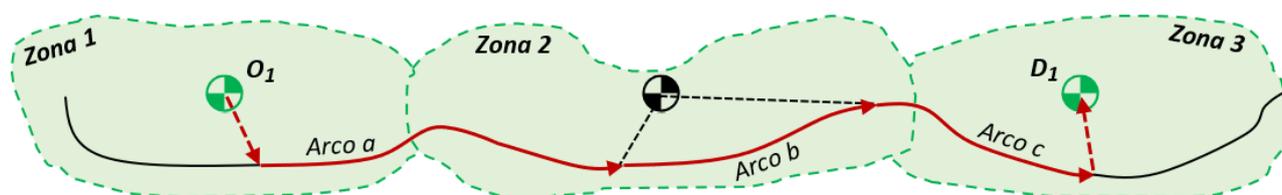
È chiaro, infatti, che le destinazioni individuate dalle celle telefoniche non costituiscono necessariamente la meta finale di uno spostamento, ma potrebbero anche rappresentarne le tappe intermedie od i transiti attraverso le aree interposte tra le zone di effettiva origine/destinazione. Per quanto quest'interpretazione porti ad una definizione di spostamento differente da quella adottata in ambito trasportistico, l'errore commesso nella stima dei flussi dovrebbe comunque limitarsi ad una porzione ristretta del percorso.

Secondo quanto riportato sulla documentazione fornita a corredo del dataset, però, non c'è corrispondenza tra presenze e spostamenti, ed è possibile che ad una stessa presenza si associno più spostamenti orari causando una sovrastima dei flussi.

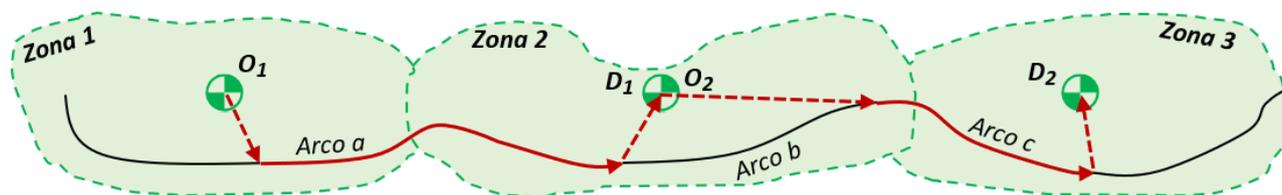
Per comprendere meglio quanto detto, si propone l'esempio in Figura 3-1.

Legenda													
	limiti delle zone		centroide di zona		centroide raggiunto dallo spostamento		arco del grafo stradale		arco fittizio		archi caricati		archi fittizi caricati

Caso A – spostamento individuato correttamente



Caso B – spostamento individuato come concatenamento di due spostamenti consecutivi



Caso C – spostamento individuato erroneamente causando un'alterazione dei flussi e delle presenze

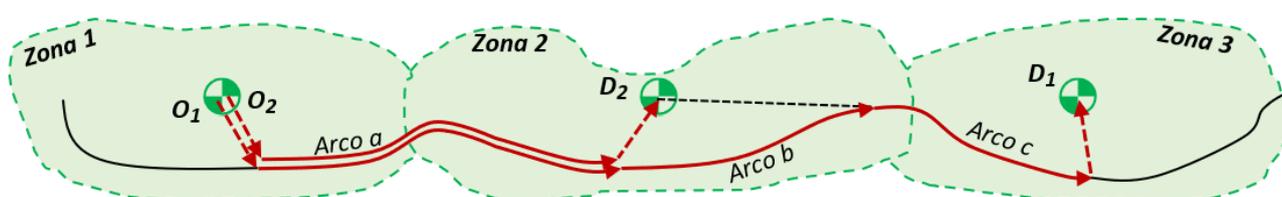


Figura 3-1 Esempio di spostamento con origine nella Zona 1 e destinazione finale nella Zona 3

Con riferimento all'esempio in Figura 3-1, in base a come viene rilevato lo spostamento tra Zona 1 e Zona 3, si possono, conseguentemente, osservare errori di stima differenti, che possono inficiare il percorso intrapreso, il totale stesso degli spostamenti ed anche i valori di presenza. Gli archi del grafo percorsi durante lo spostamento vengono rappresentati con tratto rosso e marcato, mentre la linea tratteggiata indica gli archi fittizi, che collegano i centroidi di zona con la rete stradale.

I casi illustrati vogliono mettere in evidenza quanto segue:

Caso A – La destinazione finale viene individuata correttamente e lo spostamento transiterà attraverso la Zona 2 senza passare per il rispettivo centroide di zona;

Caso B – Lo spostamento viene rilevato come concatenamento di due spostamenti consecutivi che, facendo tappa nella Zona 2, devieranno dal percorso principale per passare dal centroide di zona. Nel caso d'esempio, dunque, il flusso sull'Arco b viene sottostimato mentre cresce l'affluenza sugli archi fittizi, per i quali, generalmente, non si è interessati alla valutazione del traffico. Le presenze sulla Zona 2 non dovrebbero, tuttavia, risultare alterate poiché il flusso erroneamente diretto verso il centroide viene controbilanciato dagli spostamenti in uscita diretti verso la Zona 3.

Il caso mostrato rappresenta comunque una semplificazione ed il risultato può cambiare molto in base a come vengono disposti gli archi connettori ed al posizionamento dei centroidi. Se il centroide relativo alla zona di transito (Zona 2) fosse più distante dal percorso perimetrale (Arco b), infatti, si assisterebbe ad una deviazione dei flussi più rilevante e lo stesso effetto potrebbe derivare da una disposizione sfavorevole degli archi fittizi. Più in generale, dunque, le presenze orarie dovrebbero risultare inalterate mentre l'errore di assegnazione dei flussi dipenderebbe molto dal modello d'offerta considerato.

Caso C – Alla stessa presenza nella Zona 1 vengono erroneamente associati due spostamenti, uno con la destinazione finale corretta (Zona 3) ed uno diretto verso la tappa intermedia (Zona 2). In questo caso, non si assiste solo ad una sovrastima dei flussi sull'Arco a, ma risulterebbero, anche, più spostamenti in uscita dalla Zona 1 e più ingressi nella Zona 2, con conseguente alterazione dei valori di presenza oraria.

Da una verifica sui valori di presenza non si potrebbe, dunque, distinguere il caso A dal caso B, ma si potrebbe, quantomeno, valutare l'occorrenza del caso C, che è la situazione più sfavorevole.

La verifica consiste, innanzitutto, nell'effettuare una stima delle presenze per l'ora $H + 1$, sommando alle presenze osservate all'ora H la variazione Δ_H , data dal bilancio tra spostamenti orari in entrata ed uscita, come riportato in Formula 3-1.

Formula 3-1 Equazione di equilibrio per una generica area ACE

$$\hat{P}_{H+1}[\text{pers.}] = (P_H + \Delta_H)[\text{pers.}] = P_H[\text{pers.}] + (E_H - U_H)[\text{pers./ora}] \cdot 1[\text{ora}]$$

L'errore relativo nella stima delle presenze può, successivamente, essere valutato come in Formula 3-2.

Formula 3-2 Errore relativo ERR nella stima delle presenze orarie per una generica area ACE

$$ERR = \left(\frac{\hat{P}_{H+1}}{P_{H+1}} - 1 \right) [\%]$$

L'errore assoluto nella stima delle presenze può, invece, essere valutato come in Formula 3-3.

Formula 3-3 Errore assoluto DIFF nella stima delle presenze orarie per una generica area ACE

$$DIFF = (\hat{P}_{H+1} - P_{H+1})[\text{pers.}]$$

I parametri riportati in Formula 3-1 e Formula 3-2 assumono il seguente significato:

- P_H = numero di persone presenti nell'area di controllo osservato all'ora H;
- P_{H+1} = numero di persone presenti nell'area di controllo osservato all'ora H + 1;
- \hat{P}_{H+1} = numero di persone presenti nell'area di controllo stimato per l'ora H + 1;
- $\Delta_H = (E_H - U_H)[pers./ora] \cdot 1[ora]$ = variazione del numero di presenze riscontrato durante l'ora H;
- E_H = flusso orario di persone entranti nell'area di controllo durante l'ora H;
- U_H = flusso orario di persone uscenti dall'area di controllo durante l'ora H.

In Tab. 1-5 si riportano i calcoli per la quantificazione dell'errore relativo commesso nella stima delle presenze all'ora h+1 per ciascun'area ACE, ottenuta dall'equilibrio tra presenze, uscite ed ingressi riportati per l'ora h.

Si precisa che non è possibile effettuare la stima delle presenze per l'ora 01, visto che i dati di destinazione relativi alle ore 00 del giorno 13/02/2019 non sono disponibili, e neanche per le ore 23, poiché sarebbe necessario consultare i dati di presenza relativi alle ore 00 del giorno successivo (14/02/2019).

La valutazione dell'errore di stima delle presenze viene eseguita per ciascuna delle 60 aree ACE appartenenti al comune di Torino, per le fasce orarie comprese tra le ore 01 e 22 del giorno 13/02/2019, attraverso le formule riportate in Tab. 1-6, ottenendo l'output mostrato in Tab. 1-5.

È possibile, successivamente, diagrammare l'errore relativo ERR su un istogramma di frequenza, come mostrato in Figura 3-2, adottando degli intervalli con ampiezza $\Delta\varepsilon$, definita come segue:

- $-66\% \leq ERR < -8\% \rightarrow \Delta\varepsilon = 58\%$;
- $-8\% \leq ERR \leq 8\% \rightarrow \Delta\varepsilon = 4\%$;
- $8\% < ERR \leq 108\% \rightarrow \Delta\varepsilon = 100\%$.

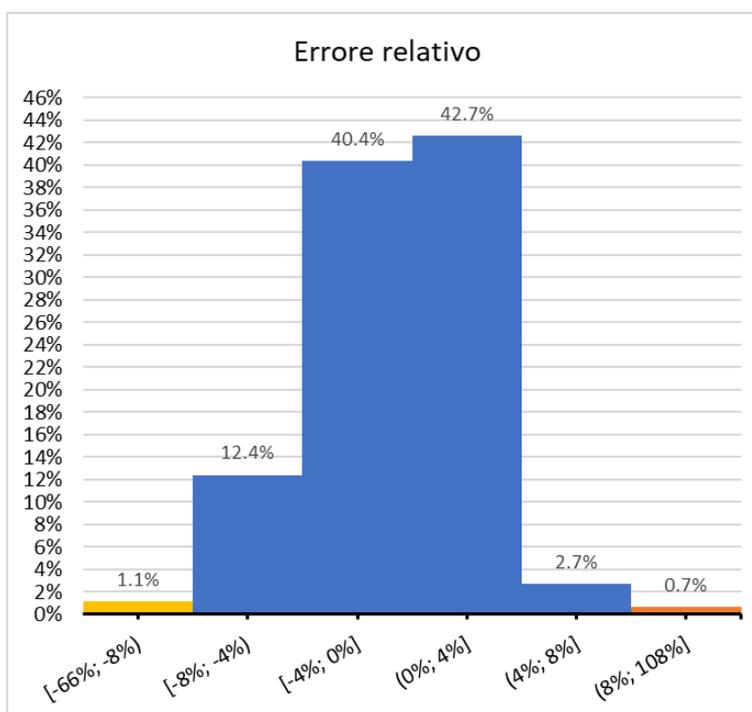


Figura 3-2 Istogramma di frequenza per l'errore relativo ERR commesso nella stima delle presenze orarie

Come è possibile osservare in Figura 3-2, l'errore relativo nella stima delle presenze risulta fortemente concentrato intorno allo zero, con una frequenza complessiva del 98.2% per errori contenuti nell'intervallo [-8%; 8%].

La ridotta entità dei residui sembrerebbe incoraggiante ma, per confermare l'esito dei risultati, occorre valutare anche la distribuzione dell'errore assoluto.

L'istogramma di frequenza dell'errore assoluto (DIFF), mostrato in Formula 3-3, è stato ottenuto sulla base degli intervalli di ampiezza $\Delta\epsilon$, definita come segue:

- $-3631 \leq \text{DIFF} < -1500 \rightarrow \Delta\epsilon = 2131$;
- $-1500 \leq \text{DIFF} \leq 1500 \rightarrow \Delta\epsilon = 750$;
- $1500 < \text{DIFF} \leq 2914 \rightarrow \Delta\epsilon = 1414$.

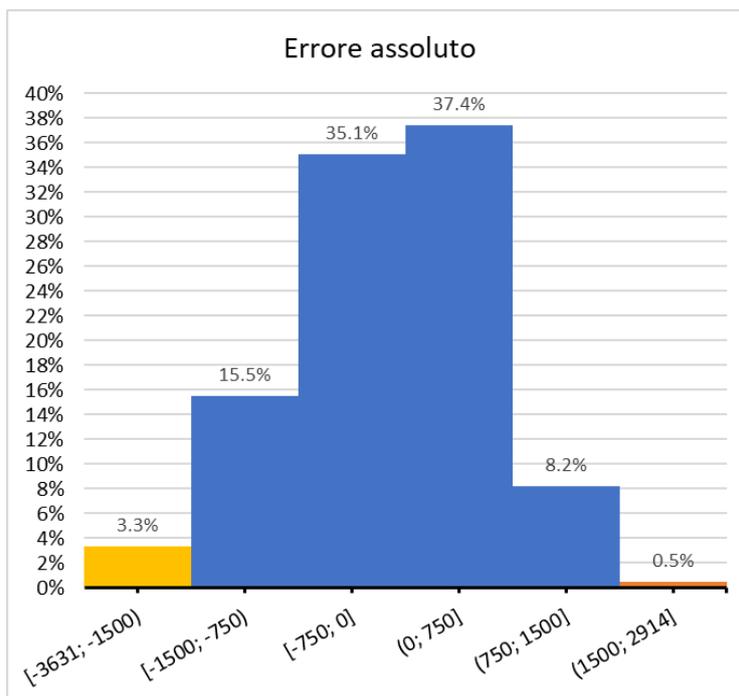


Figura 3-3 Istantogramma di frequenza per l'errore assoluto DIFF commesso nella stima delle presenze orarie

Osservando l'istogramma in Formula 3-3, si osserva un picco di frequenza sulla parte centrale della distribuzione ma l'entità degli errori, questa volta, non è trascurabile.

La ridotta entità degli errori relativi in contrapposizione con gli errori assoluti piuttosto elevati, suggerisce una scarsa influenza della variazione stimata del numero di presenze Δ_H sulla predizione delle presenze orarie, che, d'altro canto, mostrano una variazione oraria effettiva relativamente contenuta.

Se, per esempio, si avessero $P_H = 10000$, $P_{H+1} = 10800$ ed una variazione stimata $\Delta_H = 100$, l'errore relativo risulterebbe pari a -6.5% a fronte di una sottostima di 700 presenze orarie. Se la sottostima fosse effettivamente spiegata da un sovrannumero di spostamenti in uscita o, viceversa, da una carenza di ingressi nell'area, l'errore nella stima dei flussi risulterebbe tutt'altro che trascurabile. Una variazione del flusso pari a $700 \text{ [pers./h]} \approx 538 \text{ [veh/h]} = 700 \text{ [pers./h]} / 1.3 \text{ [pers./veh]}$, infatti, potrebbe portare, in ambito urbano, alla saturazione della capacità di una corsia.

In conclusione, dall'analisi dei dati di presenza, risulta un'oggettiva mancanza di corrispondenza tra presenze e destinazioni, che non permette di escludere a priori la situazione descritta nel caso C in Figura 3-1.

3.1.2 Intervallo di campionamento e tempi di percorrenza

In questa fase si propone una stima dei tempi di percorrenza, finalizzata alla validazione dell'intervallo di campionamento dichiarato dal fornitore del dato campionario.

I "DestinationData" sono resi disponibili con granularità oraria e dovrebbero rispondere al seguente quesito: "le SIM che in un dato giorno ad una data ora vengono rilevate in una certa ACE, dove le trovo (se le trovo) nell'ora successiva?"

Sulla base di questa nozione, dunque, all'interno del dataset non dovrebbero comparire destinazioni che richiedono una percorrenza superiore ai 60 minuti. Gli spostamenti campionati con origine all'interno della Città metropolitana di Torino, quindi, potrebbero difficilmente raggiungere le regioni confinanti con il Piemonte ed anche il solo attraversamento della provincia potrebbe richiedere più di un'ora di viaggio.

Per portare in evidenza l'eventuale presenza di grosse incongruenze, semplificando al contempo questa analisi dal carattere validativo/preliminare, ci si concentra esclusivamente sugli spostamenti interregionali, effettuando una stima dei tempi di percorrenza basata sulle seguenti assunzioni:

1. I tempi minimi di viaggio vengono stimati esclusivamente per gli spostamenti tra regioni differenti scegliendo come destinazione la città capoluogo. L'ipotesi è che il capoluogo, anche se più distante da Torino rispetto ad altri comuni della stessa regione, sia meglio servito e quindi raggiungibile per vie più rapide.
2. La stima dei tempi viene effettuata su Google Maps, impostando la partenza dal comune di Torino per il mercoledì tra le 08:00 e le 09:00 del mattino.

È stato scelto il mercoledì per coerenza con i dati dell'indagine ma la data della stima è riferita al giorno 27/04/2022, poiché le informazioni sui mezzi pubblici non vengono conservate da Google Maps (è possibile valutare a ritroso, al massimo, sino a 9 giorni prima della data di interrogazione).

3. La scelta del mezzo di trasporto più rapido avviene valutando i risultati di Google Maps nel modo seguente:
 - Per le auto si valuta il tempo di viaggio minimo tra le opzioni di percorso disponibili;
 - Per i mezzi pubblici si considera esclusivamente il tempo di viaggio, solo quando la partenza può avvenire entro le ore 09:00, altrimenti la soluzione viene scartata.
4. Per l'aereo si riporta il solo tempo di viaggio tratto da Google Flights, trascurando data ed ora di partenza, poiché non si ha la stessa flessibilità d'orario relativa agli altri mezzi di trasporto.

Le destinazioni irraggiungibili con l'aereo saranno indicate con il segno "-", mentre raggiungibili solo effettuando uno scalo in una terza località (generalmente Roma, Campania, Puglia, Nizza o Amsterdam) verranno etichettate con il "+".

Anche se in alcuni casi la soluzione con scalo risulta più rapida di quella in auto o treno essa viene scartata poiché ritenuta paradossale: Venezia, ad esempio, risulta raggiungibile in 3 ore e 20 min partendo da Torino e facendo scalo a Fiumicino dopo 1 ora e 10 minuti di volo. In questo caso, però, la destinazione fornita da TIM dovrebbe risultare Fiumicino e non Venezia.

5. Si è deciso di considerare validi anche i tempi di percorrenza superiori a 60 minuti, purché inferiori alle due ore.

La decisione deriva dal fatto che sul dataset non viene indicata l'ora esatta di partenza ma un intervallo di 60 min, che nel caso in esame corrisponde al range orario 08:00 - 09:00. Questo implica che l'intervallo tra partenza ed arrivo potrebbe durare, in realtà, anche due ore: se, ad esempio, uno spostamento avvenisse con partenza alle 08:00, ricadente nell'intervallo 08:00 - 09:00, ed arrivo alle 09:59, ricade nell'intervallo 09:00 - 10:00, il tempo di percorrenza sarebbe, infatti, di 119 minuti.

Sulla base delle assunzioni semplificative sovraesposte si ottengono i risultati mostrati nella seguente Tabella 3-1, che costituisce un estratto di quanto riportato in Tab. 1-7.

Tabella 3-1 Stima dei tempi di viaggio per gli spostamenti interregionali con partenza tra le 08:00 e le 09:00 del mercoledì mattina

Regione di Destinazione	Spst. TIM	Città di riferimento ¹	Tempo minimo di viaggio ²	Mezzo più veloce ³	Tempo in aereo ⁴	Raggiungibile in 2 ore ⁵
Piemonte	116933	Torino	0	-	0	VERO
Valle d'Aosta	33	Aosta	70	Macchina	-	VERO
Lombardia	609	Milano	75	Treno	-	VERO
Trentino-Alto Adige	6	Trento	210	Macchina	-	FALSO
Veneto	24	Venezia	220	Macchina	+	FALSO
Friuli-Venezia Giulia	3	Trieste	300	Macchina	+	FALSO
Liguria	99	Genova	110	Macchina	+	VERO
Emilia-Romagna	96	Bologna	154	Treno	+	FALSO
Toscana	48	Firenze	195	Treno	+	FALSO
Umbria	0	Perugia	310	Macchina	+	FALSO
Marche	15	Ancona	290	Macchina	+	FALSO
Lazio	60	Roma	287	Treno	70	VERO
Abruzzo	3	L'Aquila	390	Macchina	80	VERO
Molise	0	Campobasso	470	Macchina	+	FALSO
Campania	6	Napoli	394	Treno	90	VERO
Puglia	21	Bari	520	Macchina	90	VERO
Basilicata	0	Potenza	540	Macchina	+	FALSO
Calabria	0	Catanzaro	660	Macchina	100	VERO
Sicilia	0	Palermo	998	Macchina	95	VERO
Sardegna	0	Cagliari	860	Macchina	85	VERO

Gli esponenti presenti nelle intestazioni di colonna fanno riferimento alle assunzioni semplificative riportate in precedenza, all'interno dell'elenco numerato (il numero riportato come apice corrisponde alla numerazione in elenco)

Adottando i criteri semplificativi citati, risulta che più della metà delle destinazioni extraregionali (10/19) sono raggiungibili in meno di due ore. Ragionando, invece, sul totale degli spostamenti, i risultati non validi risultano inferiori allo 0.16% dei casi, anche in virtù del fatto che il 99% degli spostamenti campionati termina all'interno del Piemonte.

Occorre sottolineare, tuttavia, che le semplificazioni apportate hanno agevolato enormemente la determinazione dei tempi di percorrenza a scapito, però, dell'accuratezza dei risultati. Per un'analisi più realistica occorrerebbe, quantomeno, valutare i comuni di effettiva origine/destinazione, ma ciò richiederebbe l'effettuazione di un numero ingestibile di interrogazioni (considerato che solo il Piemonte è costituito da 1181 comuni e quindi 1181² possibili coppie O/D). A seconda dell'esatta origine/destinazione, inoltre, anche gli spostamenti interni al Piemonte potrebbero richiedere più di due ore di viaggio.

La verifica effettuata risulta, dunque, eccessivamente grossolana e permissiva, ma è comunque sufficiente per evidenziare la presenza di vistose, seppur poco frequenti, anomalie che sollevano grossi dubbi sul metodo di rilevamento delle destinazioni.

Unendo le osservazioni scaturite da questa analisi con le informazioni tratte dalla documentazione fornita a corredo del dataset, illustrate nel corso del capitolo 2, si arriva ad ipotizzare quanto segue:

- innanzitutto, l'effettivo intervallo temporale che intercorre tra origine e destinazione dello spostamento potrebbe estendersi sino a 120 minuti, a seconda dell'orario esatto di partenza ed arrivo (es. partenza ore 08:00 ed arrivo ore 09:59);
- è, dunque, probabile che sul dataset venga riportata l'ultima destinazione raggiunta allo scadere dell'ora successiva alla partenza, solo se, durante quest'arco di tempo, la SIM genera almeno due eventi consecutivi all'interno di una stessa ACE (come descritto nel paragrafo 2.1.4);
- se, tuttavia, non viene rilevata alcuna destinazione entro l'intervallo di tempo indicato, è, allora, probabile che venga riportata la prima ACE in cui la SIM genera i due eventi, a prescindere da quanto tempo sia effettivamente trascorso dall'ora di partenza.

Queste ipotesi potrebbero, infatti, giustificare l'individuazione di destinazioni molto distanti dall'origine, senza contraddire apertamente quanto riportato sulla documentazione fornita.

3.2. Tasso di campionamento atteso – quota di mercato TIM

Come anticipato, una delle principali incognite, introdotte dall'impiego dei dati TIM, è costituita dal tasso di campionamento, nozione necessaria per una corretta pesatura delle informazioni contenute nel dataset.

In questa sezione si propone, in prima approssimazione, di considerare il coefficiente di riporto all'universo dei dati campionari TIM pari alla rispettiva quota di mercato. Chiaramente questa assunzione risulta una semplificazione di quanto avviene nella realtà, poiché è vero che il tasso di campionamento è condizionato dalla quota di mercato, ma questa non è, tuttavia, l'unica variabile da tenere in considerazione.

Non è detto, innanzitutto, che tutte le SIM della TIM presenti sul territorio vengano campionate, che ci sia una corrispondenza uno ad uno tra individui e SIM e, inoltre, non è corretto assumere che la quota di mercato, valida a livello nazionale, si distribuisca in egual modo su ogni area geografica. Si ipotizza, infatti, che per le grandi città, come il comune di Torino, ci sia un maggior numero di operatori che offrono i loro servizi rispetto ad altre realtà extraurbane o rurali, dove i possibili vincoli sulla ricezione e la carenza di sportelli fisici restringono la scelta dell'operatore di telefonia a quelli maggiormente consolidati, per ragioni di copertura o di affidabilità.

Anche se inclusi nel campione, inoltre, non sono noti né gli operatori italiani né, tantomeno, quelli stranieri che risultano in roaming su rete TIM, aggiungendo così un'ulteriore incertezza alla definizione della quota complessiva.

Data la mancanza di informazioni sulla distribuzione spaziale degli utenti di telefonia e di maggiori dettagli in merito al campionamento effettuato, si ritiene lecito, dunque, confondere la quota di mercato con il tasso di campionamento atteso.

Le quote di mercato dei diversi operatori di telefonia mobile, riferite al primo trimestre dell'anno 2019, sono elencate sul file *Allegato 23-7-2019.xls* (Ar dovino, 2019)¹³ reperibile sul sito www.agcom.it alla pagina "Osservatorio sulle comunicazioni".

Le informazioni salienti, estratte dal file *Allegato 23-7-2019.xls*, sono riportate nella seguente Tabella 3-2.

Tabella 3-2 Distribuzione delle quote di mercato degli operatori di telefonia mobile per il primo trimestre dell'anno 2019

Quote di mercato (%)	Distribuzione (%) Marzo 2019
Solo linee "human"*	
Wind Tre	32.1
Tim	27.9
Vodafone	25.5
Poste Mobile	4.9
Iliad	4.0
Altri MVNO (<i>Other Mvno</i>)	5.5
Totale (Total)	100.0

(*) - Sim che effettuano traffico «solo voce» o «voce e dati», incluse le sim "solo dati" con iterazione umana (es: chiavette per PC, sim per tablet ecc.)

Sim "human" residenziali (%)	Sim "human" affari (%)
Wind Tre	33.4
Tim	26.7
Vodafone	24.2
Poste Mobile	5.2
Iliad	4.6
Altri MVNO (<i>Other Mvno</i>)	5.9
Totale (Total)	100.0
	37.0
	35.7
	22.3
	2.6
	0.0
	2.4
	100.0

Come mostrato in Tabella 3-2, TIM detiene per le SIM "human" una quota di mercato complessiva pari al 27.9%, assestandosi al secondo posto nella classifica degli operatori di telefonia mobile. La compagnia risulta, inoltre, al primo posto per l'utenza affari, avvalorando così l'ipotesi di preferenza in termini di affidabilità del servizio offerto.

In definitiva, trascurando l'effettiva distribuzione spaziale degli utenti e la quota degli altri operatori in roaming sulla rete TIM, si determina un tasso di campionamento potenzialmente pari al 27.9%.

¹³<https://www.agcom.it/documents/10179/4165933/Allegato+23-7-2019/94b10a03-8024-485c-a3ff-5befb1d030f5?version=1.0>

3.3. Tasso di campionamento per motivo di spostamento

In questa sezione viene ricercato un metodo per determinare l'universo di riferimento del campione TIM, finalizzato ad una valutazione del tasso di campionamento alternativa alla mera assunzione della quota di mercato.

La difficoltà nella determinazione dell'universo campionario, come accennato nell'introduzione del capitolo, è dovuta alla natura della base di campionamento TIM: i dati TIM, infatti, coinvolgono tutti gli utenti connessi alla rete a prescindere dalla loro residenza anagrafica e ciò non permette il confronto con le informazioni statistiche tradizionalmente offerte dall'ISTAT.

Da diversi anni, tuttavia, l'ISTAT sperimenta l'utilizzo di nuove fonti e l'applicazione di metodi innovativi per la produzione di dati in grado di colmare alcune lacune conoscitive. Gli elaborati derivanti da quest'approccio sono definiti "Statistiche sperimentali", in quanto non ancora definitivamente consolidati.

Tra le pubblicazioni ricadenti in questa famiglia si individua l'analisi sulla "Popolazione insistente per studio e lavoro", che potrebbe rivelarsi particolarmente utile per la definizione dell'universo campionario in oggetto alla corrente trattazione.

Per poter legittimare il confronto tra gli spostamenti campionati da TIM e la popolazione insistente stimata dall'ISTAT, si rende, però, necessaria l'adozione dei seguenti accorgimenti:

- Occorre, innanzitutto, isolare i soli dati di destinazione degli utenti diretti verso il luogo di lavoro o di studio. Quest'operazione è possibile grazie all'introduzione del campo relativo alla classe di viaggiatori pendolari (Vp), ricavato da TIM attraverso un'analisi spaziale delle attività telefoniche prevalenti, svolte dagli utenti nell'orario diurno.
- Bisogna, successivamente, convertire il dato di popolazione, fornito dall'ISTAT, nel numero di spostamenti corrispondenti. Non è detto, infatti, che tutti gli individui effettuino giornalmente un singolo spostamento lavorativo e, pertanto, le due informazioni non risultano direttamente confrontabili.

Per la determinazione del numero medio di spostamenti lavorativi pro-capite, dunque, si fa ricorso ai dati dell'indagine IMQ 2013, reperibile sul sito mtm.torino.it, alla pagina *Open data IMQ 2013 (Agenzia della mobilità piemontese, 2014)*¹⁴. Le informazioni d'interesse, contenute sul file *IMQ2013_opendata.mdb* all'interno delle tabelle "interviste" e "spostamenti", vengono, quindi, importate rispettivamente sui fogli di calcolo *IMQ_inter* e *IMQ_spost* del file *Analisi_CampioneTIM.xlsx*, come mostrato in Tab. 1-10 e Tab. 1-12.

Nei paragrafi seguenti, previa introduzione della statistica sperimentale "Popolazione insistente per studio e lavoro", verranno mostrati i risultati delle operazioni sopracitate, che porteranno, infine, alla ridefinizione del tasso di campionamento.

¹⁴ <https://mtm.torino.it/it/dati-statistiche/indagini/indagine-imq-2013/base-dati-imq-2013/>

3.3.1 Popolazione insistente per studio e lavoro – 2018

Il seguente approfondimento sul concetto di “popolazione insistente” viene affrontato al fine di valutarne la compatibilità con la base di campionamento TIM. Si ritiene che questo dato sperimentale, infatti, non essendo ristretto ai soli individui residenti, come nel caso delle statistiche tradizionali, potrebbe descrivere con maggior fedeltà la popolazione presente all’interno dell’area d’analisi, da cui viene effettivamente estratto il campione TIM.

La documentazione inerente allo studio sulla popolazione insistente, aggiornata al 31/12/2018, è reperibile sul sito www.istat.it alla pagina “Popolazione insistente per studio e lavoro nel 2018” presente all’interno della sezione “Statistiche sperimentali”. Da tale pagina è possibile effettuare lo scarico del file *Allegato-statistico-2018_17_05_2021.xlsx* ([Istituto Nazionale di Statistica - ISTAT, 2021](https://www.istat.it/files/2021/06/Allegato-statistico-2018_17_05_2021.xlsx))¹⁵, contenente i risultati delle elaborazioni inerenti ai principali domini territoriali italiani, e della relativa nota metodologica *Popolazione-insistente ISTAT.pdf* ([Istituto Nazionale di Statistica - ISTAT, 2020](https://www.istat.it/files/2020/03/Popolazione-insistente.pdf))¹⁶.

Per una maggior comprensione del contenuto di questi dati sperimentali, si propone, innanzitutto, un commento sui principali concetti esposti all’interno del documento *Popolazione-insistente ISTAT.pdf*.

La popolazione insistente in una data area, valutata sperimentalmente, non si compone esclusivamente dalla sottopopolazione degli individui residenti, ma anche da lavoratori, studenti e city users. Il dato, così definito, differisce tanto più dalla popolazione iscritta in anagrafe quanto più l’area in questione è attrattiva o repulsiva, analogamente a quanto avviene per lo studio degli spostamenti.

In Formula 3-4 viene riportata la definizione analitica completa proposta per la valutazione della popolazione insistente (PI) nel generico comune j, data dall’insieme degli individui residenti, degli individui dinamici per studio/lavoro (LUS) e dei city users (CU) in ingresso in j, al netto degli individui dinamici per studio/lavoro e dei city users in uscita da j.

Formula 3-4 Popolazione insistente (PI) nel comune j

$$PI_j = Pop.residente_j + \left(\sum_{i=1, i \neq j}^n LUS_{ij}^{\rightarrow} \right) - \left(\sum_{i=1, i \neq j}^n LUS_{ij}^{\leftarrow} \right) + \left(\sum_{i=1, i \neq j}^n CU_{ij}^{\rightarrow} \right) - \left(\sum_{i=1, i \neq j}^n CU_{ij}^{\leftarrow} \right)$$

Dato che la popolazione residente nel comune j può essere espressa come in Formula 3-5, la Formula 3-4 può essere riscritta come mostrato in Formula 3-6.

Formula 3-5 Popolazione residente nel comune j

$$Pop.residente_j = NO_LUS_j + LUS_{jj}^{\leftrightarrow} + \left(\sum_{i=1, i \neq j}^n LUS_{ij}^{\leftarrow} \right) + \left(\sum_{i=1, i \neq j}^n CU_{ij}^{\leftarrow} \right)$$

Formula 3-6 Formulazione alternativa per il calcolo della popolazione insistente (PI) nel comune j

$$PI_j = NO_LUS_j + LUS_{jj}^{\leftrightarrow} + \left(\sum_{i=1, i \neq j}^n LUS_{ij}^{\rightarrow} \right) + \left(\sum_{i=1, i \neq j}^n CU_{ij}^{\rightarrow} \right)$$

¹⁵ https://www.istat.it/files/2021/06/Allegato-statistico-2018_17_05_2021.xlsx

¹⁶ <https://www.istat.it/files/2020/03/Popolazione-insistente.pdf>

Le formulazioni sopraesposte sono state riportate fedelmente dalla fonte precedentemente citata, adottando la simbologia seguente:

- n = numero di comuni;
- i = comune di origine;
- \leftrightarrow_{jj} = spostamento all'interno di j ;
- \leftarrow_{ij} = spostamenti da j ad i (in uscita da j);
- \rightarrow_{ij} = spostamenti da i a j (entranti in j);
- LUS = individui dinamici che si spostano sistematicamente per ragioni di studio o lavoro;
- CU = city users, ovvero individui dinamici che si spostano occasionalmente per turismo, salute, sport, ecc.;
- NO_LUS = individui statici con residenza anagrafica nel comune j che non hanno segnali né di lavoro, né di studio (non iscritti a scuole dell'infanzia/primaria/secondaria o università).

Occorre precisare, tuttavia, che la quantificazione della popolazione insistente diurna avviene attraverso l'integrazione delle tradizionali fonti di dati, ovvero le fonti amministrative ed i registri statistici con copertura nazionale di natura demografica, previdenziale e fiscale. I risultati ottenuti risultano, quindi, al netto dei city users, ossia degli individui che si spostano per ragioni di turismo, affari o salute, poiché non desumibili dalle suddette fonti di dati.

Analizzando, successivamente, il contenuto del file *Allegato-statistico-2018_17_05_2021.xlsx*, è possibile individuare i risultati della stima della popolazione insistente per il Comune di Torino e per la Città metropolitana di Torino, presentati rispettivamente in "Tav. 2 - Grandi Comuni" (con più di 100 mila abitanti) e "Tav. 3 - Città metropolitane".

I valori riscontrati vengono presentati nei sottoparagrafi seguenti, sulla base dei quali verrà proposta una nuova stima del tasso di campionamento TIM.

3.3.1.1 Città metropolitana di Torino

Si osservino, innanzitutto, i valori di popolazione residente e popolazione insistente diurna per la Città metropolitana di Torino, riportati nella seguente Tabella 3-3 distinguendo la tipologia di individui, la destinazione e il motivo di spostamento.

Tabella 3-3 dati di popolazione residente e popolazione insistente diurna per la Città metropolitana di Torino
Valori estratti dalla "Tav. 3 - Città metropolitane" contenuta sul file Allegato-statistico-2018_17_05_2021.xlsx

Città metropolitana di Torino				
Popolazione residente al 31/12/2018			2 238 663	
Popolazione insistente diurna	Individui statici (no attività)		1 014 718	
	Individui dinamici per ragioni di studio/lavoro	Mobilità interna al proprio comune	620 809	
		Mobilità in uscita dal proprio comune	TOT	653 246
			di cui per lavoro	550 765
	dest. int. Prov TO		531 318	
	Mobilità in entrata in un comune della città Metropolitana	di cui per lavoro	436 303	
		TOT	720 173	
		di cui per lavoro	582 564	
		orig. int. Prov TO	531 318	
	TOT			2 358 002

Da quanto è possibile osservare in Tabella 3-3, si riscontra un indice di coesistenza, dato dal rapporto tra pop. insistente e pop. residente, pari al 105.33%. La popolazione insistente risulta, in questo caso, poco superiore al totale dei residenti in provincia (+5.33%) ed è costituita al 56.92% da individui dinamici con mobilità interna o in ingresso nell'area per ragioni di studio o lavoro.

Prima di procedere con la stima del tasso di campionamento TIM, occorre, tuttavia, precisare che dai "DestinationData" non è possibile individuare la quota di individui statici né differenziare gli spostamenti lavorativi da quelli per ragioni di studio e, quindi, verranno prese in considerazione le sole informazioni sugli individui dinamici senza distinguere la ragione dello spostamento.

Come anticipato, occorre procedere, in primis, con il calcolo del numero di spostamenti pro-capite motivati da ragioni di lavoro/studio per ciascuna delle diverse tipologie di individui dinamici, così da poter convertire l'ammontare di individui in numero di spostamenti complessivi. Il tasso di campionamento potrà, a questo punto, essere valutato come rapporto tra gli spostamenti rilevati da TIM e quelli ottenuti dalla suddetta stima.

I calcoli necessari per la stima del numero di spostamenti pro-capite (basata sui dati dell'indagine IMQ), per la quantificazione degli spostamenti campionati da TIM e, infine, per la valutazione del tasso di campionamento, sono mostrati in dettaglio all'interno della Tab. 1-15, e sintetizzati nella seguente Tabella 3-4.

Tabella 3-4 Sintesi dei risultati inerenti alla stima del tasso di campionamento degli individui dinamici della Città metropolitana di Torino (valori estratti dalla Tab. 1-15)

Mobilità per studio/lavoro		Individui	Spostamenti pro-capite	Spostamenti Pop. ins.*	Spostamenti TIM	Tasso di campionamento
Mobilità interna al proprio comune		620 809	1.14	706 775	337 458	48%
Mobilità in uscita dal proprio comune	TOT	653 246	1.06	695 198	395 462	57%
	dest. int. Prov TO	531 318	1.06	565 402	375 337	66%
Mobilità in entrata In un comune della Città Metropolitana	TOT	720 173	1.06	765 820	375 337**	49%
	orig. int. Prov TO	531 318	1.06	565 402	375 337	66%

* Quantità di spostamenti stimata dal prodotto tra il numero di individui appartenenti alla popolazione insistente (ISTAT) ed il numero di spostamenti pro-capite elaborato sulla base dei dati IMQ.

** Poiché il dataset TIM fornisce spostamenti con origine interna alla Città metropolitana di Torino, il valore complessivo di mobilità in entrata è incompleto e produce una sottostima del tasso di campionamento.

I risultati esposti in Tabella 3-4, si dimostrano sensibilmente distanti dalla quota di mercato dell'operatore TIM secondo quanto presentato nel paragrafo 3.2, mostrando un tasso di campionamento più che raddoppiato per quasi tutte le destinazioni. Ricordando, inoltre, che il dataset TIM non fornisce spostamenti con origine esterna alla provincia, il tasso relativo alla mobilità complessiva in entrata nella Città Metropolitana è da ritenersi sottostimato, nonostante il valore inaspettatamente elevato.

Non è chiaro, in questa fase, se la differenza possa essere dovuta ad una densità particolarmente elevata di utenti TIM sull'area della provincia, ad una sottostima della popolazione insistente, inficiata dall'assenza di informazioni sui city users, ad un'errata valutazione degli spostamenti pro-capite, ad una scorretta definizione dei viaggiatori pendolari ("Vp") da parte di TIM o ad errori di campionamento accidentali.

Per ottenere un riscontro ulteriore, nel seguente paragrafo si effettua la medesima analisi riferendola esclusivamente al territorio del comune di Torino.

3.3.1.2 Comune di Torino

I dati di popolazione residente e popolazione insistente diurna per il comune di Torino, estratti dalla "Tav. 2 - Grandi Comuni" contenuta sull'allegato statistico, sono riportati nella seguente Tabella 3-5.

Tabella 3-5 dati di popolazione residente e popolazione insistente diurna per comune di Torino
Valori estratti dalla "Tav. 2 - Grandi Comuni" contenuta sul file Allegato-statistico-2018_17_05_2021.xlsx

Comune di Torino				
Popolazione residente al 31/12/2018			860 793	
Popolazione insistente diurna	Individui statici (no attività)		418 047	
	Individui dinamici per ragioni di studio/lavoro	Mobilità interna al proprio comune		352 726
		Mobilità in uscita dal proprio comune	TOT	125 051
			di cui per lavoro	117 299
			dest. int. Prov TO	76 577
		Mobilità in entrata nel comune	di cui per lavoro	71 419
			TOT	307 306
			di cui per lavoro	230 164
		orig. int. Prov TO	183 479	
		di cui per lavoro	144 423	
TOT			1 079 328	

Analizzando i dati mostrati in Tabella 3-5, si riscontra un indice di coesistenza pari al 125.39%, il che dimostra una maggiore attrattività del comune di Torino rispetto al contesto provinciale. La popolazione insistente risulta, questa volta, significativamente superiore al totale dei residenti nel comune (+25.39%) ed è costituita per il 61.22% da individui dinamici con mobilità interna o in ingresso per ragioni di studio o lavoro.

Analogamente a quanto svolto per la Città Metropolitana, i calcoli effettuati per produrre la valutazione del tasso di campionamento relativo al comune di Torino, sono descritti nel dettaglio all'interno della Tab. 1-16 ed i risultati salienti condensati nella seguente Tabella 3-6.

Tabella 3-6 Sintesi dei risultati inerenti alla stima del tasso di campionamento degli individui dinamici del Comune di Torino (valori estratti dalla Tab. 1-16)

Mobilità per studio/lavoro	Individui	Spostamenti pro-capite	Spostamenti Pop. ins.*	Spostamenti TIM	Tasso di campionamento	
Mobilità interna al proprio comune	352 726	1.12	395 107	304 209	77%	
Mobilità in uscita dal proprio comune	TOT	125 051	1.03	128 248	109 608	85%
	dest. int. Prov TO	76 577	1.03	78 749	100 919	128%
Mobilità in entrata nel comune	TOT	307 306	1.01	311 109	65 585**	21%
	orig. int. Prov TO	183 479	1.01	186 118	65 585	35%

* Quantità di spostamenti stimata dal prodotto tra il numero di individui appartenenti alla popolazione insistente (ISTAT) ed il numero di spostamenti pro-capite elaborato sulla base dei dati IMQ.

** Poiché il dataset TIM fornisce spostamenti con origine interna alla Città metropolitana di Torino, il valore complessivo di mobilità in entrata è incompleto e produce una sottostima del tasso di campionamento.

Anche in questo caso i tassi di campionamento stimati, riportati in Tabella 3-6, appaiono significativamente più elevati della quota di mercato, con un picco per gli spostamenti con destinazione interna alla provincia che, oltre a detenere una percentuale di campionamento più che quadruplicata rispetto alla quota di mercato (27.9%), superano, addirittura, il totale previsto di individui con mobilità in uscita.

Escludendo gli spostamenti con origine esterna alla provincia, poiché è appurato che l'informazione non sia disponibile, l'unico risultato ragionevole si riferisce alla mobilità con origine interna alla provincia, ma, vista la singolarità del caso, è probabile che si tratti di una coincidenza fortuita, dovuta, in realtà, ad una sottostima degli spostamenti in ingresso nel comune.

Persistono, dunque, le stesse incertezze riscontrate nel caso dell'analisi della Città Metropolitana, di seguito elencate nel tentativo di individuare la principale fonte d'errore:

- È poco probabile che il sovra campionamento sia dovuto ad una concentrazione di utenti TIM nell'area d'analisi, perché, innanzitutto, si è ipotizzata una quota di mercato più bassa per le grandi città e, inoltre, questa spiegazione non giustificherebbe l'individuazione di tassi addirittura superiori alla popolazione complessiva (> 100%).
- È certo che ci sia una sottostima della popolazione insistente, dovuta alla mancanza di informazioni sui city users, ma gli spostamenti associati a questa categoria di individui hanno frequenza occasionale e, pertanto, non dovrebbero influenzare i risultati in maniera significativa.
- È anche possibile che la valutazione degli spostamenti pro-capite, per ragioni di studio o lavoro, sia errata, tuttavia, i risultati mostrano valori poco superiori all'unità e possono essere ritenuti sufficientemente ragionevoli.

A supporto di tale affermazione si osservino il numero medio di spostamenti pro-capite per i giorni feriali stimato sul "Rapporto di sintesi sull'area metropolitana" (Agenzia della mobilità piemontese,

2015)¹⁷, pari a 2.11, e quello fornito dal “17° Rapporto sulla mobilità degli italiani” (ISFORT, 2020)¹⁸, pari a 2.1 (2.5 considerando la sola popolazione mobile).

Come prima cosa si può constatare una certa costanza nel valore fornito, nonostante i due studi siano riferiti a popolazioni differenti ed effettuati in periodi differenti, e, considerando che almeno uno spostamento giornaliero sarà motivato dal rientro presso la propria abitazione, la quota residua di spostamenti per lavoro/studio risulta effettivamente molto prossima all’unità.

- È, dunque, probabile che l’errore risieda nella definizione dei viaggiatori pendolari (“Vp”) da parte di TIM, infatti, non è del tutto ragionevole ipotizzare che le principali attività telefoniche avvengano proprio durante l’orario lavorativo o di lezione. Per verificare questa possibilità occorre valutare il tasso di campionamento per gli spostamenti totali, così da evitare gli errori dovuti ad una scorretta interpretazione delle ragioni di mobilità.
- Eventuali errori accidentali di campionamento, infine, potrebbero spiegare la presenza di una particolare concentrazione dei risultati distorti, come nel caso della sottostima degli spostamenti entranti nel comune di Torino, ma non giustificherebbero un errore diffuso a tutte le stime.

Nel paragrafo seguente si sperimenta, dunque, un ulteriore approccio alternativo per la stima del tasso di campionamento delle destinazioni TIM, esplorando, questa volta, i risultati relativi a tutte le principali motivazioni di spostamento, così da valutare, al contempo, se gli errori scaturiscono da una scorretta definizione delle classi di viaggiatori pendolari (“Vp”) e residenti (“Vr”).

3.4. Tasso di campionamento per spostamenti tra macroaree

L’analisi proposta in questa sezione è finalizzata all’ottenimento di una nuova stima del tasso di campionamento degli spostamenti rilevati da TIM, aventi origine/destinazione all’interno di una delle macroaree, definite nel paragrafo 4.1, relativi sia alla mobilità complessiva, sia a quella motivata dalle seguenti ragioni principali:

- Spostamenti per ragioni di lavoro/studio, identificati sul dataset TIM dalla classe di viaggiatori pendolari (“Vp”);
- Spostamenti per il rientro presso la propria residenza/domicilio, identificati sul dataset TIM dalla classe di viaggiatori residenti (“Vr”);
- Spostamenti motivati da altre ragioni, valore deducibile dal totale degli spostamenti sottraendo i due risultati precedenti.

Il tasso di campionamento verrà, questa volta, valutato dal rapporto tra le destinazioni TIM e gli spostamenti ricavati dai dati dell’indagine IMQ 2013 (Agenzia della mobilità piemontese, 2014), precedentemente importati sul foglio *IMQ_spost* (Tab. 1-12) contenuto all’interno del file *Analisi_CampioneTIM.xlsx*.

A differenza dei dati utilizzati nel paragrafo precedente, la base di campionamento IMQ si limita ai soli residenti del Piemonte ed esclude, dunque, gli spostamenti effettuati dai cittadini non residenti, seppur regolarmente domiciliati in un comune della regione.

¹⁷https://www.mtm.torino.it/wp-content/uploads/dati-statistiche/indagine-imq-2013/pdf/IMQ2013_RapportoSintesi.pdf

¹⁸ <https://www.isfort.it/wp-content/uploads/2020/12/RapportoMobilita2020.pdf>

Questa lacuna rischia di inficiare significativamente i risultati, soprattutto per le città sede di importanti poli universitari come il comune di Torino, per la quale, ricordando i valori in Tabella 3-5, la popolazione insistente risulta maggiorata di almeno il 25.39% rispetto al totale dei residenti.

La verifica basata sulla popolazione insistente, inoltre, appariva più appropriata anche per la base temporale di riferimento dei dati, quasi coincidente con la datazione del campione TIM, mentre le informazioni IMQ riflettono le tendenze risalenti ad almeno sei anni prima.

Il pregio dei dati desumibili dall'indagine IMQ, essendo uno studio specifico sulla mobilità, consiste, tuttavia, nell'aver il valore esplicito degli spostamenti totali, a differenza del caso precedente in cui è stato necessario calcolare il numero medio di spostamenti pro-capite da attribuire agli individui dinamici, e nel maggior dettaglio fornito, che permetterà di distinguere le differenti ragioni di mobilità.

Nel paragrafo seguente viene effettuata la stima del tasso di campionamento dei "DestinationData", per gli spostamenti che interessano le macroaree definite nel paragrafo 4.1.

3.4.1 Confronto spostamenti IMQ con valori campionati da TIM

In questa sezione si propone il confronto tra il totale delle destinazioni rilevate da TIM, durante la giornata di mercoledì 13/02/2019, con gli spostamenti ricavati dall'indagine IMQ 2013 per il giorno feriale medio.

Si noti, dunque, che i due dataset, sottoposti a paragone, oltre alle differenze già enunciate, relative alla base di campionamento (popolazione residente con più di 11 anni d'età e popolazione insistente) ed alla base temporale (2013 e 2019), riportano due informazioni di natura differente: le destinazioni TIM costituiscono osservazioni effettive riferite ad un giorno specifico, seppur campionarie ed affette da probabili errori, mentre i dati dell'indagine sulla mobilità IMQ descrivono una tendenza mediata sui risultati delle interviste effettuate nella primavera e nell'autunno del 2013.

Considerando che le abitudini di mobilità subiscono significative fluttuazioni periodiche (annuali, stagionali, mensili, settimanali, ecc.), si comprende, dunque, che il totale di spostamenti per il giorno feriale medio non potrebbe mai descrivere il numero effettivo di spostamenti effettuati in un giorno specifico.

Un'altra differenza è data dal metodo di campionamento adottato: se da un lato le rilevazioni a mezzo di celle telefoniche potrebbero produrre una sovrastima degli spostamenti, specialmente se di corto raggio, a causa della difficoltà nello stabilire il raggiungimento della destinazione finale e per le eventuali sovrapposizioni tra celle, dal lato opposto le risposte ottenute dalle interviste telefoniche rischiano di essere inficiate dalla percezione soggettiva degli utenti, che potrebbero, ad esempio, tendere a non considerare gli spostamenti di prossimità come tali.

Trascurando queste discrepanze, si procede con il confronto generando, all'interno del file *Analisi_Campione.xlsx*, un nuovo foglio di calcolo denominato *IMQ-TIM*, strutturato come mostrato in Tab. 1-22 e Tab. 1-23 e compilato con le formule riportate in Tab. 1-25.

Il tasso di campionamento, dato dal rapporto tra le destinazioni TIM e gli spostamenti IMQ, è riportato nella seguente Tabella 3-7.

Tabella 3-7 Tasso di campionamento complessivo e per motivazione di spostamento (destinazioni TIM / spostamenti IMQ)

	Tasso di campionamento [%]			
	TOT	Studio/Lavoro	Ritorno a casa	Altro
T <-> T	98%	98%	111%	79%
T --> C	194%	143%	178%	339%
T --> P	89%	161%	55%	297%
T --> R	64%	136%	38%	159%
C --> T	192%	77%	310%	181%
P --> T	91%	10%	378%	79%
C <-> C	104%	123%	128%	68%
C --> P	324%	258%	288%	586%
C --> R	288%	158%	309%	396%
P --> C	325%	75%	826%	202%
P <-> P	85%	42%	122%	55%
P --> R	319%	85%	504%	237%

Osservando i risultati in Tabella 3-7 si riscontra quanto segue:

- Gli spostamenti totali che avvengono all'interno della stessa macroarea (comune di Torino, Cintura o Città Metropolitana) detengono un tasso di campionamento che tende al totale della popolazione ed anche osservando le specifiche motivazioni i valori appaiono relativamente contenuti;
- I valori più elevati sono generalmente attribuibili agli spostamenti in ingresso o uscita dalla cintura di Torino;
- In generale appaiono più ragionevoli i risultati associati alla mobilità in ingresso ed uscita dal comune di Torino, eccezion fatta per gli scambi con la cintura;
- I risultati più estremi, con tassi di campionamento superiori al 300%, vengono raggiunti per gli spostamenti di scambio tra cintura e provincia e per quelli uscenti dalla provincia e diretti verso il resto della regione;
- Valutando le motivazioni di mobilità, si possono tendenzialmente confermare le osservazioni sopradette, ma con valori molto più esasperati per gli spostamenti dovuti ad altre ragioni e, in particolare, per quelli di rientro presso la propria abitazione.

Il numero di spostamenti interni alle macroaree è così prossimo ai valori ricavati dai dati IMQ al punto di avanzare l'ipotesi che il campione sia già stato proiettato all'universo di riferimento, forse proprio sulla base del totale dei residenti in tali aree.

Trascurando gli spostamenti diretti verso il resto della regione, che comunque risultano poco numerosi, si ha, invece, un evidente sovra campionamento che interessa tutta la mobilità di scambio con la cintura di Torino, particolarmente accentuato per la motivazione del ritorno a casa.

Nella sezione seguente si presenta, dunque, un approfondimento sugli spostamenti di scambio con i comuni della cintura, finalizzato ad indagare le ragioni del sovra campionamento riscontrato su tale macroarea.

3.4.1.1 Focus sulle zone IMQ della cintura di Torino

Per approfondire le ragioni delle sovrastime osservate per gli spostamenti di scambio con la cintura di Torino, si propone di valutare nuovamente il tasso di campionamento, considerando, questa volta, le sottozone di tale macroarea in forma disaggregata.

L'intento è quello di individuare le specifiche sotto-aree in cui si concentra l'errore, così che, ragionando sulla loro dislocazione, estensione, morfologia, urbanizzazione o densità abitativa, si possa cogliere la possibile fonte del problema.

Per poter effettuare quest'operazione, occorre, preventivamente, individuare la corrispondenza tra le aree ACE, di riferimento per i dati TIM, con le zone definite per l'indagine IMQ. Il tasso di campionamento, infatti, può essere valutato solo se le informazioni necessarie per il calcolo si riferiscono ad aree coincidenti o, tutt'al più, sovrapponibili.

Si osservino, a tal fine, i risultati della sovrapposizione grafica tra le zonizzazioni IMQ e TIM (aree ACE), relativi al Comune di Torino ed alla Cintura, rispettivamente mostrati in Figura 3-4 e Figura 3-5.

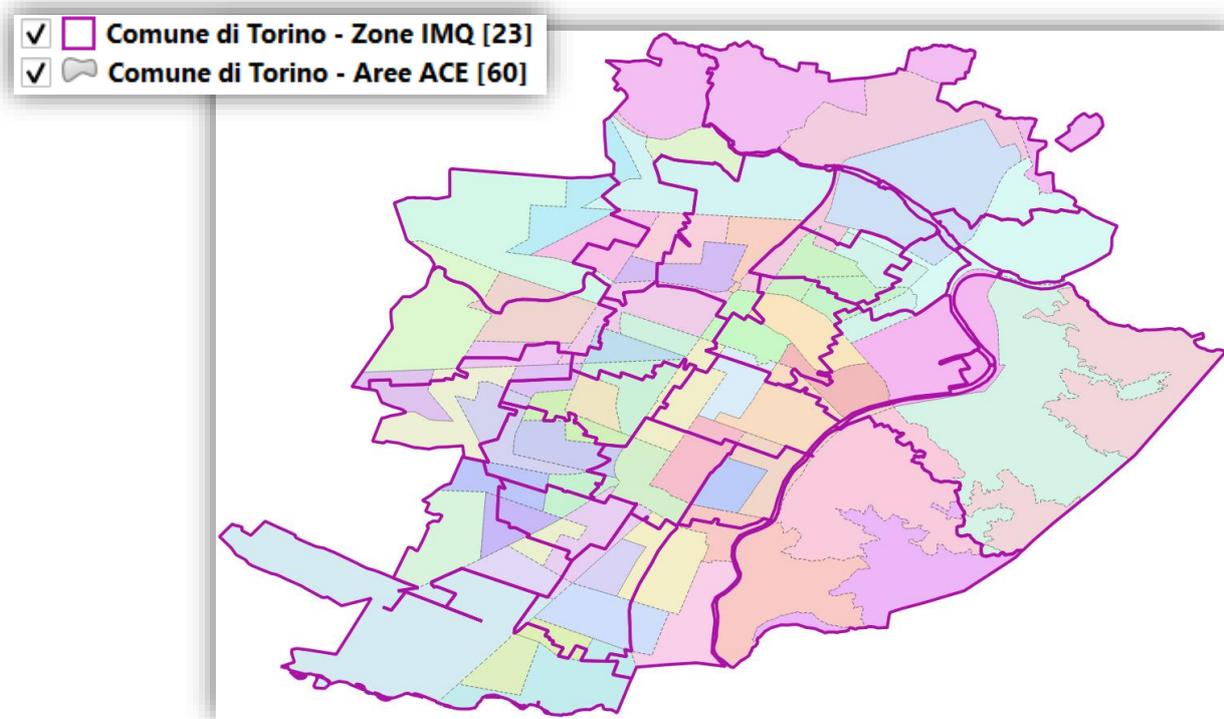


Figura 3-4 Sovrapposibilità tra la zonizzazione IMQ e le aree ACE del Comune di Torino

Come si può osservare in Figura 3-4, all'interno del Comune di Torino, non c'è nessuna zona IMQ completamente sovrapponibile con le aree ACE. Per tutte le zone, infatti, è possibile individuare almeno una sotto-area parzialmente sovrapposta anche con le zone confinanti.

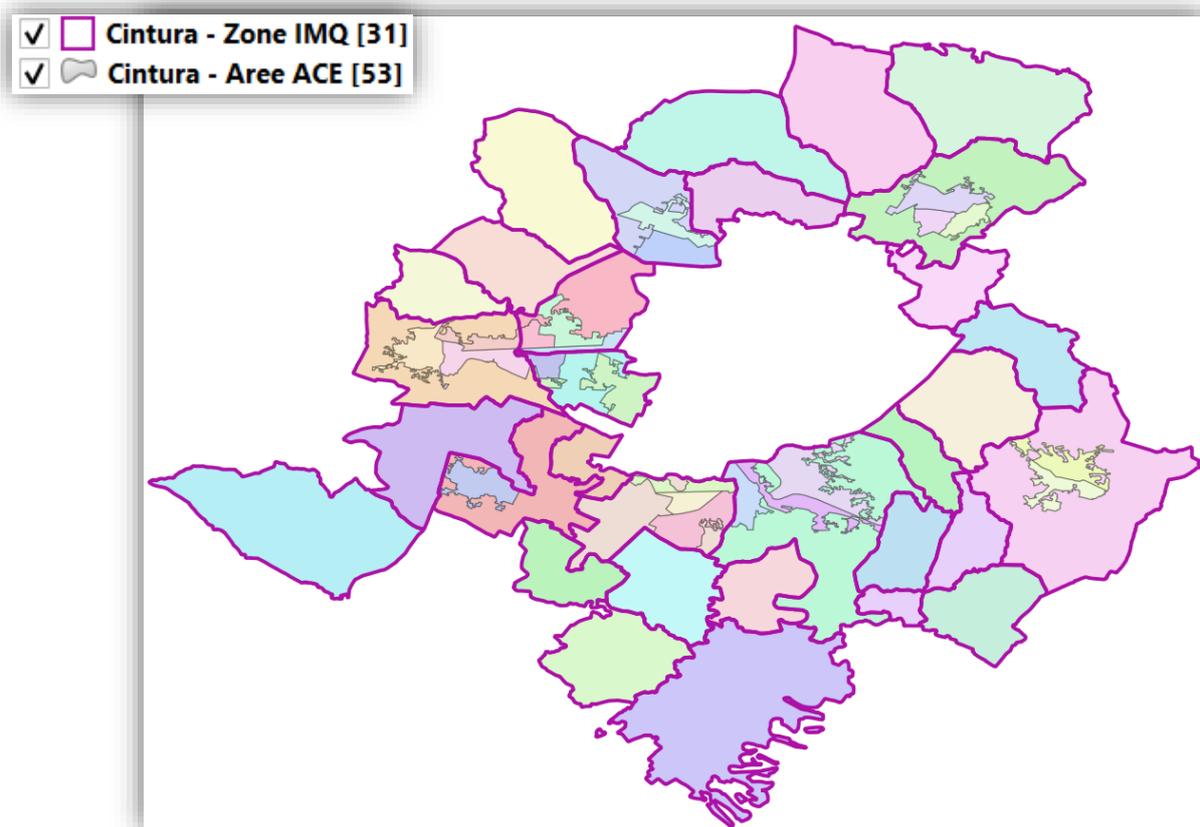


Figura 3-5 Sovrapposibilità tra la zonizzazione IMQ e le aree ACE della Cintura di Torino

Valutando la Figura 3-5, invece, si può constatare che, aggregando opportunamente le aree ACE, le zonizzazioni risultano sovrapponibili, rendendo possibile il calcolo del tasso di campionamento.

Esplicitando l'associazione tra le aree ACE, identificate dal LayerID (REG|PRO|COM|ASC|ACE), e le zone IMQ, come mostrato in Tab. 1-22, si può, dunque, ricorrere alle formule riportate in Tab. 1-26 per ottenere i risultati illustrati in Tab. 1-24.

I risultati estrapolati da Tab. 1-24 vengono, di seguito, riportati aggregando gli spostamenti entranti ed uscenti dalla Cintura (Tabella 3-8), ed il relativo tasso di campionamento complessivo viene raffigurato distinguendo la mobilità di scambio tra la Cintura ed il Comune di Torino (Figura 3-6) e quella tra la Cintura e la Città Metropolitana (Figura 3-7).

Tabella 3-8 Tasso di campionamento [%]
(Spost. TIM / Spost. IMQ)

	Spost. IMQ		Spost. TIM		Tasso camp.	
	C <-> T	C <-> P	C <-> T	C <-> P	C <-> T	C <-> P
C002	44 259	6 762	99 885	13 054	226%	193%
C003	36 650	4 731	89 616	21 664	245%	458%
C004	27 614	4 371	64 055	13 956	232%	319%
C005	11 687	3 795	23 957	8 132	205%	214%
C006	27 941	11 009	57 662	36 481	206%	331%
C007	17 077	3 420	33 936	10 332	199%	302%
C008	4 990	187	16 962	4 943	340%	2643%
C009	47 197	8 871	100 708	18 527	213%	209%
C010	3 062	58	5 345	1 863	175%	3204%
C011	26 401	1 989	57 572	9 699	218%	488%
C012	3 370	1 759	4 761	7 419	141%	422%
C013	18 605	2 839	31 104	8 076	167%	284%
C014	14 330	12 091	32 023	31 330	223%	259%
C015	11 640	6 785	19 748	27 426	170%	404%
C016	31 698	15 920	48 228	49 787	152%	313%
C017	7 943	5 046	9 515	14 840	120%	294%
C018	9 824	4 845	19 361	15 086	197%	311%
C019	6 783	1 072	11 474	10 358	169%	966%
C020	10 189	4 680	17 626	17 962	173%	384%
C021	12 340	12 750	13 851	26 458	112%	208%
C022	6 708	739	9 607	5 182	143%	702%
C023	3 677	677	4 350	4 606	118%	680%
C024	4 998	1 497	4 272	8 589	85%	574%
C064	17 370	8 487	24 562	26 328	141%	310%
C065	7 485	6 462	12 690	21 675	170%	335%
C066	2 109	572	4 868	2 712	231%	474%
C067	4 223	851	6 485	2 707	154%	318%
C068	3 654	2 552	5 877	13 490	161%	529%
C069	7 430	2 738	13 006	7 636	175%	279%
C070	1 492	984	2 571	4 542	172%	462%
C071	8 215	7 692	5 911	29 665	72%	386%

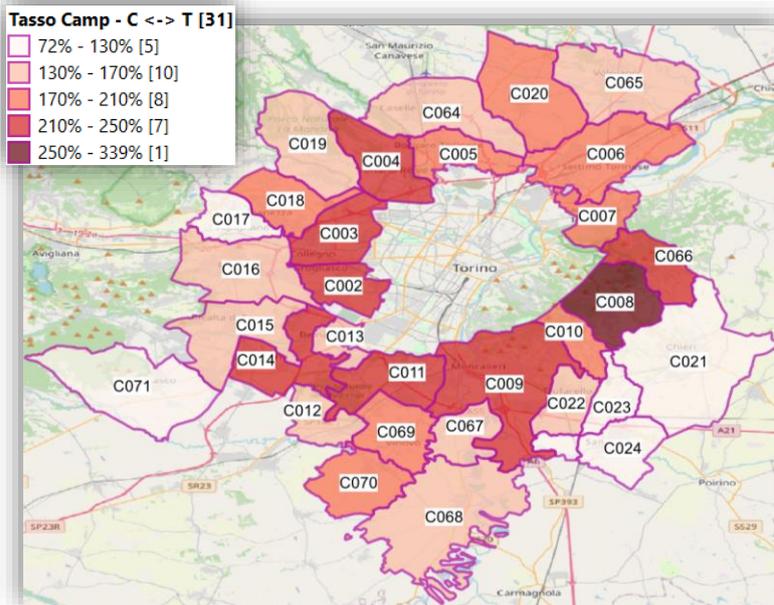


Figura 3-6 Tasso di campionamento per la mobilità di scambio tra la Cintura ed il Comune di Torino

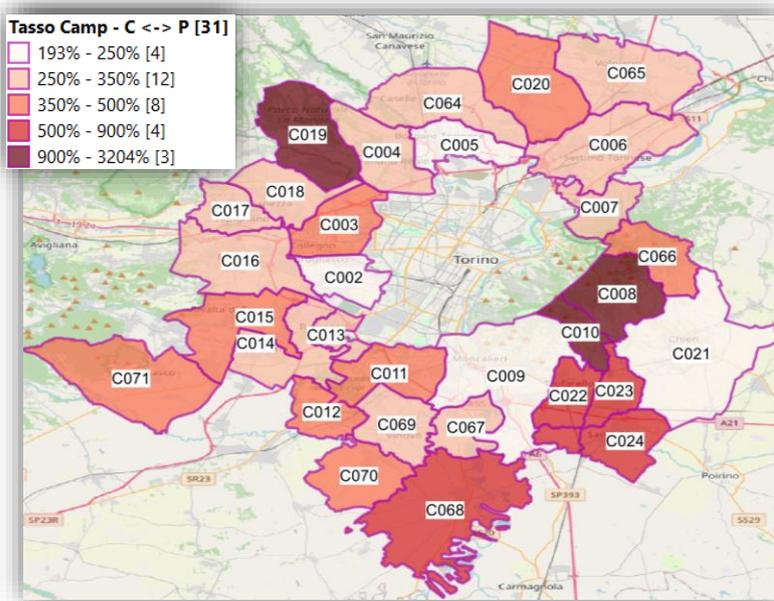


Figura 3-7 Tasso di campionamento per la mobilità di scambio tra la Cintura e la Città metropolitana di Torino

Valutando i risultati in Tabella 3-8 si osserva, innanzitutto, che i tassi di campionamento risultano molto più elevati per la mobilità di scambio tra Cintura e Città Metropolitana e che le sovrastime più evidenti riguardano le zone C008, C010 e C019. Per le zone C008 e C010, si nota, tuttavia, una possibile sottostima degli spostamenti IMQ, che risultano inferiori agli altri valori di quasi un ordine di grandezza.

Il sovra campionamento, relativo agli spostamenti di scambio tra Cintura e Comune di Torino (Figura 3-6), appare generalmente più marcato per le zone di confine tra le due macroaree.

In maniera analoga, il sovra campionamento relativo alla mobilità di scambio tra Cintura e Città Metropolitana (Figura 3-7), risulta generalmente più critico per le zone più esterne della Cintura, al confine con il resto della provincia.

Si potrebbe pensare, dunque, che l'errore sia attribuibile ad una scorretta individuazione delle destinazioni finali campionate da TIM, poiché questa ipotesi, infatti, spiegherebbe la sovrastima sulle aree attraversate durante lo spostamento.

Per fare un esempio, gli spostamenti con origine nella zona C021 dovrebbero attraversare l'area C008 per raggiungere il Comune di Torino e, confondendo il transito con la destinazione finale, si verificherebbe una sovrastima degli spostamenti proprio sulla zona intermedia (C008).

Anche se i risultati grafici sembrano confermare quest'ipotesi, ciò non spiegherebbe perché la stessa sovrastima non interessi anche gli spostamenti interni al Comune di Torino, laddove le ACE sono più fitte ed è più probabile transitare attraverso più aree prima di giungere alla zona di effettiva destinazione.

Ricordando i risultati esposti in Tabella 3-7, se l'ipotesi fosse fondata si dovrebbe, infatti, osservare un tasso di campionamento molto alto per il Comune di Torino e, inoltre, gli spostamenti di scambio tra Torino e provincia dovrebbero risultare sottostimati, poiché interrotti da una tappa intermedia dovuta al transito attraverso la Cintura.

Sempre facendo riferimento alla Tabella 3-7, si sottolinea, infine, che il sovra campionamento degli spostamenti entranti ed uscenti dalla Cintura è particolarmente marcato per la motivazione del rientro a casa, come se gli individui residenti/domiciliati in Cintura si muovessero giornalmente tra le altre macroaree e la loro abitazione molto più frequentemente di quanto previsto.

3.5. Ipotesi sulle modalità di campionamento ed assunzioni derivanti dall'analisi

Prima di avanzare le ipotesi conclusive si vuole porre l'attenzione su un'ulteriore questione irrisolta, che potrebbe fornire degli spunti importanti a supporto di quanto emerso dalla corrente analisi.

Sulla documentazione fornita a corredo del dataset TIM, si afferma che uno spostamento può essere rilevato a fronte di due eventi consecutivi nella stessa cella, senza, però, precisare cosa si intenda per "evento".

Per analogia con il metodo di definizione delle classi di viaggiatori residenti e pendolari, basato sull'analisi delle attività telefoniche degli utenti, si potrebbe pensare che gli eventi siano generati proprio dalle telefonate effettuate dalla popolazione. Questa possibile spiegazione, tuttavia, non risulta molto convincente e sfocerebbe in un campionamento inefficiente e poco significativo.

Da una serie di ricerche sul web si è individuato uno studio trasportistico, intitolato *Validation of Travel Times based on Cellular Floating Vehicle Data (Maerivoet e Logghe, 2007)*¹⁹, che, analogamente alla trattazione corrente, basa le proprie stime sull'elaborazione dei dati cellulari.

Su tale documento, si spiega che quando una SIM si sposta da una zona all'altra, il sistema registra esclusivamente il così detto passaggio di consegna tra due celle (handoff, handover o anche cell switching). Per determinare il tempo di viaggio tra due zone il sistema necessita, dunque, di due passaggi di consegna consecutivi, relativi all'ingresso e all'uscita dall'ultima cella attraversata.

¹⁹https://www.researchgate.net/profile/Steven-Logghe/publication/228922403_Validation_of_travel_times_based_on_cellular_floating_vehicle_data/links/004635257e1eb33f77000000/Validation-of-travel-times-based-on-cellular-floating-vehicle-data.pdf

Nonostante lo studio corrente risponda ad una finalità differente dalla stima del tempo di viaggio e nonostante l'evoluzione, rispetto al 2007, degli standard adottati nelle telecomunicazioni, in entrambi i casi si parla di "due eventi consecutivi" per l'identificazione dell'ultima cella di passaggio.

Ricercando, successivamente, ulteriori chiarimenti sul concetto di handoff si sono ritrovate una serie di osservazioni particolarmente interessanti ai fini di questa analisi. Si riportano, nel seguito, alcune delle nozioni tratte dalla pagina web *Differenza tra Handoff e Handover in telecomunicazioni | Informatica e Ingegneria Online (Lavecchia, 2021)*²⁰:

- Le reti cellulari sono composte da celle in grado di coprire un'area ristretta e di servire un numero limitato di utenti (capacità della cella); pertanto, quando si esce dall'area di copertura o si raggiunge il limite di capacità della cella, si verifica un handoff;
- Spesso la portata delle celle tende a sovrapporsi, così da permettere l'handoff dei dispositivi connessi alla rete quando si trovano nell'area di sovrapposizione;
- Una SIM connessa ad una cella più grande (cella a "ombrello") può, inoltre, essere trasferita (handoff) ad una cella più piccola (micro-cella), senza il superamento di alcun limite ma solo per liberare capacità.

Unendo i concetti sovraesposti si ritiene, dunque, possibile che alcune delle destinazioni campionate da TIM non si riferiscano ad uno spostamento reale, ma ad un handoff innescato, ad esempio, dal raggiungimento della capacità limite di una cella. Ipotizzando che in aree meno urbanizzate e meno popolate, come i comuni della Cintura di Torino, le celle posseggano una capacità limitata, è possibile che si verifichino degli handoff anche per gli utenti che non sono effettivamente in movimento.

Se così fosse, si potrebbe spiegare il perché di tanti spostamenti apparentemente motivati dal rientro a casa, attribuendo i dati di destinazione in sovrannumero ad utenti statici presso la loro abitazione ma campionati a causa di un handoff.

In conclusione, le assunzioni principali, scaturite dall'analisi svolta in questo capitolo, possono essere sintetizzate come segue:

- Il tempo di viaggio degli spostamenti non può risultare maggiore dell'intervallo di campionamento, ipoteticamente pari ad al massimo 120 minuti.
- Il numero di spostamenti campionati si considera come già scalato al totale della popolazione residente.
- Lo spostamento si considera rilevato a fronte di due eventi consecutivi nella stessa cella, quindi, assumendo che l'evento consista in un passaggio di consegna, la destinazione così individuata sembrerebbe l'ultima cella attraversata dallo spostamento e non la destinazione finale. Tuttavia, la destinazione riportata sui "DestinationData" non indica la cella ma l'area ACE (Told) che è probabile che sia costituita dall'insieme di più celle, tantopiù in ambito urbano dove le antenne sono più ravvicinate così da formare le cosiddette "microcelle". Se anche la cella, rilevata a seguito dei due eventi (handoff), non fosse l'ultima ad essere stata raggiunta ma l'ultima ad essere stata attraversata, dunque, l'ACE indicata come destinazione dovrebbe risultare, con buona probabilità, quella corretta.

Per chiarire meglio questo punto si propone l'esempio mostrato nella seguente Figura 3-8.

²⁰ <https://vitolavecchia.altervista.org/differenza-tra-handoff-e-handover-in-telecomunicazioni/>



Figura 3-8 Esempio di spostamento con origine nell'ACE 5 (ore 7:00) e destinazione nell'ACE 7 (ore 8:00)

Nell'esempio in Figura 3-8 viene mostrato uno spostamento con origine alle ore 7:00 nell'area ACE numero 5 e destinazione alle ore 8:00 nell'ACE 7. Come è possibile osservare, l'ultima cella attraversata non è la meta finale ma, siccome ricade nell'ACE numero 7, l'area di destinazione risulta individuata correttamente. Chiaramente la soluzione così ottenuta può non essere sempre quella esatta perché l'ultima cella attraversata potrebbe ricadere in un'ACE diversa da quella di destinazione, tuttavia, si ritiene che il margine d'errore possa essere sufficientemente contenuto e ristretto a pochi casi limite. D'altro canto, la localizzazione delle SIM, valutata attraverso i passaggi di consegna registrati dall'operatore di rete, non può che fornire una stima di tipo probabilistico.

In definitiva, si assume che la destinazione riportata sul dataset sia costituita dall'ultima area ACE raggiunta allo scadere dell'ora successiva (tuttalpiù al termine dei 120 minuti seguenti, come ipotizzato nel primo punto) individuata con un margine d'errore trascurabile.

- Il sovra campionamento riscontrato per la macroarea della Cintura è giustificato, in parte, da una possibile sottostima degli spostamenti riportati sul dataset IMQ e, in parte, dal sovrannumero di destinazioni rilevate da TIM a causa della presenza di celle sovrapposte e del meccanismo di handoff (effetto ping-pong).

4. Definizione dell'area di studio

In questo capitolo si procede, innanzitutto, con la definizione delle macroaree d'analisi, necessaria per permettere la correlazione dei dati campionari TIM con le stime IMQ, sulla base della quale verrà, successivamente, selezionata l'area di studio e la relativa zonizzazione, per passare, infine, all'individuazione dei centroidi, basata sull'analisi dei principali poli generatori ed attrattori presenti all'interno del contesto territoriale oggetto di studio.

4.1. Definizione delle macroaree d'analisi

La definizione delle macroaree, presentata in questo paragrafo, risulta essenziale per lo sviluppo dell'intera trattazione poiché costituisce la base territoriale di sovrapposizione tra la zonizzazione IMQ e le aree ACE a cui si riferiscono i dati TIM, permettendo, dunque, di relazionare i risultati tratti dai due differenti dataset.

Si deve, infatti, far presente che la zonizzazione proposta nello studio IMQ, anche se definita appositamente per scopi trasportistici, risulta più grossolana rispetto a quella TIM (aree ACE), e la ripartizione dell'area del comune di Torino, inoltre, non risulta sovrapponibile, come mostrato nel paragrafo 3.4.1.1 in Figura 3-4.

L'incompatibilità tra le due differenti zonizzazioni, comunque, non è l'unica ragione ad indurre l'adozione di una ripartizione territoriale più ampia. Seppure le zone fossero sovrapponibili, e si considerassero, quindi, delle aree specifiche di estensione ridotta, si potrebbero ottenere delle stime apparentemente più accurate, ma, tuttavia, forvianti a causa delle altre differenze tra i due dataset:

- La differenza principale tra i due dataset consiste nella base di campionamento. Il campionamento TIM coinvolge la popolazione insistente sul territorio, residenti e non purché utenti TIM, l'indagine IMQ, invece, si rivolge ai soli cittadini residenti del Piemonte maggiori di 11 anni di età. Se, ad esempio, si considerasse una zona universitaria, particolarmente attrattiva anche per gli individui provenienti dal resto d'Italia, si potrebbero, quindi, riscontrare forti discrepanze tra i risultati tratti dalle due diverse fonti.
- Per via della differente base temporale, anno 2013 per l'indagine IMQ e 2019 per il campionamento TIM, le tendenze osservate nel passato potrebbero aver subito delle variazioni locali, a causa dei possibili mutamenti del tessuto urbano avvenuti nel corso degli anni. Stringendo il focus su aree specifiche, dunque, aumenterebbe la probabilità di incorrere in stime distorte.
- I dati TIM costituiscono misurazioni orarie di un giorno specifico, mentre le informazioni IMQ forniscono una tendenza ponderata sul lungo periodo. È possibile che il dato puntuale si discosti molto dal trend descritto da IMQ, a causa delle probabili fluttuazioni periodiche (stagionali, mensili, settimanali o giornaliere).

Il confronto dei risultati per zone più ristrette, dunque, renderebbe più evidenti le possibili difformità locali, imputabili alla base di campionamento ed alla base temporale considerate, oltre che, alla differente natura delle informazioni contenute sui due dataset. Come visto nei paragrafi 3.4.1.1 e 3.4.1, infatti, il confronto tra i dati delle singole zone della cintura evidenzia anomalie molto più marcate di quanto non si riscontri considerando la macroarea nel suo insieme.

Nell'intento di garantire la massima coerenza con le aree appartenenti alla zonizzazione proposta dall'indagine IMQ e di sfruttare a pieno i dati TIM, disponibili per l'intera Città metropolitana di Torino, la definizione delle macroaree d'analisi risulta piuttosto immediata e può essere descritta come segue:

- **Comune di Torino** (com. 272), anche indicato come Città di Torino o come Area urbana.
 - **Cintura di Torino**, comprendente i comuni seguenti:
 - Alpignano (com. 008), Baldissero Torinese (com. 018), Beinasco (com. 024), Borgaro Torinese (com. 028), Cambiano (com. 048), Candiolo (com. 051), Carignano (com. 058), Caselle Torinese (com. 063), Chieri (com. 078), Collegno (com. 090), Druento (com. 099), Grugliasco (com. 120), La Loggia (com. 127), Leini (com. 130), Moncalieri (com. 156), Nichelino (com. 164), Orbassano (com. 171), Pecetto Torinese (com. 183), Pianezza (com. 189), Pino Torinese (com. 192), Piobesi Torinese (com. 193), Piossasco (com. 194), Rivalta di Torino (com. 214), Rivoli (com. 219), San Mauro Torinese (com. 249), Santena (com. 257), Settimo Torinese (com. 265), Trofarello (com. 280), Venaria Reale (com. 292), Vinovo (com. 309) e Volpiano (com. 314).
- } L'area complessiva del comune di Torino e dei comuni della cintura verrà indicata come Torino e Cintura o **Area metropolitana**.
- **Città metropolitana di Torino** (prov. 001), indicata anche come Città Metropolitana o Provincia, considerata al netto delle aree del Comune di Torino e della Cintura.
 - **Regione Piemonte** (reg. 01), considerata al netto della Città metropolitana di Torino e comprendente le provincie di Vercelli (prov. 002), Novara (prov. 003), Cuneo (prov. 004), Asti (prov. 005), Alessandria (prov. 006), Biella (prov. 096) e Verbania (prov. 103).
 - **Resto d'Italia**, che a seguire verrà ristretto alle regioni Valle d'Aosta (reg. 02), Lombardia (reg. 03), Liguria (reg. 07), Emilia-Romagna (reg. 08), Toscana (reg. 09).

Questa macro-suddivisione del territorio viene, innanzitutto, sfruttata per la stima del tasso di campionamento degli spostamenti (paragrafo 3.4), getta le basi per la definizione dell'area di studio (paragrafo 4.2) e verrà, nuovamente, impiegata per la determinazione della ripartizione modale (paragrafo 7.2).

Nella seguente Figura 4-1 viene proposto un focus sulle macroaree della Città metropolitana di Torino, per le quali i dati TIM sono resi disponibili in riferimento alle specifiche aree di censimento ACE.

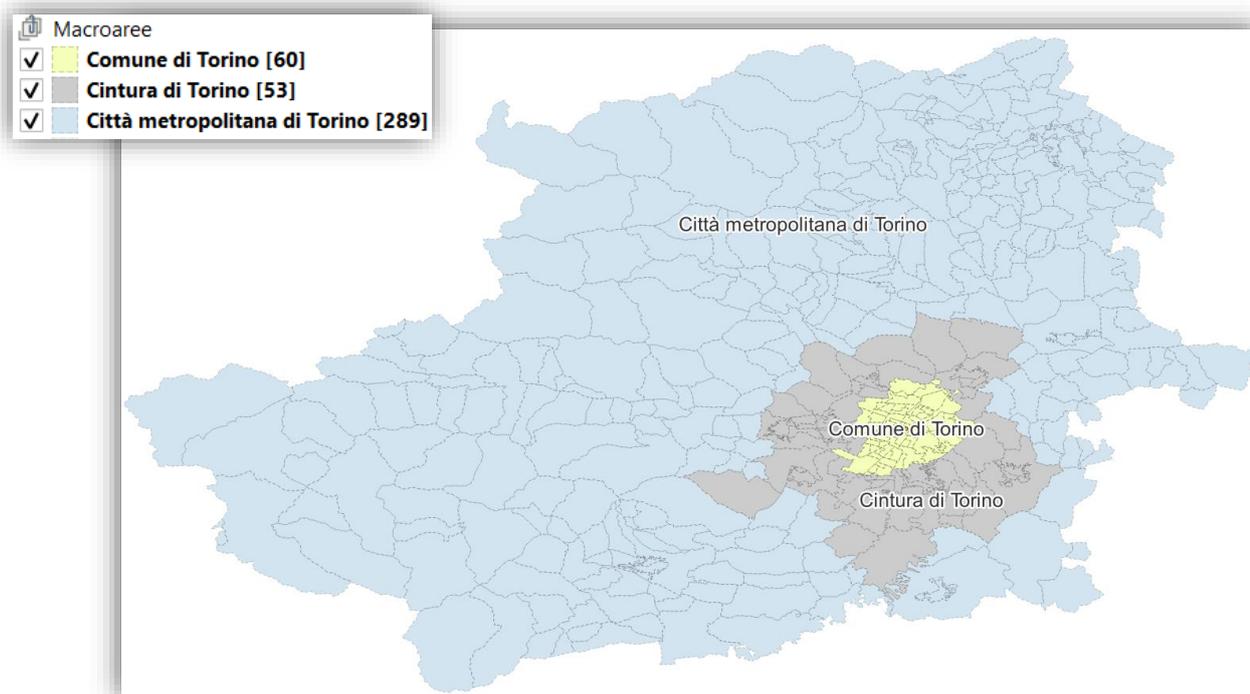


Figura 4-1 Macroaree interne alla Città metropolitana di Torino con dettaglio sulla delimitazione delle aree ACE

Come mostrato in Figura 4-1, si individuano complessivamente 402 aree di censimento ACE, di cui 60 appartenenti al comune di Torino, 53 appartenenti ai comuni della cintura e 289 ricadenti nel resto della provincia.

Si sottolinea, come già anticipato nel corso del paragrafo 2.1.1, che i “DestinationData” sono disponibili esclusivamente per le 402 aree ACE mostrate in Figura 4-1, ovvero che il campione TIM comprende tutti gli spostamenti con origine all’interno di tali aree, precisando, tuttavia, che ciò non preclude l’individuazione di spostamenti diretti verso altre aree che esulano dal dominio territoriale della provincia. A tal proposito si ricorda, che nel corso del paragrafo 3.1.2, infatti, sono state individuate destinazioni dirette verso tutt’Italia, rendendo addirittura dubbio l’intervallo di campionamento dichiarato dal fornitore dei dati. In altre parole, dunque, ciò che non è fornito dal dataset sono esclusivamente gli spostamenti con origine esterna alla Città metropolitana di Torino. Per tale ragione la definizione delle macroaree si estende anche oltre i confini della Città Metropolitana, anche se, per il rispetto del vincolo sul tempo di viaggio massimo, discusso nel paragrafo 3.1.2, il perimetro d’analisi viene limitato alle sole regioni adiacenti al Piemonte.

Le macroaree che esulano dal dominio territoriale della Città metropolitana di Torino, saranno, dunque, costituite dalle restanti provincie del Piemonte e dalle altre regioni limitrofe, quali la Valle d’Aosta, la Lombardia, la Liguria, l’Emilia-Romagna e la Toscana.

Si precisa che le regioni esterne al Piemonte sono state selezionate ipotizzando un tempo di percorrenza di 120 minuti, coincidente con l’intervallo di campionamento presunto (paragrafo 3.1.2), e di poter, ottimisticamente, raggiungere la destinazione viaggiando esclusivamente sui percorsi autostradali ad una velocità costante di 120 km/h. Sulla base di questa ipotesi il vincolo di durata si traduce con l’esclusione delle destinazioni che distano più di 240 km dall’area d’origine, restringendo il perimetro d’analisi alle sole regioni elencate.

4.2. Area di studio interna ed esterna

Per coerenza con i dati dell'indagine IMQ 2013 (Agencia della mobilità piemontese, 2014)²¹, a cui si fa spesso riferimento nel corso di questa trattazione, l'area di studio interna viene definita come l'insieme di Torino più i 31 comuni della cintura aderenti al Consorzio "Agenzia per la Mobilità Metropolitana e Regionale", mostrati in Figura 4-2. Si segnala che, successivamente alla realizzazione di questa indagine, nel 2017 è stato reso operativo il nuovo comune di Mappano scorporando parte dei territori dei comuni di Caselle Torinese, Borgaro Torinese, Settimo Torinese e Leini.



Figura 4-2 **Area di studio - Torino e Cintura (32 comuni):** Alpiignano (com. 008), Baldissero Torinese (com. 018), Beinasco (com. 024), Borgaro Torinese (com. 028), Cambiano (com. 048), Candiolò (com. 051), Carignano (com. 058), Caselle Torinese (com. 063), Chieri (com. 078), Collegno (com. 090), Druento (com. 099), Grugliasco (com. 120), La Loggia (com. 127), Leini (com. 130), Moncalieri (com. 156), Nichelino (com. 164), Orbassano (com. 171), Pecetto Torinese (com. 183), Pianezza (com. 189), Pino Torinese (com. 192), Piobesi Torinese (com. 193), Piossasco (com. 194), Rivalta di Torino (com. 214), Rivoli (com. 219), San Mauro Torinese (com. 249), Santena (com. 257), Settimo Torinese (com. 265), Torino (com. 272), Trofarello (com. 280), Venaria Reale (com. 292), Vinovo (com. 309) e Volpiano (com. 314).

La scelta di tale dominio territoriale è giustificata dal forte tasso di auto contenimento degli spostamenti, che, secondo quanto riportato sul "Rapporto di sintesi sull'area metropolitana" (Agencia della mobilità piemontese, 2015)²², si sviluppano per l'80% dei casi all'interno dell'area metropolitana:

²¹ <https://mtm.torino.it/it/dati-statistiche/indagini/indagine-imq-2013/base-dati-imq-2013/>

²² https://www.mtm.torino.it/wp-content/uploads/dati-statistiche/indagine-imq-2013/pdf/IMQ2013_RapportoSintesi.pdf

Definizione dell'area di studio

“Considerando la mobilità motorizzata di tutti i residenti nella Regione Piemonte, risulta che giornalmente vengono effettuati 1,85 milioni di spostamenti interni all'area metropolitana, 225 mila in entrata e altrettanti in uscita.”

È chiaro che la mobilità non motorizzata andrebbe ad accrescere, ancor più, la quota di spostamenti interni, poiché solitamente associata a percorsi brevi che difficilmente possono descrivere i movimenti di scambio tra le macroaree considerate.

In analogia con quanto presentato sul suddetto rapporto di sintesi, si riportano nella Tabella 4-1 alcune informazioni di base sulla popolazione residente.

Tabella 4-1 La popolazione residente nell'area di studio al 1° gennaio 2019

Contesto territoriale	Popolazione residente*	Popolazione [%]	Superficie complessiva [Km ²]**	Superficie [%]	Densità ab. [pop. per Km ²]
Comune di Torino	860 793	57%	130	16%	6 621
Cintura di Torino	646 067	43%	708	84%	913
Area Metropolitana	1 506 860	100%	838	100%	1 798

* Residenti al 1° gennaio 2019 – dati ISTAT

** Estensione territoriale tratta dal “Rapporto di sintesi sull'area metropolitana” (Agenzia della mobilità piemontese, 2015)

In sintesi, sebbene la popolazione di Torino ricopra il 57% del totale dei residenti dell'intera area, essa si concentra sul 16% del territorio. Viceversa, la popolazione della cintura rappresenta il restante 43% ma è sparsa sul restante 84% del territorio. Come illustrato in Tabella 4-1, dunque, la densità abitativa del comune di Torino risulta un ordine di grandezza superiore rispetto alla densità riscontrata per i comuni della cintura.

La situazione risulta pressoché immutata negli anni, anche se, rispetto ai conteggi riportati sul rapporto (datati 31/12/2012), si riscontra una contrazione del numero di residenti torinesi (-51 030), ed un accrescimento della popolazione della cintura (+2 372).

Questo mutamento demografico potrebbe in parte giustificare il sovrannumero di spostamenti campionati da TIM proprio sull'area della cintura, evidenziato in Tabella 3-7 (paragrafo 3.4.1).

Per quanto riguarda l'area di studio esterna, si è scelto di limitare l'analisi alle sole regioni Piemonte, Valle d'Aosta, Lombardia, Liguria, Emilia-Romagna e Toscana, rammentando che il dataset TIM non contiene destinazioni estere e che, secondo quanto ipotizzato al termine del paragrafo 3.1.2, i tempi di viaggio dovrebbero risultare inferiori a 120 minuti.

L'area esterna risulta, quindi, la medesima porzione di territorio italiano già definita nel corso della macrozonizzazione presentata al paragrafo 4.1, come illustrato nella seguente Figura 4-3.

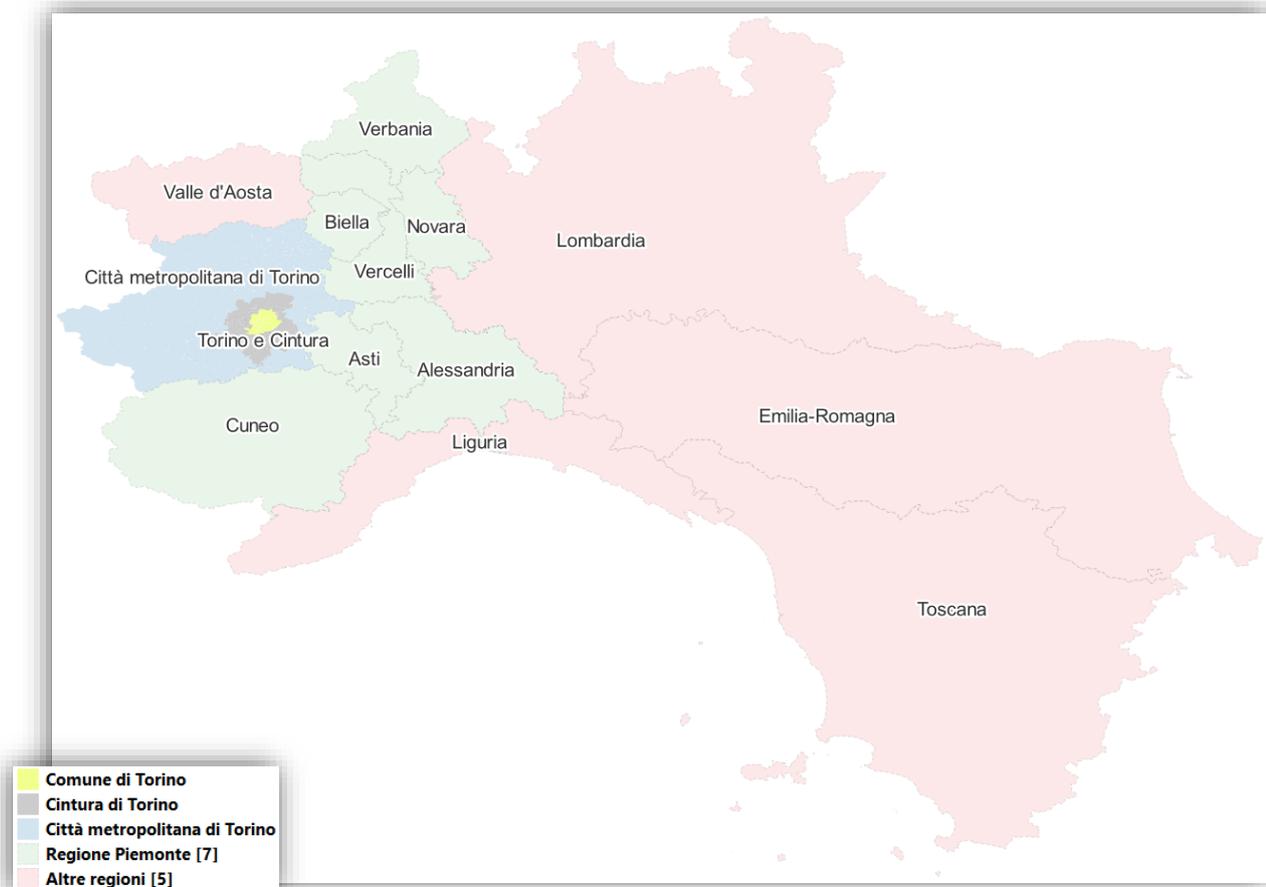


Figura 4-3 **Area di studio esterna (8 provincie e 5 regioni):** Città metropolitana di Torino (prov. 001), Vercelli (prov. 002), Novara (prov. 003), Cuneo (prov. 004), Asti (prov. 005), Alessandria (prov. 006), Biella (prov. 096), Verbania (prov. 103), Valle d'Aosta (reg. 02), Lombardia (reg. 03), Liguria (reg. 07), Emilia-Romagna (reg. 08) e Toscana (reg. 09)

Definita l'estensione territoriale del contesto d'analisi, si procede, dunque, con la determinazione della zonizzazione, discussa nei paragrafi seguenti.

4.3. Zonizzazione

La suddivisione dell'area di studio in sottozone è una semplificazione necessaria per condurre un'analisi degli spostamenti. La zonizzazione serve, infatti, a concentrare in un numero limitato di punti (centroidi di zona) la molteplicità degli spostamenti con origine e destinazione diffusi su tutta l'area di studio.

Quanto più la zonizzazione risulterà fitta tanto meglio approssimerà la realtà ma, al contempo, saranno richiesti maggiori sforzi per ottenere e gestire le informazioni necessarie al fine di supportare il livello di dettaglio imposto. L'adozione di zone molto ristrette comporta, inoltre, la necessità di includere una rete stradale più complessa ma, d'altro canto, la suddivisione delle aree dovrà essere coerente con lo schema di rete minimo, ovvero con il grafo costituito dagli archi stradali di cui interessa conoscere i flussi.

Nel caso in esame, tuttavia, questa suddivisione non deve essere realizzata ex novo ed è, anzi, vincolata alla conformazione delle aree ACE, a cui, come descritto nel corso del paragrafo 2.1.1, si riferiscono i dati del campionamento TIM. Le ACE costituiscono, dunque, l'unità di base della zonizzazione e potrebbero, tuttalpiù, essere aggregate per la realizzazione di aree più estese.

Definizione dell'area di studio

Se da un lato sarebbe utile mantenere il parallelismo con la zonizzazione IMQ, così da garantire una corrispondenza diretta con i risultati tratti dall'indagine, dall'altro lato, però, è già stata scartata la possibilità di sovrapporre le rispettive aree, a causa dell'incompatibilità con le zone interne al comune di Torino (paragrafo 3.4.1.1 in Figura 3-4).

A ciò va aggiunto che l'aggregazione delle ACE, a cui sono associati gli spostamenti forniti da TIM, comporterebbe una discreta perdita di informazioni. La mobilità interna ad una zona aggregata, infatti, non potrebbe più essere modellata e, inoltre, il conseguente incremento delle distanze interzonali precluderebbe la possibilità di distinguere gli spostamenti di prossimità, per i quali è più probabile il ricorso ai mezzi non motorizzati.

In definitiva, dunque, verrà adottata la suddivisione imposta dalle aree di censimento ACE come zonizzazione interna all'area di studio, mentre per le zone esterne verranno applicati dei criteri semplificati basati esclusivamente sulla dislocazione delle principali arterie stradali in ingresso/uscita, esposti nel dettaglio al paragrafo 4.3.3.

4.3.1 Zone interne all'area di studio - Aree di censimento (ACE)

Come anticipato, si è scelto di suddividere internamente l'area di studio secondo la zonizzazione di riferimento del dataset TIM, costituita dalle aree di censimento ACE, presentate nel paragrafo 2.1.1. Si ritiene, infatti, che, mantenendo questa zonizzazione grezza, si possa favorire la massima coerenza con le informazioni di origine/destinazione campionate da TIM, conservando, inoltre, un maggior dettaglio sugli spostamenti di prossimità, anche se a scapito della corrispondenza con i dati IMQ.

Per procedere occorre, innanzitutto, rintracciare le informazioni geografiche relative ai confini delle aree di censimento ACE, definite dal raggruppamento delle sezioni di censimento, che costituiscono l'unità minima delle rilevazioni censuarie.

I dati necessari sono reperibili sul sito dell'ISTAT, alla pagina *Basi territoriali e variabili censuarie (Istituto Nazionale di Statistica - ISTAT, 2017)*²³, dove, oltre ai confini delle sezioni di censimento, sono resi disponibili i risultati del censimento della popolazione e delle abitazioni e del censimento dell'industria e dei servizi del 2011, che verranno impiegati nei paragrafi successivi per la definizione dei poli generatori ed attrattori.

All'interno della suddetta pagina web, sotto la sezione "Basi territoriali", è possibile individuare lo shape file relativo alle sezioni di censimento del Piemonte, denominato *R01_11_WGS84.shp (Istituto Nazionale di Statistica - ISTAT (a), 2015)*²⁴, che viene, dunque, importato su Q-GIS per la consultazione e le successive elaborazioni.

Il vettore *R01_11_WGS84*, così ottenuto, va rielaborato per ricostruire, attraverso l'aggregazione delle sezioni di censimento, le aree ACE, identificabili univocamente dal concatenamento delle codifiche associate a regione, provincia, comune, ASC ed ACE. Come spiegato nel paragrafo 2.1.1, infatti, la sola codifica dell'ACE non è sufficiente per individuare una specifica area di censimento, poiché essa costituisce la numerazione progressiva di tale area all'interno del contesto comunale che, quindi, non è univoca al di fuori del comune stesso.

Al fine di predisporre correttamente gli shapefile necessari sia per la fase attuale di definizione delle zone interne, che per le fasi successive, occorre eseguire le seguenti operazioni:

²³ <https://www.istat.it/it/archivio/104317>

²⁴ https://www.istat.it/storage/cartografia/basi_territoriali/WGS_84_UTM/2011/R01_11_WGS84.zip

1. Ri-proiezione del vettore R01_11_WGS84

Si consiglia, innanzitutto di riproiettare il vettore *R01_11_WGS84* dal sistema metrico EPSG 32632 (WGS 84 / UTM zone 32N) a quello geografico EPSG 4326, così da adottare un sistema di riferimento compatibile sia con OmniTRANS che con GoogleMaps.

2. Attribuzione del LayerID a tutte le zone del Piemonte

Occorre definire l'attributo LayerID (REG|PROV|COM|ASC|ACE) così da garantire l'identificazione univoca delle ACE, agevolando, al contempo, la corrispondenza tra le informazioni geografiche con i dati TIM ed i risultati del censimento ISTAT 2011, che tornerà utile, in seguito, per l'analisi dei poli e l'individuazione dei centroidi.

Si ricorda che il vettore *Riproiettato* contiene le sezioni di censimento dell'intero Piemonte ma i dati TIM sono forniti solo per la Città metropolitana di Torino. Le sezioni esterne alla Città Metropolitana faranno parte delle zone esterne per le quali non sarà necessario applicare la ripartizione in ACE, ma basterà seguire i confini provinciali. Per tale ragione, alle sezioni esterne alla Città Metropolitana verrà assegnato un LayerID troncato al codice della provincia (REG|PROV|).

Il LayerID può, dunque essere definito ricordando la codifica descritta nel paragrafo 2.1.1, questa volta inserendo il codice della regione Piemonte espresso in tre cifre (001), come mostrato in Tabella 4-2.

Tabella 4-2 Definizione dell'attributo LayerID per le aree del vettore Riproiettato

Riproiettato – Calcolatore di Campi	
Nome campo	LayerID
Tipo campo	String(19)
Formula	if(substr("COD_ISTAT",2,3) <> '001', concat('001 ', substr("COD_ISTAT",2,3), ' '), concat('001 ', substr("COD_ISTAT",2,3), ' ', substr("COD_ISTAT",5,3), if(length("COD_ASC") = 1, ' 00', if(length("COD_ASC") = 2, ' 0', ' ')), "COD_ASC", if(length("ACE") = 1, ' 00', if(length("ACE") = 2, ' 0', ' ')), "ACE"))

3. Estrazione delle sezioni interne all'area di studio

Le geometrie contenute sul vettore *Riproiettato*, appartenenti all'area metropolitana di Torino e cintura, possono, successivamente, essere selezionate sulla base della codifica dei comuni ("COD_ISTAT"), attraverso l'espressione riportata in Tabella 4-3.

Tabella 4-3 Selezione delle geometrie del vettore Riproiettato relative ai comuni dell'area metropolitana di Torino e cintura

Riproiettato – Seleziona con Espressione	
Formula	"COD_ISTAT" = '1001008' OR "COD_ISTAT" = '1001018' OR "COD_ISTAT" = '1001024' OR "COD_ISTAT" = '1001028' OR "COD_ISTAT" = '1001048' OR "COD_ISTAT" = '1001051' OR "COD_ISTAT" = '1001058' OR "COD_ISTAT" = '1001063' OR "COD_ISTAT" = '1001078' OR "COD_ISTAT" = '1001090' OR "COD_ISTAT" = '1001099' OR "COD_ISTAT" = '1001120' OR "COD_ISTAT" = '1001127' OR "COD_ISTAT" = '1001130' OR "COD_ISTAT" = '1001156' OR "COD_ISTAT" = '1001164' OR "COD_ISTAT" = '1001171' OR "COD_ISTAT" = '1001183' OR "COD_ISTAT" = '1001189' OR "COD_ISTAT" = '1001192' OR "COD_ISTAT" = '1001193' OR "COD_ISTAT" = '1001194' OR "COD_ISTAT" = '1001214' OR "COD_ISTAT" = '1001219' OR "COD_ISTAT" = '1001249' OR "COD_ISTAT" = '1001257' OR "COD_ISTAT" = '1001265' OR "COD_ISTAT" = '1001272' OR "COD_ISTAT" = '1001280' OR "COD_ISTAT" = '1001292' OR "COD_ISTAT" = '1001309' OR "COD_ISTAT" = '1001314'

Le sezioni di censimento così selezionate, possono essere esportate come *Sezioni_TOeCint.shp* e conservate per la successiva analisi dei poli generatori ed attrattori.

4. Aggregazione delle sezioni di censimento in zone

L'aggregazione può quindi avvenire attraverso il LayerID definito al punto 2, utilizzando il comando "Aggrega" sul vettore *Riproiettato*, come mostrato nella seguente Figura 4-4.

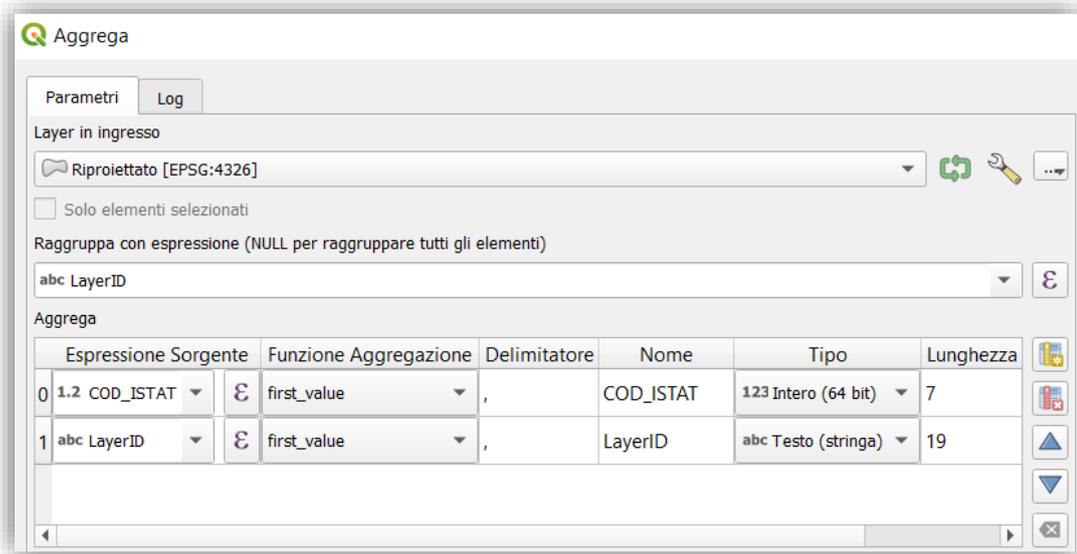


Figura 4-4 Aggregazione delle geometrie del vettore *Riproiettato* secondo l'attributo *LayerID*

5. Numerazione zone interne

Conviene, successivamente, assegnare una numerazione progressiva zone interne all'area di Torino e cintura, eseguendo l'operazione descritta in Tabella 4-4.

Tabella 4-4 Assegnazione di un identificativo numerico per le ACE appartenenti all'area di studio (vettore *Aggregato*)

Aggregato – Calcolatore di Campi	
Nome campo	CentroidNr
Tipo campo	Integer(3)
Formula	if("COD_ISTAT" = '1001008' OR "COD_ISTAT" = '1001018' OR "COD_ISTAT" = '1001024' OR "COD_ISTAT" = '1001028' OR "COD_ISTAT" = '1001048' OR "COD_ISTAT" = '1001051' OR "COD_ISTAT" = '1001058' OR "COD_ISTAT" = '1001063' OR "COD_ISTAT" = '1001078' OR "COD_ISTAT" = '1001090' OR "COD_ISTAT" = '1001099' OR "COD_ISTAT" = '1001120' OR "COD_ISTAT" = '1001127' OR "COD_ISTAT" = '1001130' OR "COD_ISTAT" = '1001156' OR "COD_ISTAT" = '1001164' OR "COD_ISTAT" = '1001171' OR "COD_ISTAT" = '1001183' OR "COD_ISTAT" = '1001189' OR "COD_ISTAT" = '1001192' OR "COD_ISTAT" = '1001193' OR "COD_ISTAT" = '1001194' OR "COD_ISTAT" = '1001214' OR "COD_ISTAT" = '1001219' OR "COD_ISTAT" = '1001249' OR "COD_ISTAT" = '1001257' OR "COD_ISTAT" = '1001265' OR "COD_ISTAT" = '1001272' OR "COD_ISTAT" = '1001280' OR "COD_ISTAT" = '1001292' OR "COD_ISTAT" = '1001309' OR "COD_ISTAT" = '1001314', @row_number, null)

Le zone esterne non sono ancora state definite, quindi, la loro numerazione avverrà nelle fasi successive.

6. Associazione zona – macroarea

Note le zone interne all'area di studio, a cui è stato assegnato l'attributo CentroidNr, e le nozioni codificate all'interno del LayerID (REG|PROV|COM|ASC|ACE), si possono, infine, definire le macroaree associate a ciascuna geometria presente sul vettore *Aggregato*, come mostrato in Tabella 4-5.

Tabella 4-5 Associazione delle macroaree alle zone contenute sul vettore *Aggregato*

Aggregato – Calcolatore di Campi	
Nome campo	MacroArea
Tipo campo	String(8)
Formula	if(substr("LayerID", 9, 3) = '272', 'Torino', if("CentroidNr" is not null, 'Torino_C', if(length("LayerID") = 19, 'Torino_P', 'Torino_R')))

Le macroaree esterne al Piemonte verranno definite contestualmente alla zonizzazione esterna.

Il vettore *Aggregato*, così ottenuto, può, infine, essere esportato come *Zonizzazione.shp*.

Al termine delle suddette operazioni, la zonizzazione interna all'area di studio risulta quella mostrata nelle seguenti Figura 4-5 e Figura 4-6.

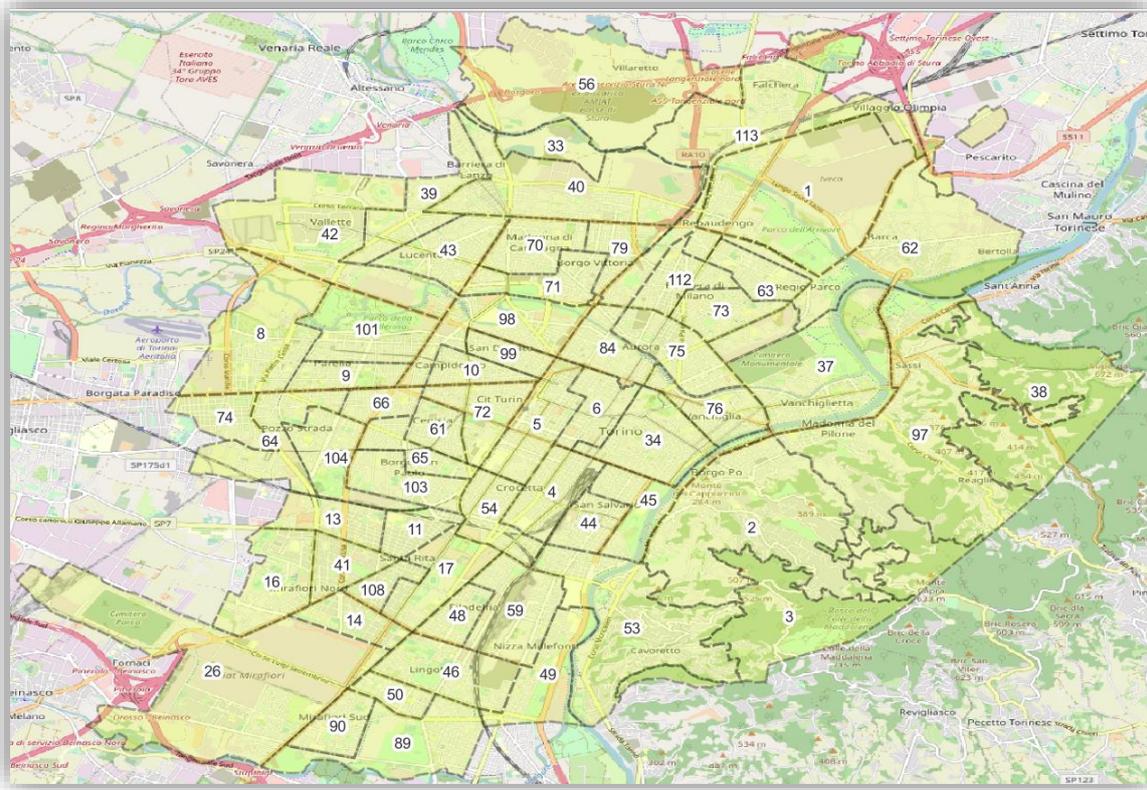


Figura 4-5 Vettore *Zone_TOeCintura* – Focus sulle zone interne al comune di Torino (60 aree ACE)

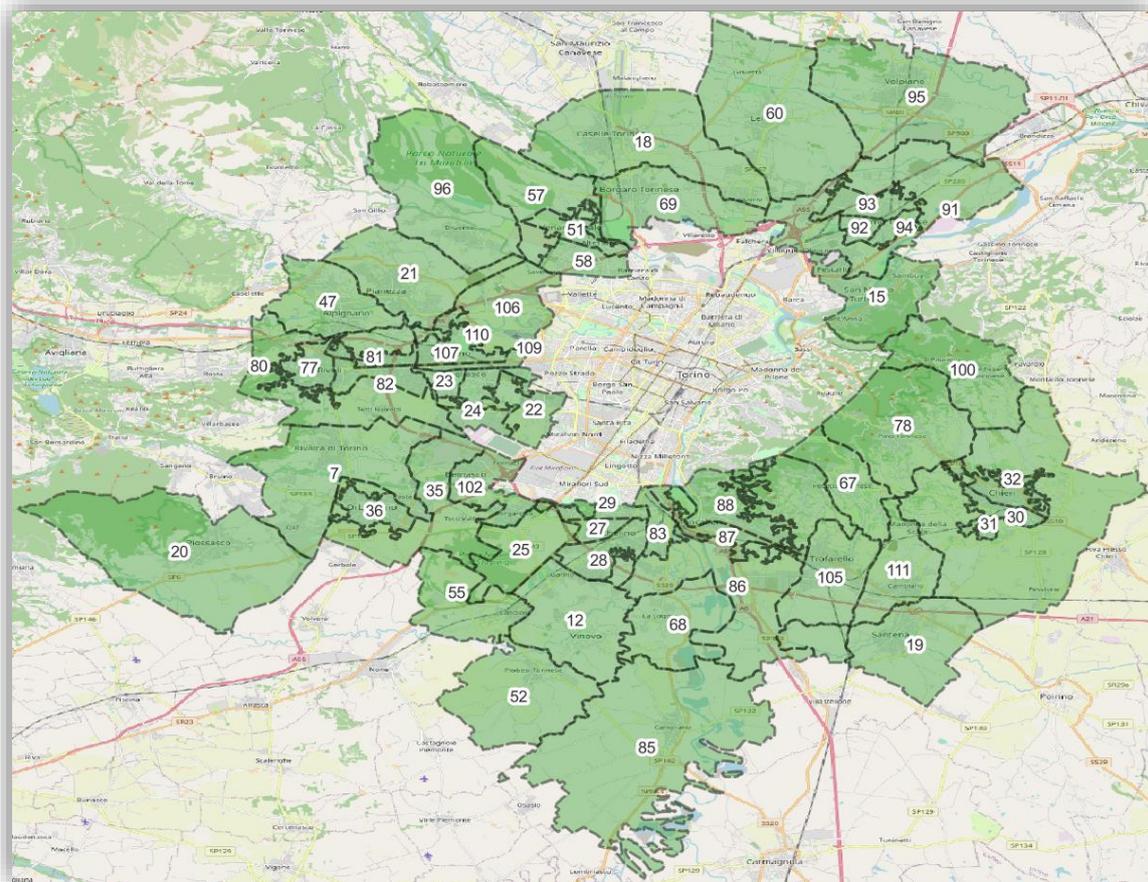


Figura 4-6 Vettore Zone_TOeCintura – Focus sulle zone appartenenti alla cintura di Torino (53 aree ACE)

Allo scopo di valutare la qualità della zonizzazione ottenuta ai fini delle analisi trasportistiche, si può verificare la coerenza con i seguenti criteri generali:

1. Le zone devono essere ragionevolmente omogenee in termini di uso del suolo;
2. Le zone devono inoltre differenziarsi tra quelle a carattere prevalentemente produttivo, come le aree residenziali, e quelle di natura attrattiva, come le aree commerciali o dei servizi;
3. I confini delle zone dovrebbero seguire i limiti dettati dalla presenza di barriere antropiche (ferrovie, autostrade, ecc.) e naturali (corsi d'acqua, catene montuose, ecc.);
4. Per agevolare la raccolta dati, inoltre, è consigliabile ricalcare i medesimi confini amministrativi (comuni, zone censuarie, circoscrizioni, ecc.);
5. È importante, infine, che le zone non assumano una forma marcatamente concava, così che i percorsi intrapresi per gli spostamenti interni risultino interamente contenuti all'interno dell'area stessa.

La prima condizione non è propriamente garantita, in quanto l'omogeneità delle ACE è valutata, esclusivamente, in termini di numero di residenti. Si possono, infatti, osservare zone più ristrette nelle aree maggiormente popolate e, al contrario, più estese dove la popolazione è rarefatta. Se, da un lato, è verosimile che le sezioni di censimento contigue, incluse in un'ACE, possano risultare omogenee per l'uso del suolo, dall'altro, la ricerca di un'equivalenza in termini di popolazione residente conduce, in alcuni casi, all'aggregazione di aree rurali con porzioni di centri urbani.

Per quanto riguarda la distinzione tra aree produttive ed attrattive (secondo criterio), valgono, grossomodo, le stesse osservazioni sopracitate. In linea di massima le zone meno estese corrispondono ad aree densamente abitate e, quindi, dalla vocazione prevalentemente residenziale, ma la forzatura prodotta dalla ricerca di un bilancio equilibrato del numero di abitanti induce all'accorpamento di aree produttrici con poli fortemente attrattori. Le zone ospedaliere, universitarie, commerciali ed industriali, invece di risultare ben definite, appaiono frammentate e disomogenee.

Anche il terzo criterio viene disatteso, a causa dell'individuazione di zone divise internamente dalla presenza di corsi d'acqua o di ferrovie, come avviene per le zone mostrate nell'esempio in Figura 4-7.

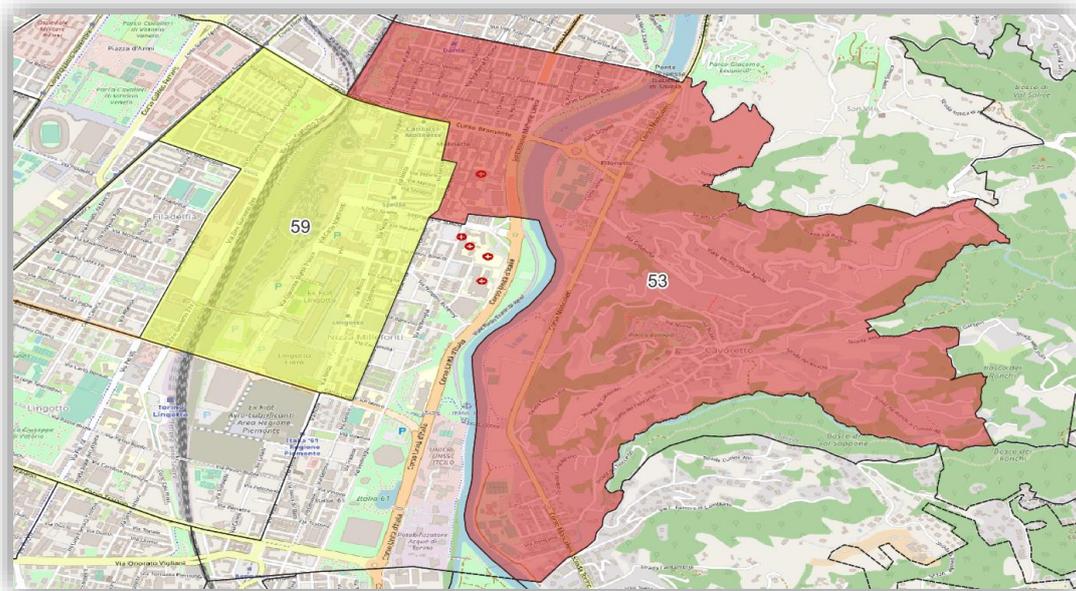


Figura 4-7 Esempio di zone divise internamente dalla presenza di barriere antropiche o naturali

Nell'esempio in Figura 4-7 è possibile, inoltre, constatare come l'area 53 includa solo una porzione della zona ospedaliera per, poi, estendersi oltre al fiume includendo il pre-collina. Analogamente, la zona 59 comprende solo una parte del parco commerciale del Lingotto, incorporando, in compenso, l'area residenziale posta dall'altro lato della ferrovia.

Il quarto criterio è l'unico a risultare pienamente soddisfatto, poiché le aree ACE costituiscono, effettivamente, delle unità amministrative e, inoltre, sono state appositamente selezionate per garantire la massima compatibilità con i dati di spostamento forniti da TIM.

L'ultima condizione risulta, nuovamente, non rispettata, a causa della presenza di aree marcatamente concave, dalla forma a "C" o ad anello, come quella riportata in Figura 4-8.

Definizione dell'area di studio

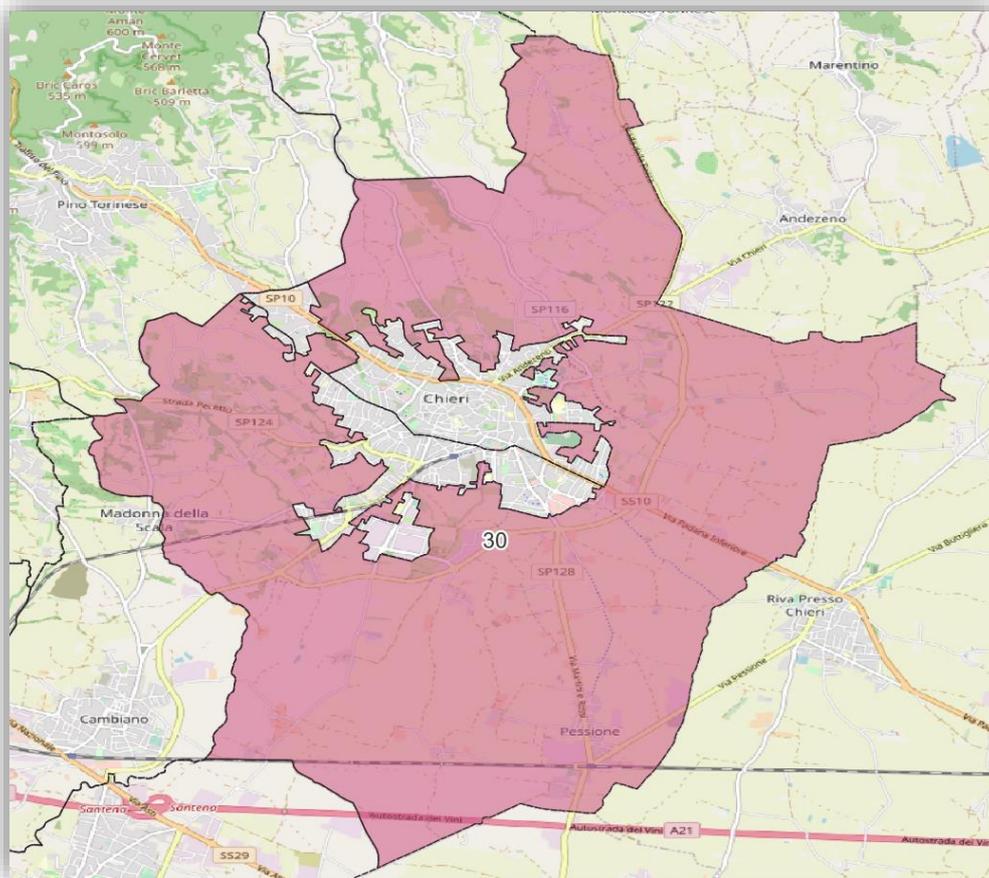


Figura 4-8 Esempio di zona contraddistinta da un'area dalla forma concava

Anche se non viene elencata tra i criteri per l'ottenimento di una zonizzazione appropriata, si evidenzia un'ulteriore criticità dovuta alla mancanza di continuità di alcune delle aree ACE. Come mostrato nell'esempio in Figura 4-9, infatti, alcune sezioni di censimento sono state aggregate sulla base del loro LayerID ma, tuttavia, non risultano confinanti.

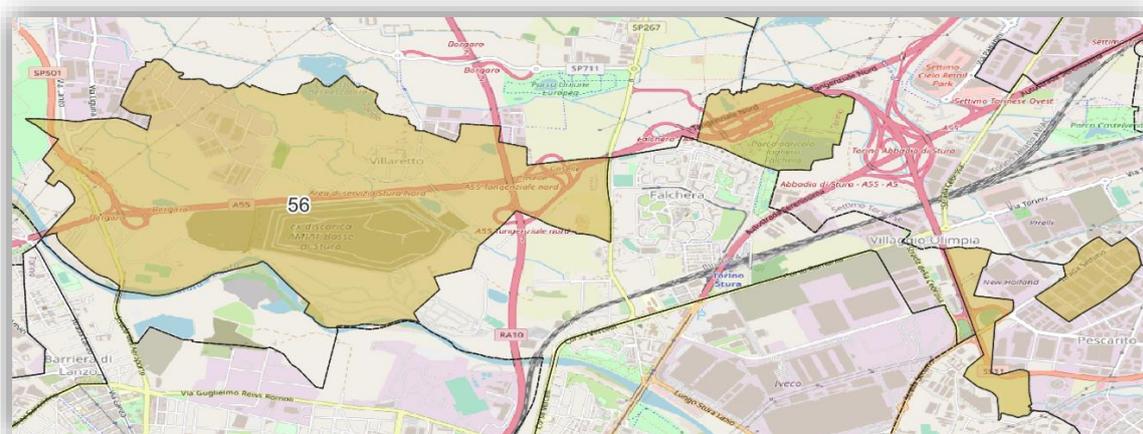


Figura 4-9 Esempio di ACE discontinua data dall'aggregazione di sezioni di censimento con stesso LayerID ma non confinanti

La zonizzazione data dalle ACE dovrebbe, quantomeno, risultare appropriata per i comuni della cintura, per i quali, infatti, si è verificata la sovrapposibilità con le zone IMQ, che, essendo definite appositamente per l'indagine di mobilità, possono ritenersi efficaci.

In definitiva, la suddivisione del territorio comunale di Torino risulta piuttosto inadatta, ma si ritiene che l'estensione ridotta delle zone possa arginare parte delle inefficienze di modello. Soppesando opportunamente il posizionamento dei centroidi e predisponendo adeguatamente i relativi archi connettori, si potrebbe, tutto sommato, ottenere una schematizzazione discretamente verosimile.

4.3.2 Individuazione e caratterizzazione dei poli e dei centroidi interni all'area di studio

Avendo ripartito l'area di studio secondo la zonizzazione derivata dalle aree di censimento, risulta possibile attribuire a ciascuna zona le caratteristiche demografiche ed economiche desunte dal censimento ISTAT 2011.

Le sezioni di censimento, costituite da una sotto partizione molto fine delle ACE, possono, quindi, approssimare discretamente i poli generatori/attrattori di traffico presenti in ciascuna zona, così da poter sfruttare i dati del censimento, associati a queste particelle, per soppesarne la polarità (produttivo/attrattivo).

Per procedere occorre, innanzitutto, convertire i poligoni associati alle sezioni di censimento in geometrie puntuali, che, successivamente, verranno considerate il centro di ciascun polo. Questa operazione può essere eseguita, in prima approssimazione, estraendo il baricentro geometrico di ciascun elemento del vettore *Sezioni_TOeCint*, ottenuto nel corso del paragrafo precedente, attraverso l'utilizzo del comando "centroidi" presente tra gli "Strumenti di Geometria" di Q-GIS.

A causa della presenza di alcune sezioni dalla forma concava ed allungata, come, in particolare, quelle raffiguranti gli argini dei corsi d'acqua, si individuano ben 167 elementi del vettore *Centroidi* ricadenti all'esterno della propria area. Occorre, dunque, correggere manualmente questi punti trasladoli all'interno del poligono a cui fanno riferimento.

Il riposizionamento di queste geometrie viene effettuato cercando di limitare l'entità delle traslazioni, ma scegliendo, al contempo, il punto interno al poligono in cui si riscontra una maggiore urbanizzazione, come mostrato nell'esempio in Figura 4-10.

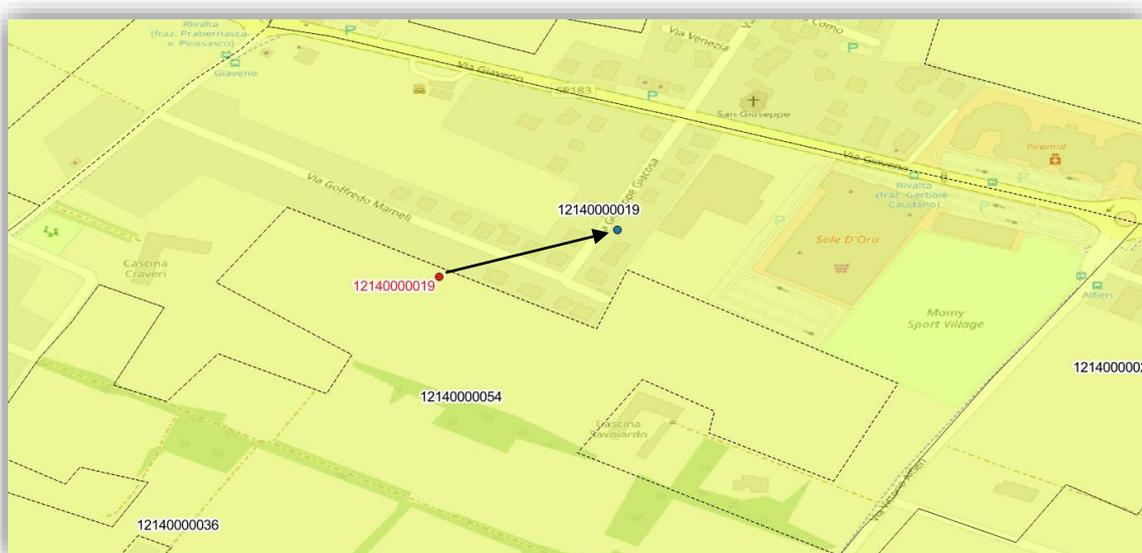


Figura 4-10 Esempio di riposizionamento del baricentro attraverso la traslazione nel punto con maggior grado di urbanizzazione

Definizione dell'area di studio

Ultimate le correzioni, occorre estrarre le coordinate dei punti attraverso il calcolatore di campi, con le formulazioni mostrate in Tabella 4-6.

Tabella 4-6 Estrazione delle coordinate dei punti appartenenti al vettore Centroidi

Centroidi – Calcolatore di Campi	
Nome campo	Xg
Tipo campo	Real(23, 15)
Formula	\$x

Centroidi – Calcolatore di Campi	
Nome campo	Yg
Tipo campo	Real(23, 15)
Formula	\$y

Il vettore *Centroidi*, completo di coordinate Xg ed Yg, può, a questo punto, essere esportato come *Poli.shp*.

Avendo, quindi, determinato la posizione di tutti i poli, non rimane altro che stabilirne il peso, ovvero la capacità di generare od attrarre gli spostamenti. Come detto in precedenza, questo attributo sarà valutato sulla base delle informazioni fornite dal censimento ISTAT del 2011, come verrà descritto nel corso dei paragrafi seguenti.

In questa sezione, tuttavia, si anticipa il criterio analitico che verrà adottato per la determinazione del posizionamento dei centroidi:

Note le coordinate di ciascun polo (x_i , y_i) ed il relativo peso P_i , le coordinate del centroide (x_G , y_G) possono essere determinate in analogia con il calcolo delle coordinate baricentriche di una figura piana composta da n figure elementari, derivante dal teorema di Varignon.

Confondendo il peso complessivo del centroide (P) con l'area totale della figura piana ed il peso di ciascun polo (P_i) con le aree elementari, le coordinate del centroide possono, dunque, essere calcolate come mostrato in Formula 4-1.

Formula 4-1 Coordinate del centroide calcolate attraverso l'applicazione del teorema di Varignon

$$x_G = \frac{S_y}{P} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad y_G = \frac{S_x}{P} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n P_i}$$

I termini riportati nella Formula 4-1 assumono il significato seguente:

- n rappresenta il numero di poli presenti all'interno di una zona di traffico;
- x_G e y_G rappresentano le coordinate del centroide di zona;
- x_i e y_i rappresentano le coordinate di ciascun polo i -esimo interno alla zona considerata e, quindi, la distanza dagli assi y ed x del sistema di riferimento geografico considerato;
- S_x e S_y rappresentano il momento statico calcolato rispetto l'asse x e l'asse y del sistema di riferimento cartografico considerato;
- P rappresenta il peso complessivo del centroide, dato dalla somma di tutti i pesi P_i degli n poli contenuti all'interno della zona considerata.

Chiaramente la formulazione proposta è utile, esclusivamente, per effettuare il posizionamento provvisorio di ciascun centroide di zona, che verrà confermato o ricollocato solo in seguito ad una supervisione manuale.

L'applicazione della Formula 4-1 al caso di zone dalla forma concava, ad esempio, potrebbe condurre, in base al peso ed alla disposizione dei poli interni, all'individuazione di centroidi esterni alla propria area di riferimento, che occorrerebbe, necessariamente, riposizionare in maniera opportuna.

Grazie a quest'approccio analitico sarà possibile condurre gran parte delle elaborazioni rimanenti con il supporto di una cartella di lavoro Excel denominata *Zone-Area_Studio.xlsx*, i cui contenuti vengono esposti nel dettaglio all'interno dell'appendice A.2 .

A tal proposito, prima di procedere oltre, occorre copiare il contenuto dei campi COD_ISTAT, SEZ2011, COD_ASC, ACE, LayerID, Xg e Yg presenti sul file *Poli.dbf*, generato nel corso di questo paragrafo, all'interno del foglio *R01_11_WGS84*, come mostrato in Tab. 2-1.

4.3.2.1 Poli e centroidi generatori

In questa sezione viene, innanzitutto, stabilito il peso dei poli generatori, ovvero la loro capacità di produrre spostamenti, per determinare, successivamente, la posizione dei centroidi di zona, rappresentativi del punto d'origine della mobilità in uscita da ciascuna delle 113 ACE contenute nell'area di studio.

Come prima cosa, si assume che la quantità di spostamenti generati da ciascuna sezione di censimento sia proporzionale al numero di residenti, così che il peso dei poli possa essere rapportato ai dati del censimento della popolazione e delle abitazioni, reperibili alla pagina web *Basi territoriali e variabili censuarie* (Istituto Nazionale di Statistica - ISTAT, 2017)²⁵.

Le informazioni necessarie sono riportate all'interno del file *R01_indicatori_2011_sezioni.csv* (Istituto Nazionale di Statistica - ISTAT (b), 2016)²⁶, contenuto nell'archivio *dati-cpa_2011.zip*, scaricabile dalla suddetta pagina web sotto la voce "Variabili censuarie".

Anche se sarebbe sufficiente riportare l'identificativo univoco delle sezioni di censimento SEZ2011 ed i totali di popolazione residente P1, si selezionano, per completezza, anche le variabili CODREG, CODPRO, CODCOM, ACE e CODASC e si importano sul foglio di calcolo *CPA_2011* della cartella di lavoro *Zone-Area_Studio.xlsx*, come mostrato in Tab. 2-2.

Osservando l'elenco così ottenuto si riscontra che, mentre sul vettore *Sezioni_TOeCint* si contano 6620 geometrie, i dati del censimento contengono solo 6380 sezioni relative all'area metropolitana di Torino e cintura, probabilmente in numero inferiore a causa della presenza di particelle disabitate.

Nota la posizione dei poli (foglio *R01_11_WGS84*) ed il peso dato dalla popolazione residente P1 (foglio *CPA_2011*), le coordinate dei centroidi di zona vengono, quindi, valutate secondo il teorema di Varignon (Formula 4-1) all'interno del foglio di calcolo *Gen*, descritto in Tab. 2-8.

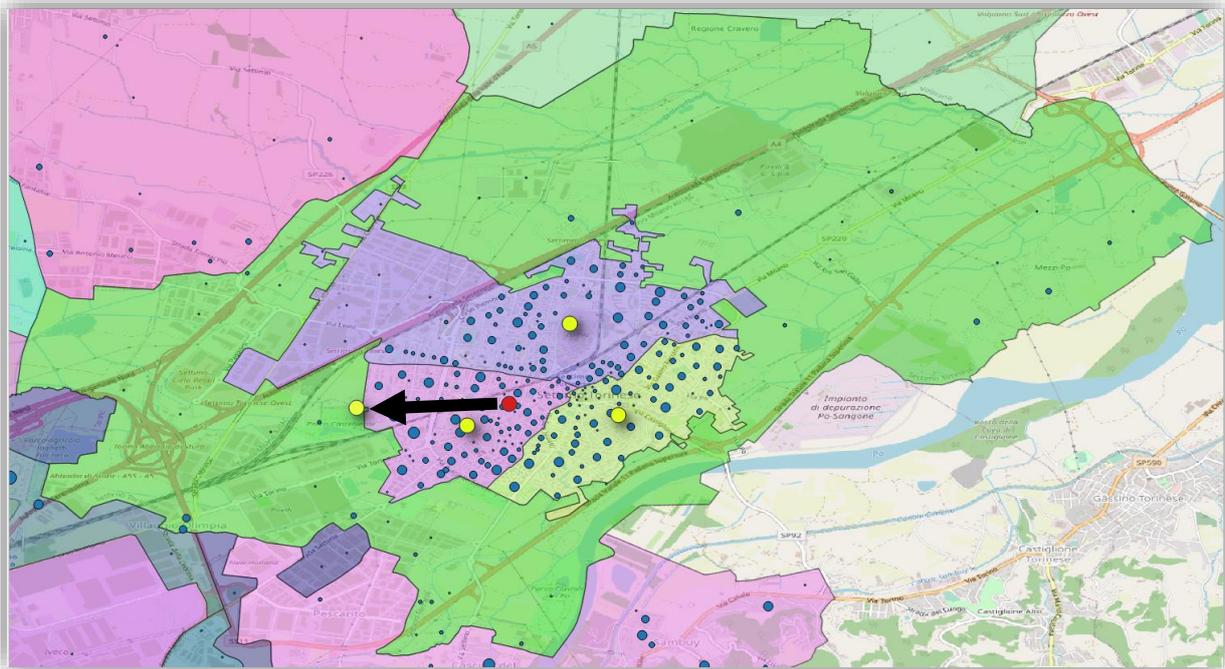
I risultati così ottenuti possono, quindi, essere esportati in formato CSV ed importati su Q-GIS, per essere passati in rassegna alla ricerca di eventuali errori di posizionamento dei centroidi.

²⁵ <https://www.istat.it/it/archivio/104317>

²⁶ https://www.istat.it/storage/cartografia/variabili-censuarie/dati-cpa_2011.zip

Definizione dell'area di studio

A tal proposito si riporta l'esempio in *Figura 4-11*, in cui il centroide relativo ad un'area ad anello viene traslato dal buco centrale alla posizione ritenuta più adatta, in base alla dislocazione ed all'importanza dei poli circostanti ed ai punti di accesso alla rete stradale.



● **Poli attrattori** ● **Centroidi invariati** ● **Centroidi traslati**

Figura 4-11 Esempio di centroide generatore da traslare manualmente

Al termine del processo di rettifica sono stati ricollocati nove centroidi generatori, tutti relativi ad aree dalla forma concava, mentre i restanti 104 vengono mantenuti nella posizione determinata analiticamente.

Nella seguente *Figura 4-12*, vengono illustrati i risultati complessivi relativi alla distribuzione ed alla rilevanza dei poli ed alla dislocazione dei centroidi generatori.

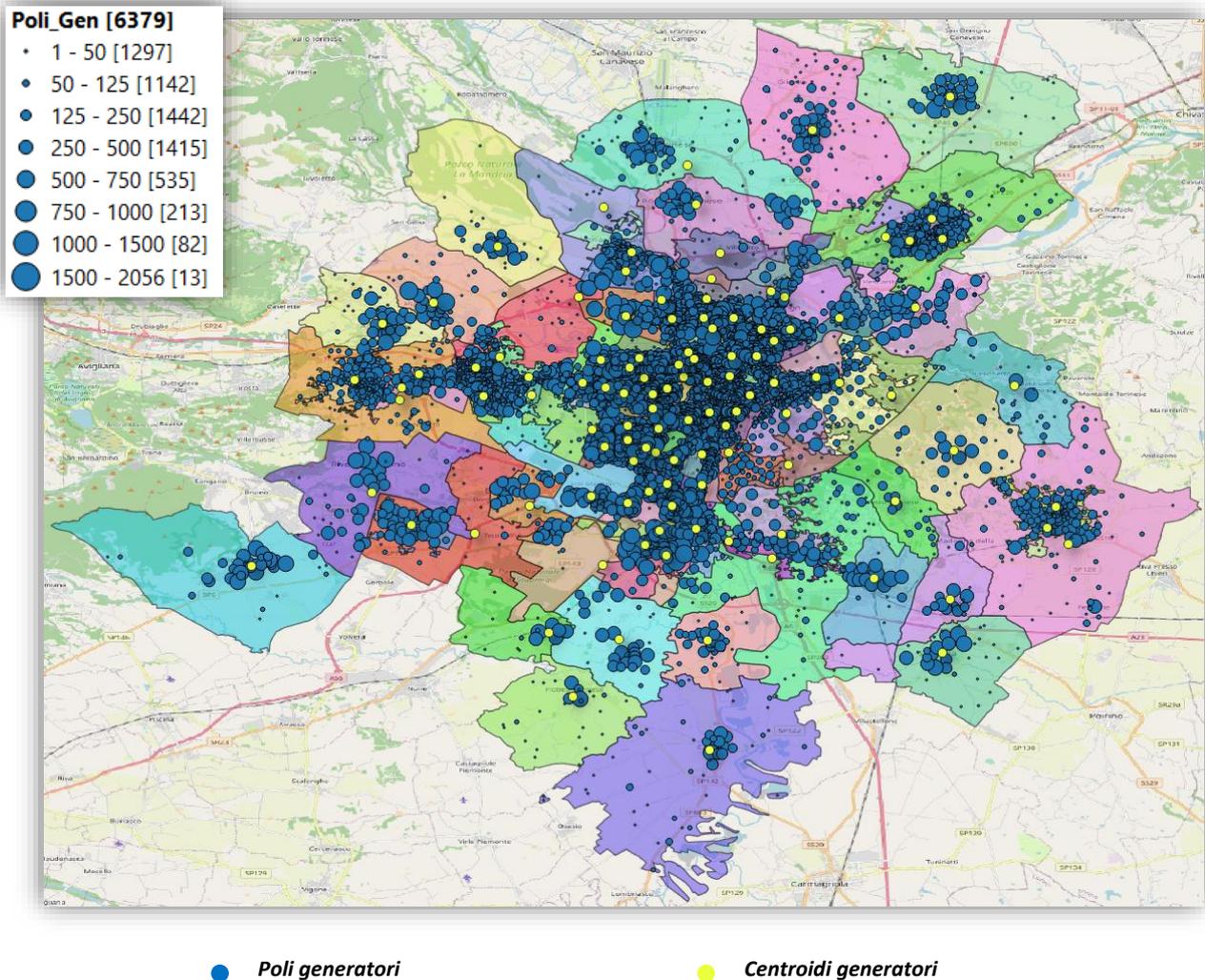


Figura 4-12 Distribuzione dei poli e dei centroidi generatori

4.3.2.2 Poli e centroidi attrattori

In questa fase, complementare alla precedente, viene determinata l'attrattività dei poli, al fine di stabilire la posizione dei centroidi attrattori delle zone di traffico, rappresentativi del punto di destinazione dei flussi entranti in ciascuna delle 113 ACE contenute nell'area metropolitana.

In questo caso, il peso dei poli attrattori, funzionale alla tipologia ed al numero di attività presenti in ciascuna sezione di censimento, verrà rapportato ai dati del censimento dell'industria e dei servizi, ancora una volta, reperibili alla pagina *Basi territoriali e variabili censuarie* (Istituto Nazionale di Statistica - ISTAT, 2017)²⁷, sotto la voce "Variabili censuarie".

Le informazioni di interesse, riportate all'interno del file *01_AttEcon_SCE_2011.txt* (Istituto Nazionale di Statistica - ISTAT (b), 2015)²⁸ presente nell'archivio *dati-sce_2011.zip*, sono le seguenti:

²⁷ <https://www.istat.it/it/archivio/104317>

²⁸ https://www.istat.it/storage/cartografia/variabili-censuarie/dati-sce_2011.zip

Definizione dell'area di studio

- COD_REG, selezionato solo per completezza;
- PROCOM ed NSEZ, indispensabili per risalire all'identificativo univoco delle sezioni di censimento SEZ2011 (dato dal concatenamento del campo PROCOM con il campo NSEZ a 7 digit);
- ATECO3, ovvero il codice Ateco a tre cifre, necessario per identificare la tipologia di attività censita;
- ADDETTI (lavoratori dipendenti), ALTRI_RETRIB (altri lavoratori retribuiti) e VOLONTARI, dalla cui somma è possibile determinare il numero di lavoratori impegnati nell'attività descritta da ATECO3.

Tali variabili possono, dunque, essere importate sul foglio *SCE_2011* presente nella cartella di lavoro *Zone-Area_Studio.xlsx*, come illustrato in Tab. 2-4.

Conteggiando i dati selezionati, si riscontrano 6110 sezioni di censimento contenenti almeno un'attività economica, contro le 6620 aree individuate sul vettore *Sezioni_TOeCint*.

Per procedere con l'analisi, occorre, innanzitutto, recuperare l'elenco dei codici Ateco dal file *ateco_struttura_17dicembre_2008.xls* (Istituto Nazionale di Statistica - ISTAT, 2009)²⁹ ed importarlo sul foglio di calcolo *Ateco3*, come mostrato in Tab. 2-6.

I codici Ateco impiegati per il censimento sono, tuttavia, a tre cifre, mentre l'elenco comprende anche tutte le sottocategorie identificate dalla codifica a sei cifre e, quindi, si rende necessario filtrare le informazioni. Tale operazione viene eseguita attraverso le formule riportate in Tab. 2-7 e dal risultato si individuano 272 differenti codici Ateco a tre cifre, di cui 244 presenti all'interno dell'area di studio.

Sarebbe opportuno, a questo punto, attribuire un peso differente alle diverse attività economiche presenti sul territorio, poiché, come è noto dalla pratica comune, alcuni poli commerciali, ospedalieri, universitari o dei servizi sono nettamente più attrattivi di altri, come, ad esempio, quelli legati ad attività agricole o industriali. Questo avviene perché gli esercizi commerciali, in particolare quelli di vendita al dettaglio, oltre ad attrarre il personale dipendente, prevedono un afflusso, pressoché, continuo di clienti durante tutto l'orario di apertura.

Per quantificare tale attrattività occorrerebbero, tuttavia, delle informazioni più specifiche, non desumibili dalla semplice consultazione del codice Ateco, come la quantità di scaffalature, la capacità di stoccaggio merci, la superficie commerciale, il numero di posti letto ecc.

Anche se il foglio di calcolo *SCE_2011* è stato predisposto per l'introduzione di un sistema di pesatura delle attività economiche, non disponendo delle informazioni necessarie per una valutazione oggettiva di tale proprietà, questa possibilità viene, infine, scartata.

Solo al fine di effettuare una verifica di sensibilità del modello, si è assegnato un peso compreso tra 5 e 10 alle seguenti attività principali: commercio all'ingrosso e al dettaglio, trasporto e magazzinaggio, attività dei servizi di alloggio e di ristorazione, istruzione, sanità e assistenza sociale ed attività artistiche, sportive, di intrattenimento e divertimento.

La distanza tra la posizione dei centroidi calcolata analiticamente pesando le attività e quella determinata senza pesature, risulta nel 95.6% dei casi inferiore ai 500 metri, nel 3.5% dei casi al di sotto dei 1000 metri e solo nello 0.9% dei casi compresa tra 1 ed 1.5 km.

Data l'eccessiva aleatorietà del sistema di pesatura e la scarsa sensibilità del modello, si è, dunque, confermata la decisione di non considerare la differente attrattività esercitata dalle diverse attività economiche.

²⁹<https://www4.istat.it/it/files/2011/03/STRUTTURA.zip?title=Classificazione+Ateco+2007+-+01%2Fott%2F2009+-+Ateco+2007.zip>

In definitiva, il peso da associare ai poli attrattori viene, quindi, determinato dalla semplice somma del numero di lavoratori retribuiti e volontari, impegnati in ciascuna delle attività individuate.

Nota la posizione dei poli (foglio *R01_11_WGS84*) ed il peso dato dal numero di lavoratori (foglio *SCE_2011*), le coordinate dei centroidi di zona vengono calcolate analiticamente secondo il teorema di Varignon (Formula 4-1) all'interno del foglio di calcolo *Att*, mostrato in Tab. 2-10.

I risultati così ottenuti possono, infine, essere importati su Q-GIS, per condurre la verifica sul corretto posizionamento dei centroidi.

Riproponendo la stessa area ad anello mostrata per il caso precedente dei centroidi generatori (*Figura 4-11*), si illustra, questa volta, la traslazione applicata al centroide attrattore, riportata in *Figura 4-13*.

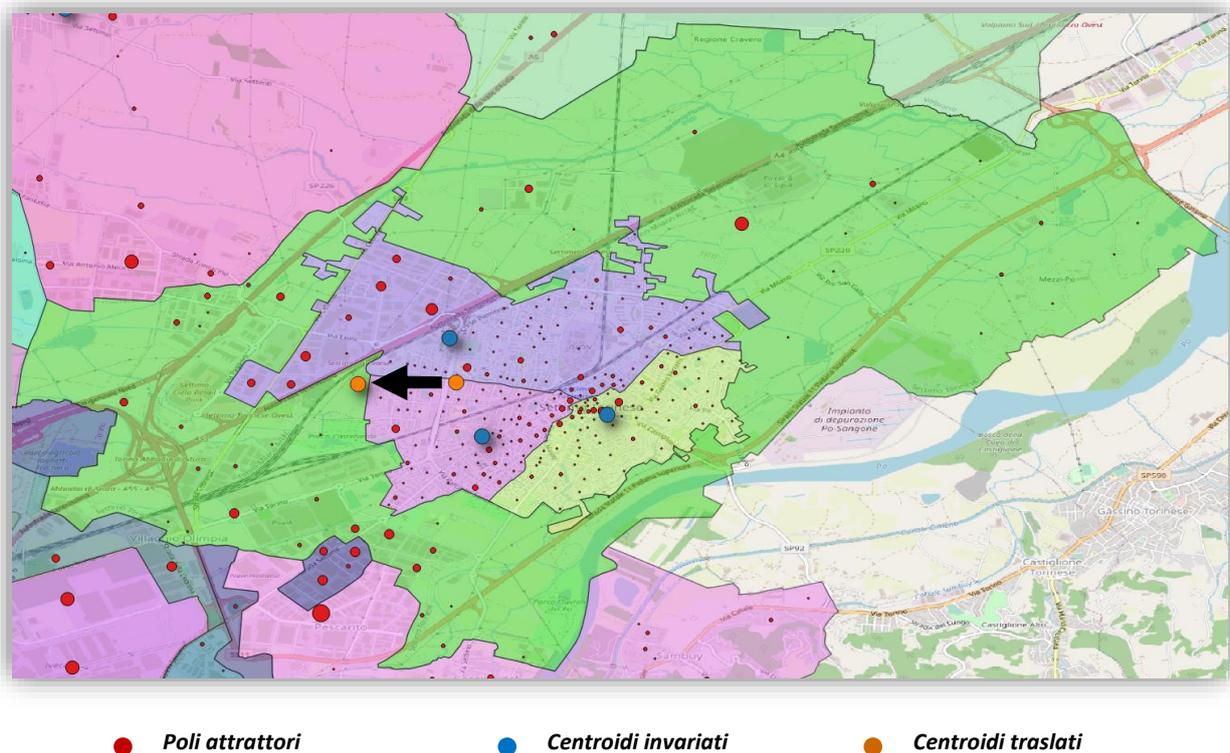


Figura 4-13 Esempio di centroide attrattore da traslare manualmente

Dalla verifica vengono individuati e corretti 11 centroidi generatori, sempre dovuti alla concavità delle aree di riferimento, mentre i restanti 102 vengono mantenuti nella posizione predeterminata.

Nella seguente *Figura 4-14*, vengono illustrati i risultati complessivi relativi alla distribuzione ed alla rilevanza dei poli ed alla dislocazione dei centroidi attrattori.

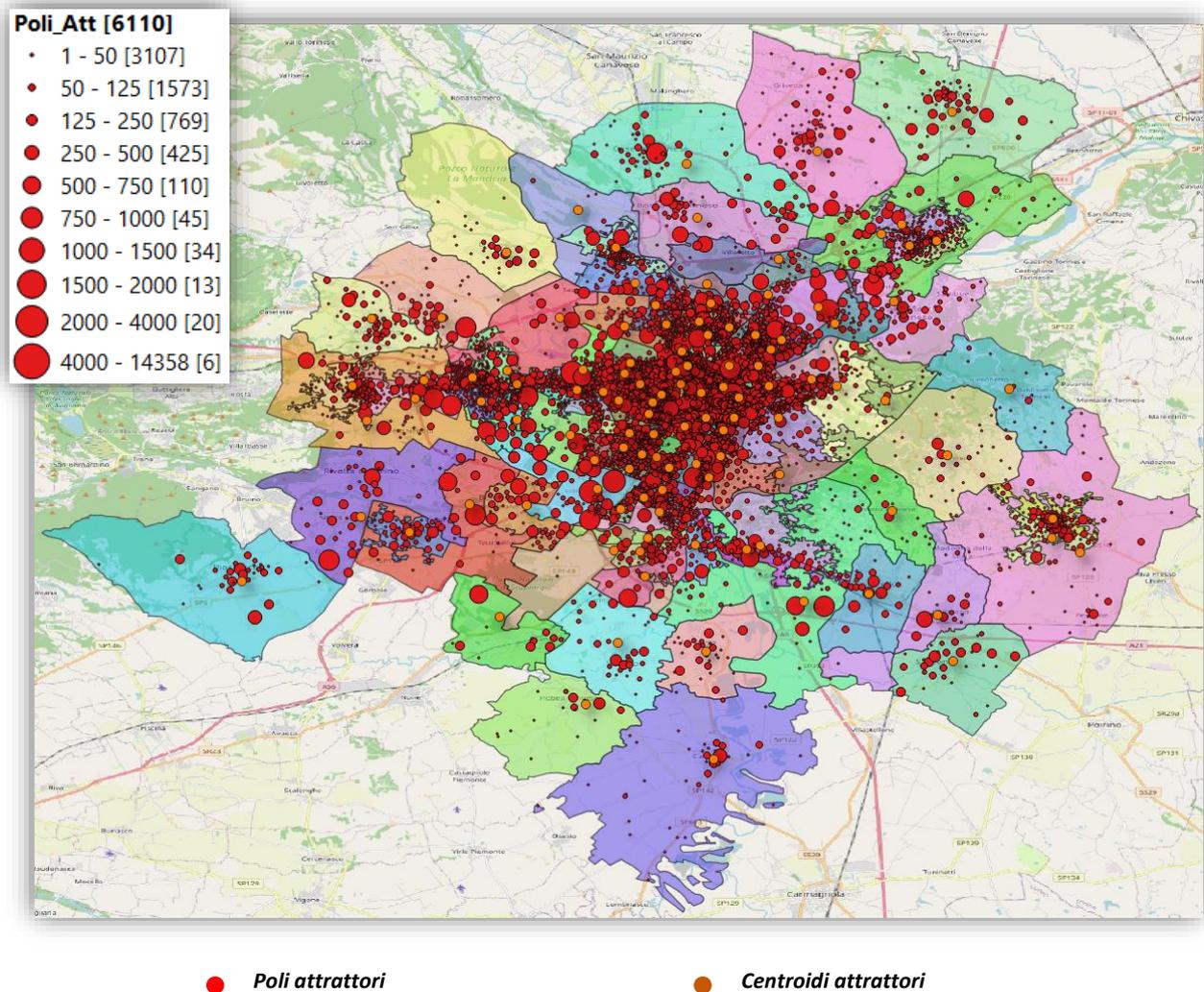


Figura 4-14 Distribuzione dei poli e dei centroidi attrattori

4.3.2.3 Centroidi risultanti

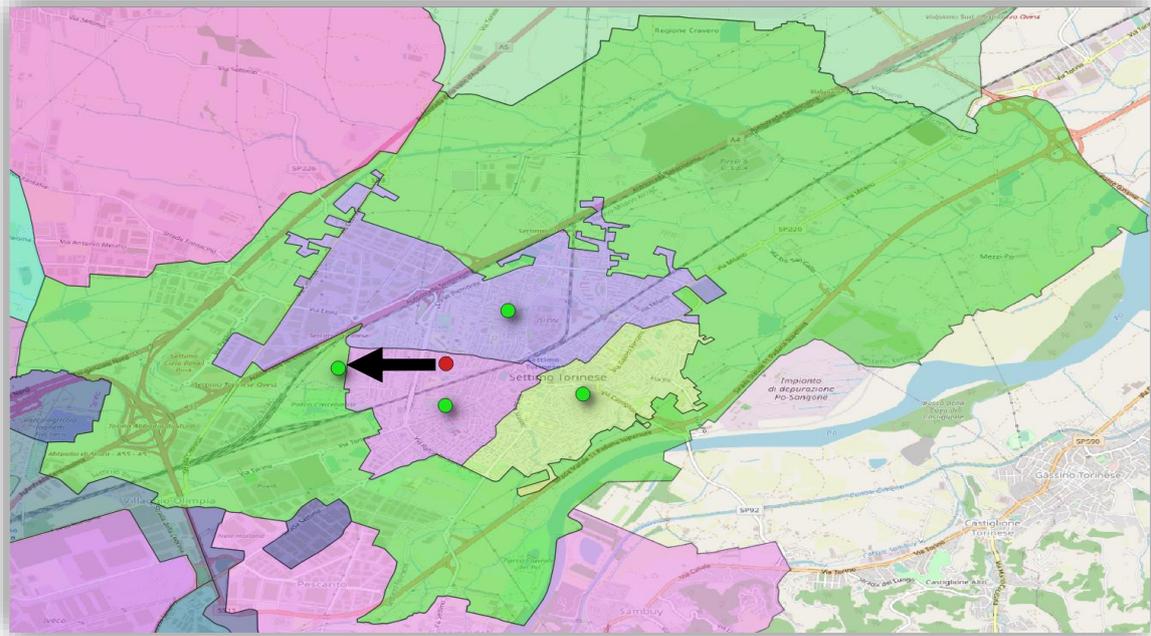
Con la determinazione dei centroidi complessivi di zona, si va a semplificare ulteriormente l'analisi degli spostamenti, ricercando il punto medio in cui si concentrano tutte le origini e destinazioni della mobilità di ingresso e uscita da ciascun'area di censimento.

Noti il peso e le coordinate dei centroidi generatori (foglio *Gen*) ed attrattori (foglio *Att*) si può, quindi, applicare, un'ultima volta, il teorema di Varignon (Formula 4-1) per determinare la posizione finale dei centroidi risultanti, operazione eseguita all'interno del foglio *Centroidi*, descritto in Tab. 2-12.

Tale semplificazione è possibile poiché il peso dei centroidi generatori/attrattori è espresso nella stessa unità di misura, ovvero il numero di individui (residenti, nel primo caso, e lavoratori, nel secondo).

I 113 centroidi risultanti vengono importati su Q-GIS e, a seguito di un'ispezione, viene rivalutata la posizione di 16 elementi.

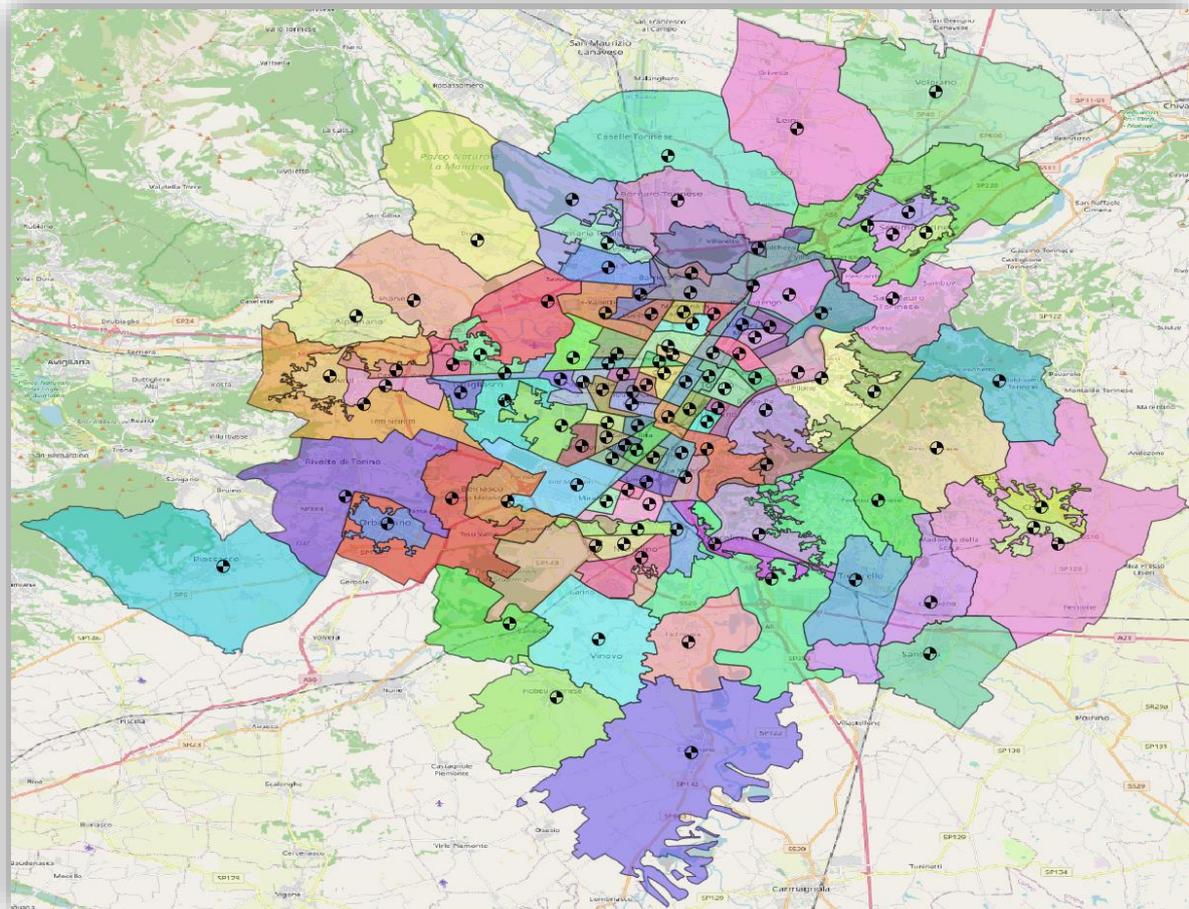
In *Figura 4-13* si riporta l'esempio di riposizionamento del centroide complessivo, nel caso della solita ACE dalla forma concava, mentre in *Figura 4-14* la disposizione finale di tutti i 113 centroidi interni all'area di studio.



● Centroidi invariati

● Centroidi traslati

Figura 4-15 Esempio di centroide di zona da traslare manualmente



● Centroidi complessivi

Figura 4-16 Distribuzione risultante dei 113 centroidi di zona interni all'area di studio

4.3.3 Zone esterne all'area di studio

L'area di studio selezionata scambia relazioni con il mondo esterno, principalmente con la provincia, il Piemonte e le regioni limitrofe, e, per questo motivo, si procede con una zonizzazione anche dell'area esterna, allo scopo di potere individuare porzioni di territorio interessate da una mobilità di scambio simile.

In ogni caso, tutte le relazioni tra area esterna ed area di studio andranno, poi, a concentrarsi lungo il confine, all'intersezione con le principali direttrici di ingresso/uscita.

Poiché, in questo studio, non si è interessati alla modellazione del traffico sugli archi fittizi che fungeranno da connettori tra l'area di studio e le zone esterne, non è necessario eseguire un posizionamento accurato dei centroidi esterni, purché essi possano descrivere efficacemente le direzioni intraprese dalla mobilità di scambio.

Si è scelto, dunque, di semplificare lo studio dell'area esterna trascurando l'analisi dei poli generatori/attrattori di traffico per focalizzare, questa volta, l'attenzione sull'offerta infrastrutturale a servizio delle zone esterne.

Le aree esterne raggiungibili attraverso il medesimo percorso principale, o tutt'al più intraprendendo delle diramazioni che convergono su di esso, verranno aggregate per formare un'unica zona, come nell'esempio in Figura 4-17.



Figura 4-17 Esempio di zonizzazione esterna valutata sulla base dell'offerta infrastrutturale presente nell'area

Per facilitare l'individuazione dei percorsi principali, si è scelto di fare ricorso alla classificazione proposta per gli elementi stradali di OpenStreetMap, reperibili sul sito *Geofabrik* (*Geofabrik GmbH and OpenStreetMap Contributors, 2018*)³⁰, riportata nel campo fclass.

Per una descrizione completa dell'attributo fclass si rimanda al paragrafo 5.1.1 (Tabella 5-1), mentre per questa fase basti sapere che, per la rete esterna, verranno considerate solo le autostrade, le strade statali, regionali, provinciali ed alcune strade locali maggiori, etichettate da OpenStreetMap come motorway, trunk, primary, secondary e tertiary.

Ricordando che i dati campionari TIM sono disponibili con livello di dettaglio superiore per l'area della Città metropolitana di Torino, si procederà con un'analisi più approfondita per le aree interne a tale contesto, mentre per le zone progressivamente più distanti dall'area di studio, verranno via via trascurate le strade di importanza minore, sino a focalizzare l'attenzione sui soli percorsi autostradali.

³⁰ <https://download.geofabrik.de/europe/italy/nord-ovest.html>

Cominciando, dunque, con la zonizzazione della macroarea esterna relativa alla Città metropolitana di Torino, vengono prese in considerazione tutte le categorie stradali sopracitate (motorway, trunk, primary, secondary e tertiary), ottenendo la ripartizione mostrata in Figura 4-18.

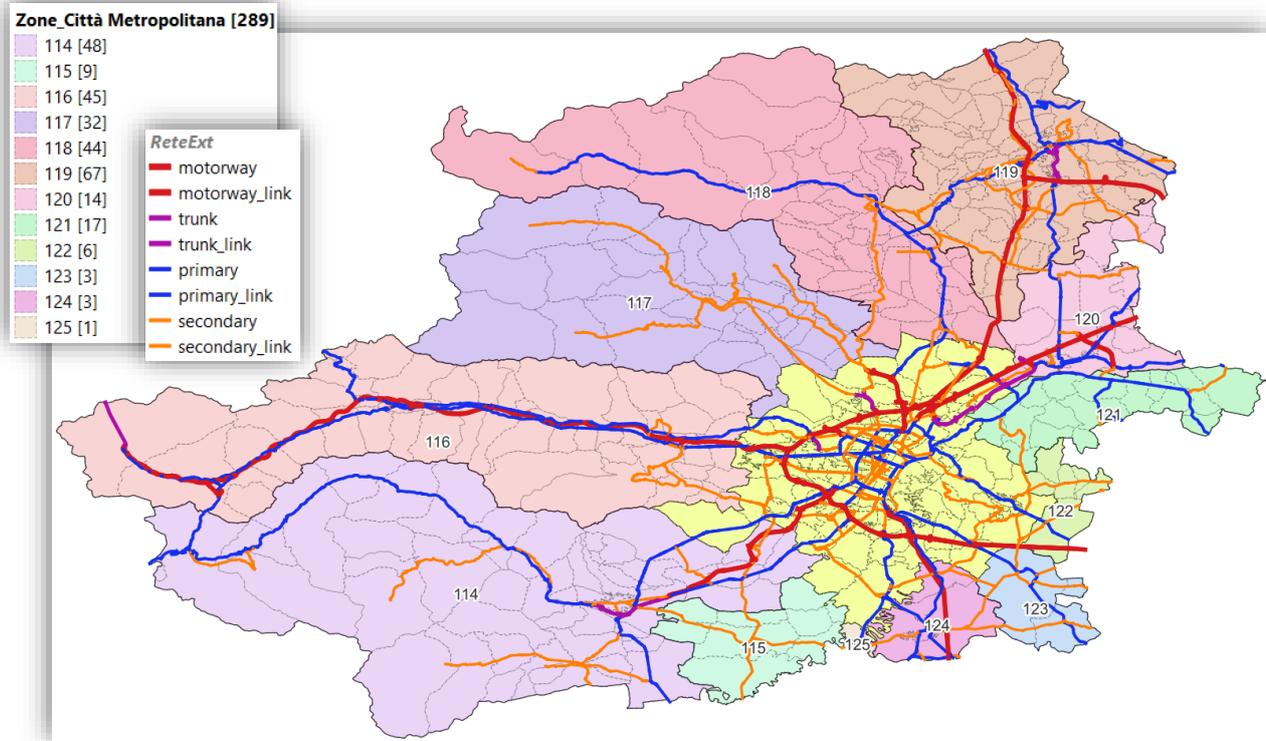


Figura 4-18 Zone esterne all'area di studio - Città metropolitana di Torino

Le strade con fclass pari a "tertiary" vengono omesse per conferire una maggior leggibilità agli output grafici illustrati in Figura 4-18.

Come è possibile osservare, l'area della provincia, costituita da 289 ACE, viene ripartita in 12 zone, servite rispettivamente dalle stesse arterie principali.

In legenda è possibile constatare il numero di aree di censimento ACE aggregate all'interno di ciascuna delle zone così definite.

Prima di procedere, occorre introdurre la numerazione delle zone relative alla macroarea della Città Metropolitana, mostrata in Figura 4-18, all'interno del campo CentroidNr del vettore *Zonizzazione* introdotto nel paragrafo 4.3.1.

Passando, successivamente, alla valutazione della zonizzazione relativa al resto della regione Piemonte, limitando l'analisi alle sole autostrade e strade statali o regionali (motorway, trunk e primary), si perviene alla ripartizione proposta in Figura 4-19.

Definizione dell'area di studio

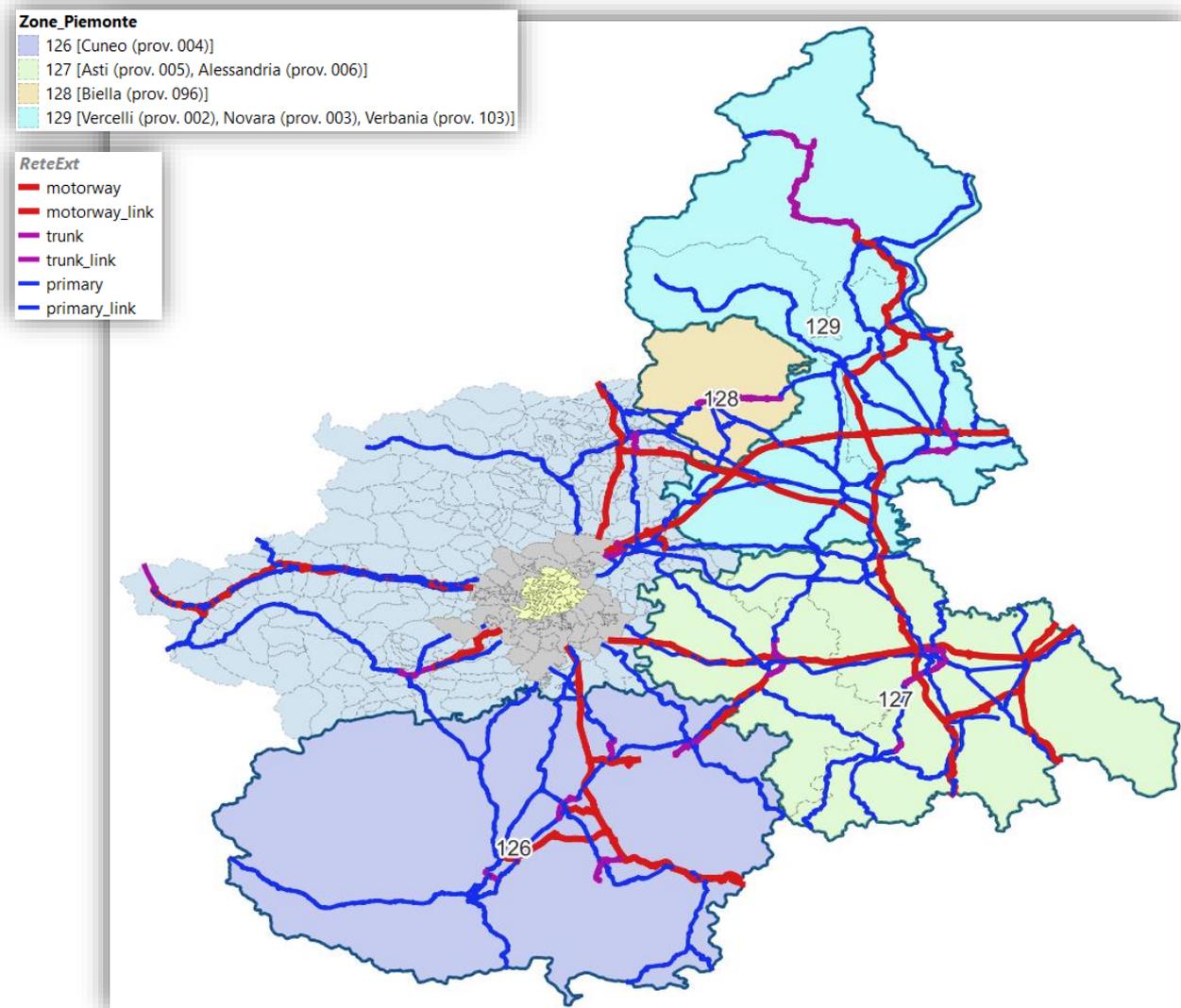


Figura 4-19 Zone esterne all'area di studio - Regione Piemonte

La ripartizione relativa al Piemonte risulta, come mostrato in Figura 4-19, costituita da quattro zone di traffico, rispettivamente raggiungibili attraverso i medesimi percorsi principali.

Come è possibile leggere in legenda, le zone sono, in questo caso, costituite dall'aggregazione di una o più delle province del Piemonte.

A questo punto, occorre introdurre la numerazione delle zone relative alla macroarea della regione Piemonte, mostrata in Figura 4-19, all'interno del campo *CentroidNr* del vettore *Zonizzazione* introdotto nel paragrafo 4.3.1.

Arrivando, infine alla zonizzazione delle aree relative alle regioni limitrofe al Piemonte, si focalizza l'attenzione sui soli percorsi autostradali, determinando così la ripartizione illustrata in Figura 4-20.

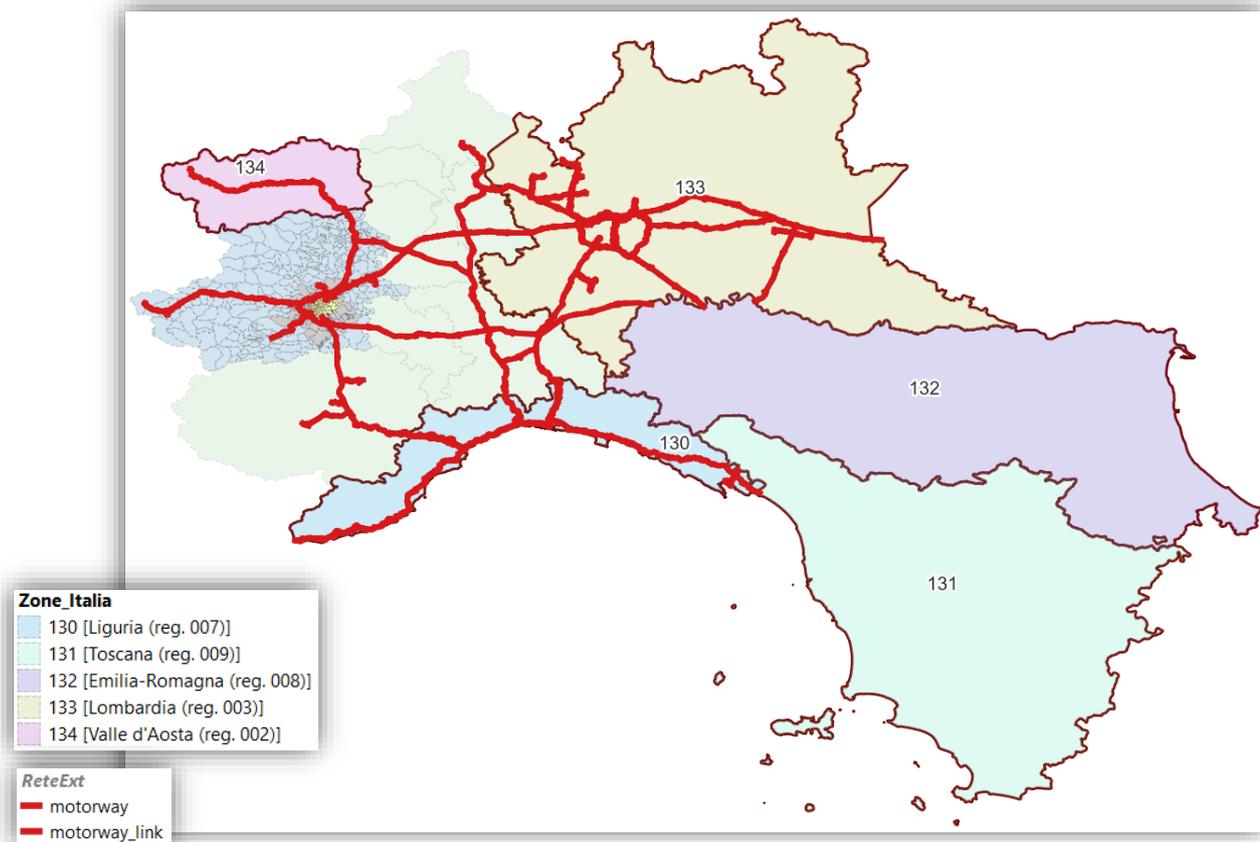


Figura 4-20 Zone esterne all'area di studio - Altre regioni italiane

Come è possibile constatare dalla rappresentazione mostrata in Figura 4-20, le cinque regioni selezionate per l'area esterna sono raggiunte da percorsi autostradali condivisi solo per tratte relativamente brevi e, dunque, ciascuna zona risultante si riferisce, questa volta, ad una regione distinta.

Le aree relative alle altre regioni d'Italia sono riportate sullo shape file *Reg01012019_WGS84.shp* contenuto nell'archivio *Limiti01012019.zip* (Istituto Nazionale di Statistica - ISTAT, 2019)³¹.

Una volta importato il layer *Reg01012019_WGS84* su Q-GIS occorre, dunque, eseguire le seguenti operazioni:

1. Ri-proiezione del vettore *Reg01012019_WGS84*

Si consiglia, innanzitutto di riproiettare il vettore *Reg01012019_WGS84* dal sistema metrico EPSG 32632 (WGS 84 / UTM zone 32N) a quello geografico EPSG 4326.

2. Attribuzione del LayerID a tutte le zone appartenenti alle altre regioni d'Italia

Per le regioni diverse dal Piemonte il LayerID può essere troncato al codice della regione (REG|), come mostrato nella seguente Tabella 4-7.

³¹ https://www.istat.it/storage/cartografia/confini_amministrativi/non_generalizzati/Limiti01012019.zip

Tabella 4-7 Definizione dell'attributo LayerID per le aree del vettore Riproiettato

Riproiettato – Calcolatore di Campi	
Nome campo	LayerID
Tipo campo	String(19)
Formula	if(length("COD_REG") = 1, concat('00', "COD_REG", ' '), concat('0', "COD_REG", ' '))

3. Associazione zona – macroarea

Alle regioni selezionate per la zonizzazione esterna, Valle d'Aosta (reg. 02), Lombardia (reg. 03), Liguria (reg. 07), Emilia-Romagna (reg. 08), Toscana (reg. 09), può essere associata la macroarea "EXT_R", come mostrato nella seguente Tabella 4-8.

Tabella 4-8 Associazione delle macroaree alle zone contenute sul vettore Riproiettato

Riproiettato – Calcolatore di Campi	
Nome campo	MacroArea
Tipo campo	String(8)
Formula	if("COD_REG" = 2 or "COD_REG" = 3 or "COD_REG" = 7 or "COD_REG" = 8 or "COD_REG" = 9, 'EXT_R', null)

4. Numerazione zone esterne al Piemonte

A questo punto, occorre introdurre la numerazione delle zone relative alla macroarea esterna alla regione Piemonte, mostrata in Figura 4-20, all'interno del campo CentroidNr del vettore *Riproiettato*.

5. Esportazione delle zone esterne alla regione Piemonte

Sul vettore *Riproiettato* è necessario, infine, eliminare le regioni non contemplate in quest'analisi, selezionabili attraverso la formula "MacroArea" is null, e rimuovere tutti i campi diversi da LayerID, MacroArea e CentroidNr, per aggiungere gli elementi residui al file *Zonizzazione.shp*, come mostrato nella seguente Figura 4-21.

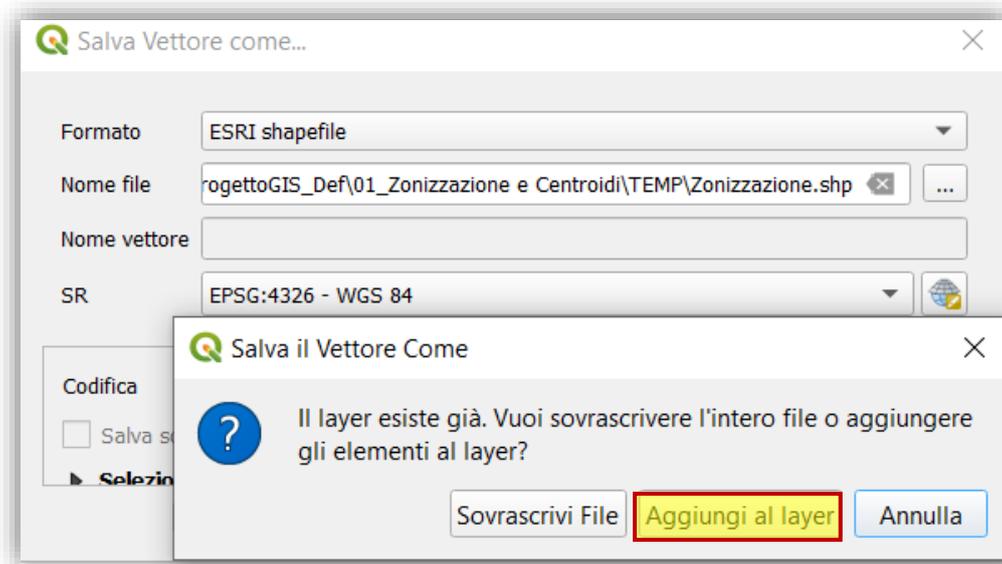


Figura 4-21 Aggiunta delle zone extraregionali al vettore Zonizzazione

Il posizionamento dei centroidi esterni verrà meglio rifinito nel corso del capitolo 6, contestualmente alla definizione degli archi fittizi, che necessariamente verrà trattata solo in seguito alla costruzione del grafo stradale di riferimento.

Temporaneamente, tuttavia, le relazioni di scambio con l'esterno possono essere concentrate in punti singoli, posizionati all'intersezione del confine dell'area di studio con la viabilità di penetrazione alla stessa, come mostrato nella seguente Figura 4-22.

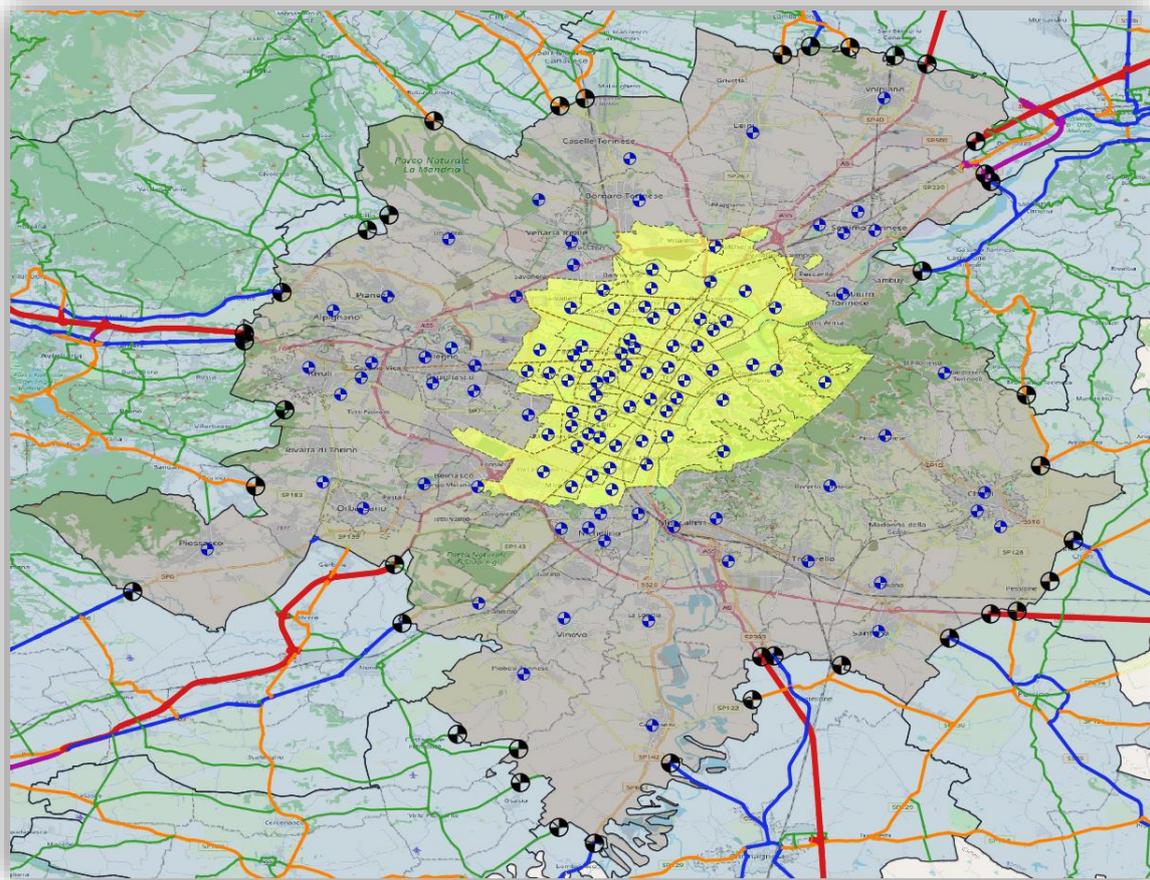


Figura 4-22 Dislocazione dei punti singoli (⊕) rappresentativi della viabilità di penetrazione nell'area di studio

In definitiva, seguendo l'approccio descritto in questa fase, si è giunti alla determinazione di 21 zone esterne, raggiungibili valicando il confine dell'area di studio in corrispondenza dei 39 punti singoli riportati in Figura 4-22 (⊕).

5. Costruzione del grafo di riferimento

Una volta definita l'area di studio, costituita dai comuni di Torino e cintura, e la relativa zonizzazione, basata sulle aree di censimento ACE e quindi composta da 113 aree, si rende necessaria la selezione di un grafo stradale di riferimento compatibile con gli input di quest'analisi:

1. visto, innanzitutto, il livello di dettaglio imposto dalla zonizzazione scelta, la rete stradale dovrà risultare sufficientemente capillare da raggiungere tutte le aree e garantire, quantomeno, i collegamenti diretti principali tra zone limitrofe;
2. poiché lo scopo della corrente trattazione sarà la stima dei flussi veicolari occorrerà, in secondo luogo, scartare tutti i percorsi non accessibili ai veicoli motorizzati come, ad esempio, le zone pedonali, le piste ciclabili ed i sentieri di montagna;
3. tenendo presente, inoltre, che i flussi stimati verranno successivamente validati dal confronto con i flussi orari rilevati a mezzo di sensori aerei e spire induttive installati sul territorio comunale di Torino, il dettaglio della rete selezionata dovrà essere tale da includere, almeno in parte, le sezioni equipaggiate con la suddetta sensoristica;
4. un grafo estremamente dettagliato, infine, potrebbe soddisfare tutte le condizioni precedenti ma, al contempo, renderebbe l'analisi eccessivamente complessa e sarebbe, quindi, una soluzione sconsigliata.

Per completare questa fase si sono selezionate due basi di dati principali da cui attingere per ottenere le geometrie che andranno a costituire il grafo e gli attributi principali ad esse associati:

1. la rete stradale di OpenStreetMap³² reperibile sul sito *Geofabrik (Geofabrik GmbH and OpenStreetMap Contributors, 2018)*³³;
2. il grafo *DatiSVR2019_su_ElementoStradaleBDTRE*³⁴ reperibile sul *Geoportale del Piemonte (CSI Piemonte, 2021)*³⁵.

Le geometrie OSM sono rappresentate con una buona accuratezza e contengono l'informazione sul verso di marcia ma non sempre se ne conosce la velocità di percorrenza e non riportano la classificazione tecnico-funzionale.

Il grafo BDTRE, viceversa, contiene informazioni, aggiornate al 2019, sul traffico giornaliero medio (TGM) e le velocità massima e media di percorrenza, ma la rappresentazione è poco accurata (errori sul posizionamento dell'asse superiori ai 6 metri), l'integrità dei tracciati non è garantita e non vengono specificati i versi di percorrenza.

Ciascuna delle due fonti gode di alcune caratteristiche di pregio ed altre inadeguate allo scopo della corrente trattazione e saranno, dunque, sfruttate in maniera complementare per la produzione di un grafo finale completo di tutti i requisiti necessari.

È conveniente, a tal fine, iniziare dalla sistemazione dei dati OSM piuttosto che dal grafo BDTRE per una questione di praticità.

Alle geometrie OSM viene, infatti, associata una *fclass* (feature class) che non rispecchia né la classificazione amministrativa né, tantomeno, quella tecnico-funzionale, ma che viene attribuita sulla base

³² OpenStreetMap (OSM) è un progetto collaborativo finalizzato a creare mappe del mondo.

³³ <https://download.geofabrik.de/europe/italy/nord-ovest.html>

³⁴ BDTRE è la Base Dati Territoriale di Riferimento degli Enti piemontesi.

³⁵ https://www.geoportale.piemonte.it/geonetwork/srv/ita/catalog.search#/metadata/r_piemon:2bb551d2-bad8-488f-9070-07f5a65b5f11

dell'importanza della strada all'interno della rete. Questa particolare classificazione permette di distinguere e selezionare, in maniera piuttosto semplice e speditiva, gli elementi stradali principali in relazione al contesto di analisi.

5.1. Grafo OpenStreetMap

Il metodo più semplice e rapido per ottenere gli elementi cartografici di OpenStreetMap è, come anticipato, quello di effettuare lo scarico delle informazioni dal sito *Geofabrik*:

- cliccando “*nord-ovest-latest-free.shp.zip*” verrà scaricato l'archivio contenente gli shape file puntuali, lineari e poligonali riferiti all'intera area evidenziata in Figura 5-1;



Figura 5-1 Download OpenStreetMap della regione Nord-Ovest dell'Italia

- scegliendo, invece, “*Format description PDF*” si otterrà il file descrittivo dei contenuti dell'archivio, intitolato *OpenStreetMap Data in Layered GIS-Format.pdf* (Ramm, 2021).

Lo shape file della rete stradale è nominato *gis_osm_roads_free_1.shp* ed una volta estratto dall'archivio ed aggiunto in Q-GIS mostrerà una tabella attributi organizzata nei 10 campi illustrati in Figura 5-2.

gis_osm_roads_free_1 — Elementi Totali: 1463277, Filtrati: 1463277, Selezionati: 0										
	osm_id	code	fclass	name	ref	oneway	maxspeed	layer	bridge	tunnel
1	2132481	5113	primary	Strada Provinciale del Colle di Centrocroci	SP523R	B	0	0	F	F
2	3012882	5141	service	NULL	NULL	B	0	0	F	F
3	3058517	5111	motorway	Autostrada Serenissima	A4	F	130	1	F	F
4	3977812	5155	steps	Sentiero di Gandria	NULL	B	0	0	F	F
5	4011790	5121	unclassified	Via Antonio Canova	NULL	F	0	0	F	F

Figura 5-2 Tabella attributi del file *gis_osm_roads_free_1.shp*

Nella seguente procedura di sistemazione del grafo si procederà conservando sempre l'identificativo (*osm_id*) degli elementi originali, si effettuerà una selezione basata sulla classificazione stradale (*fclass*) ed, infine, un'aggregazione degli elementi nel rispetto dei versi di percorrenza (*oneway*).

Nel seguito si riportano, dunque, alcune nozioni utili per la corretta interpretazione degli attributi più rilevanti, oltre ad alcune regole di rappresentazione seguite da OSM da comprendere per la successiva identificazione dei nodi del grafo.

5.1.1 La classificazione stradale OSM – fclass

Per una descrizione esaustiva dei valori attribuiti agli elementi highway, adottati da OSM, il documento *OpenStreetMap Data in Layered GIS-Format.pdf* non è sufficiente e si rimanda, dunque, alla consultazione della pagina *IT:Key:highway* del sito *OpenStreetMap Wiki* (*OpenStreetMap Wiki contributors, 2021*)³⁶.

In Tabella 5-1 si riportano i valori dell'attributo *fclass* associati alle strade principali, omettendo le strade speciali (strade di servizio, strade non pavimentate ecc.), quelle non carreggiabili e le ciclovie.

Tabella 5-1 Classificazione delle strade principali OSM (ordinamento per importanza decrescente)

Strade (roads)	
Valore	Descrizione
motorway	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...
trunk	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. Per segnalare l'esistenza di restrizioni di accesso simili a quelle in vigore per le autostrade, usare <i>motorroad=yes</i> . Le cosiddette superstrade potrebbero essere marcate come due corsie denotate da <i>highway=trunk</i> 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 <i>ac/de</i> -celerazione potrebbero essere marcati da <i>highway=trunk</i> , per distinguerle da altre strade che potrebbero presentare incroci e rotonde.
primary	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.
secondary	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.

³⁶ <https://wiki.openstreetmap.org/w/index.php?title=IT:Key:highway&oldid=2222720>

Tabella 5-1 Classificazione delle strade principali OSM (ordinamento per importanza decrescente)

Strade (roads)	
Valore	Descrizione
tertiary	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.
unclassified	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. (Non si tratta di strade la cui classificazione è ignota, per le quali si usa highway=road).
residential	Strade situate in zone residenziali per l'accesso alle abitazioni, senza funzione di collegamento tra diversi insediamenti. Sono spesso fiancheggiate da case.
Strade di collegamento (link roads)	
Valore	Descrizione
motorway_link	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.
trunk_link	Tratti di collegamento (svincoli/rampe) tra un trunk ed un altro trunk o altra strada di classificazione inferiore. Per segnalare l'esistenza di restrizioni di accesso simili a quelle in vigore per le autostrade, usare motorroad=yes.
primary_link	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.
secondary_link	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.
tertiary_link	Tratti di collegamento (svincoli/rampe) tra una strada di classificazione tertiary ed un'altra strada di classificazione tertiary od inferiore.

5.1.2 Il verso di percorrenza degli elementi stradali OSM – oneway

Anche in questo caso è opportuno integrare le informazioni riportate nel documento descrittivo con quelle reperibili su *OpenStreetMap Wiki* alla pagina *IT:Key:oneway* (*OpenStreetMap Wiki contributors, 2022*)³⁷ ed *IT:Percorso* (*OpenStreetMap Wiki contributors (a), 2020*)³⁸:

“Il tag oneway viene usato per indicare una restrizione di accesso sugli elementi lineari etichettati come highway. Ciò significa che questo tag deve essere utilizzato quando la "way" può essere percorsa dai veicoli solo in una direzione. Si noti che un cartello di divieto di accesso che vieta l'ingresso da un lato o da un punto della strada, non implica automaticamente che l'intera strada sia a senso unico (controllare i segnali stradali di senso unico lungo la strada).”

“Si noti che il tag oneway è definito in relazione alla direzione della caratteristica lineare ("way") che viene disegnata in OpenStreetMap.”

³⁷ <https://wiki.openstreetmap.org/w/index.php?title=IT:Key:oneway&oldid=2300892>

³⁸ <https://wiki.openstreetmap.org/w/index.php?title=IT:Percorso&oldid=2035427>

“Un percorso (way in inglese) è un insieme ordinato da un minimo di 2 ad un massimo di 2000 nodi che descrivono una caratteristica in modo lineare tipo una strada, un sentiero, una linea della ferrovia, ecc. Un percorso è caratterizzato da proprietà uniformi; per esempio, la priorità (autostrada, strada statale, ...), il tipo di superficie, la velocità, ecc. I percorsi possono essere divisi in sezioni più piccole se sono presenti proprietà differenti; per esempio, se una strada ha una sezione a senso unico, quella sezione sarà un percorso differente da quella a doppio senso di marcia, anche se hanno in comune lo stesso nome.”

Unendo le precedenti spiegazioni a quanto riportato nel documento descrittivo si evincono le seguenti conclusioni:

- Se il verso di percorrenza è coerente con l'ordinamento dei nodi che definiscono il percorso allora *oneway* = F;
- Se il verso di percorrenza è opposto all'ordinamento dei nodi che definiscono il percorso allora *oneway* = T;
- Se il percorso è a doppio senso di marcia allora *oneway* = B;

5.1.3 Le intersezioni a livelli sfalsati OSM

Al fine di procedere con la classificazione dei nodi del grafo è importante comprendere come distinguere i nodi di intersezione da quelli che, dalla vista in pianta, appaiono come tali ma in realtà appartengono ad elementi stradali posti a quote differenti. Ancora una volta è possibile comprendere come vengano distinti i due casi consultando la pagina *IT:Nodo (OpenStreetMap Wiki contributors (b), 2020)*³⁹:

“Nodi sulle way:

Molti nodi formano parte o più Way, definendo la forma o il percorso della way.

Quando due way si intersecano alla stessa altitudine le due way devono condividere un nodo (per esempio, un incrocio). Se strade e ferrovie passano uno sopra l'altro senza connessioni non condividono un nodo (ad esempio una strada che si interseca con un ponte).”

5.1.4 La procedura di costruzione del grafo OSM

Una volta comprese le nozioni precedenti è possibile procedere con le operazioni necessarie all'ottenimento del grafo.

Nel perseguire tale scopo si è cercato di individuare una procedura generale, il più possibile, standardizzata e svincolata dallo specifico contesto territoriale volta, quindi, a garantire l'applicabilità universale del metodo ed una riduzione dei tempi di elaborazione. La procedura standard consentirà, inoltre, di ridurre al minimo gli interventi correttivi manuali specifici del caso, che dovranno, tuttavia, essere valutati in itinere.

Per l'espletamento delle varie operazioni si è cercato di prediligere l'impiego del software Q-GIS⁴⁰ anche se in alcune fasi si è reso necessario il ricorso ad un foglio di calcolo Excel⁴¹.

Nei paragrafi successivi verranno, dunque, illustrati i vari passaggi della procedura messa a punto per identificare i nodi di intersezione e selezionare, correggere ed aggregare gli elementi stradali che andranno a comporre gli archi del grafo di riferimento.

³⁹ <https://wiki.openstreetmap.org/w/index.php?title=IT:Nodo&oldid=2037700>

⁴⁰ Versione utilizzata: 3.24.0-Tisler (rilasciata a febbraio del 2022)

⁴¹ Versione utilizzata: 2204 (Microsoft 365 Apps for enterprise)

5.1.4.1 Selezione delle strade principali

Per alleggerire l'onere computazionale generale è conveniente cominciare proprio dalla selezione delle strade principali, così da escludere tutti gli elementi superflui dalle fasi successive.

Poiché l'estensione dello shape file originale (*gis_osm_roads_free_1.shp*) è estremamente più vasta dell'area di studio prestabilita si può, in primo luogo, effettuare una preselezione delle geometrie. È sufficiente effettuare una selezione d'area rettangolare avendo cura di includere sia gli elementi interni sia quelli esterni ma nell'immediata prossimità dei confini, come illustrato in Figura 5-3.

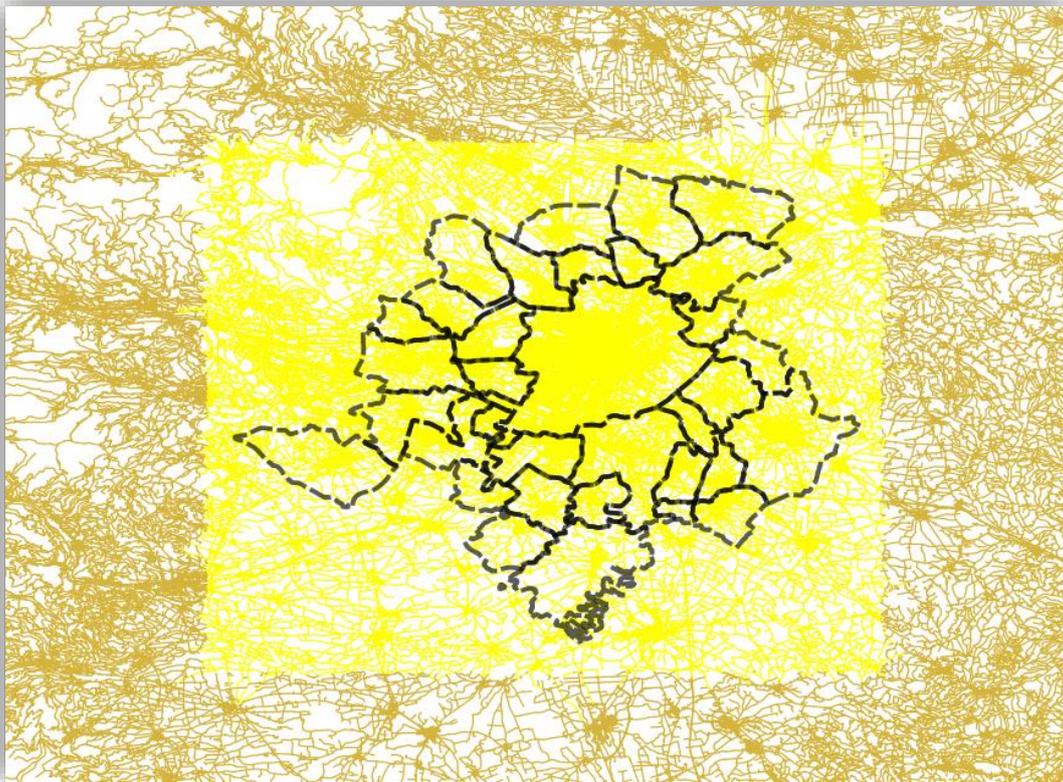


Figura 5-3 Preselezione delle geometrie appartenenti all'area di studio

Una volta salvata la selezione, ad esempio come *Preselezione.shp*, si procede con l'assegnarle una simbologia categorizzata sulla base del valore *fclass* e, mantenendo attive solo le strade principali, definite nel paragrafo 5.1.1, si va a valutare qualitativamente il livello di penetrazione raggiunto.

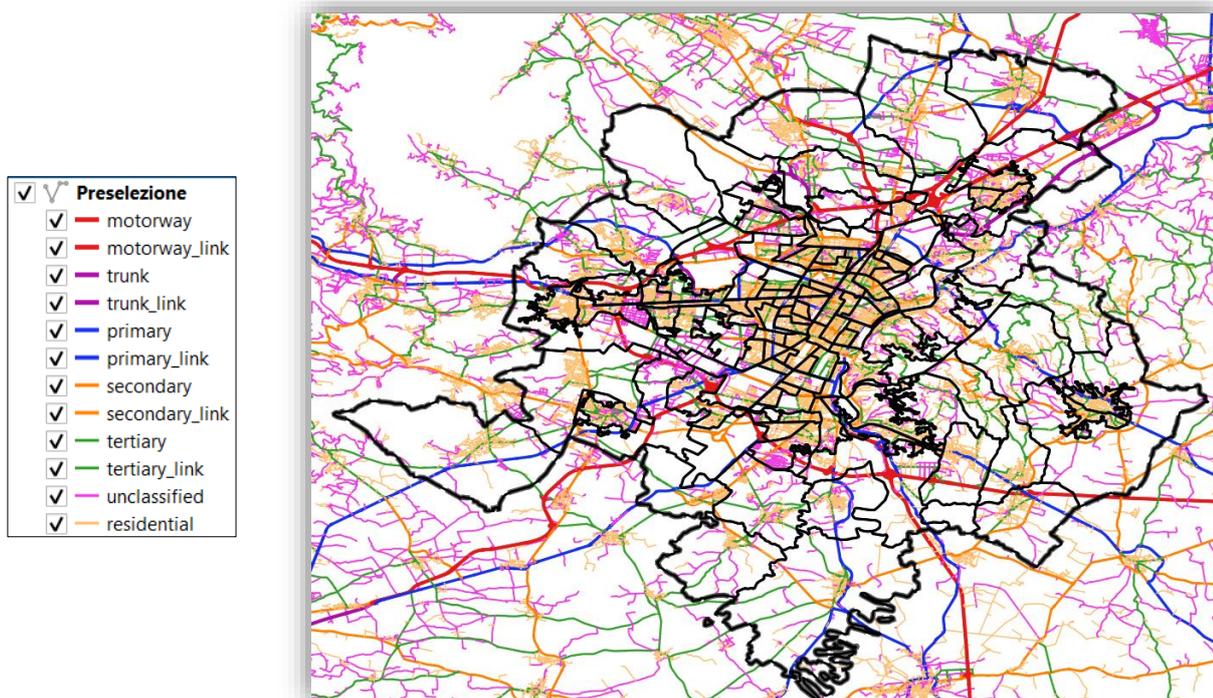


Figura 5-4 Valutazione qualitativa del grado di penetrazione delle strade principali

Come è possibile osservare in Figura 5-4 tutte le zone dell'area di studio sono raggiunte ed interconnesse ma con un livello di dettaglio eccessivo.

Si ottiene, invece, un risultato adeguato escludendo anche le strade "unclassified" e "residential", Figura 5-5.



Figura 5-5 Valutazione qualitativa del grado di penetrazione della rete principale escluse le strade "unclassified" e "residential"

A seguito di una rapida supervisione si è deciso di includere anche i 5 elementi “unclassified” che compongono la rotonda di Strada Debouchè, Figura 5-6.

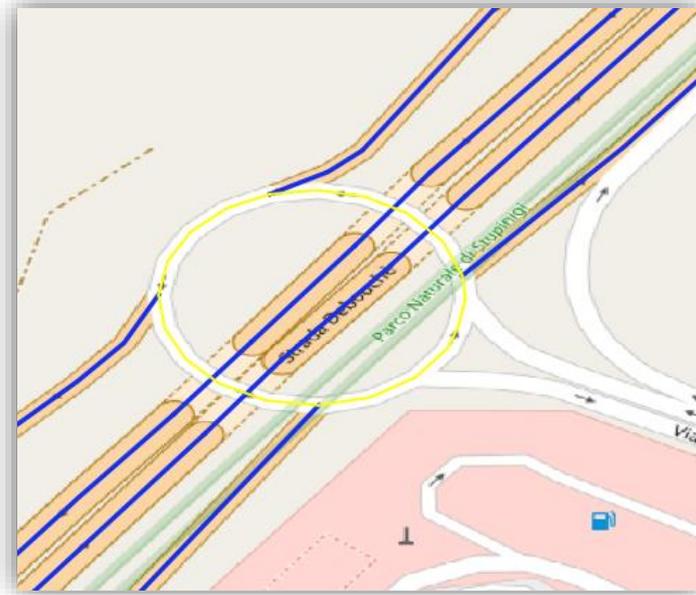


Figura 5-6 Reinserimento della rotonda di Strada Debouchè (5 elementi “unclassified” evidenziati in giallo)

Una verifica più accurata ha interessato, invece, gli svincoli autostradali presenti all’interno dell’area di studio: poiché le autostrade presentano un numero ristretto di punti di accesso, ovvero sia gli svincoli, è sufficiente che manchi un singolo elemento di connessione per compromettere la percorribilità di un’intera tratta.

Nell’esempio in Figura 5-7 viene mostrato come lo svincolo del RA10 su Corso Grosseto sia stato ripristinato reintegrando un elemento classificato come “residential”.

Svincolo interrotto

Svincolo corretto

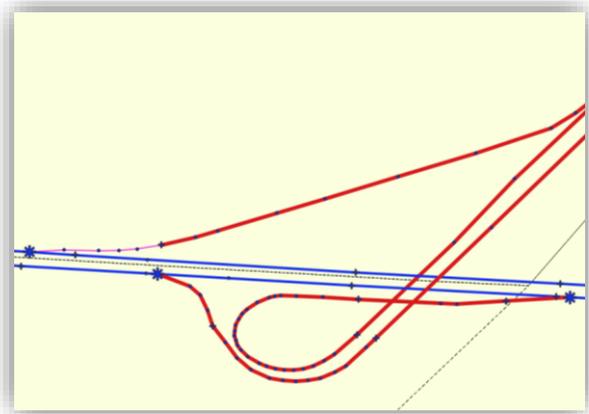
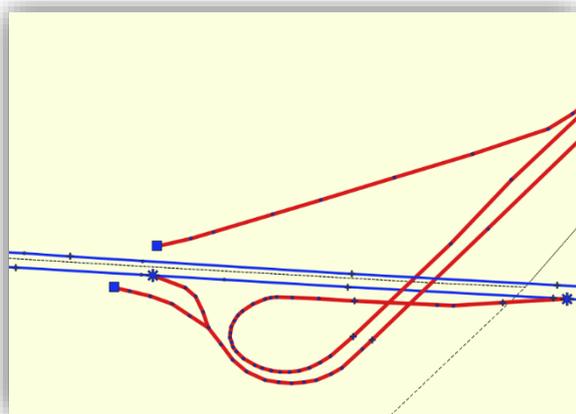


Figura 5-7 Esempio correzione svincolo RA10 su Corso Grosseto

Dalla verifica si sono individuati e reintegrati nella rete stradale 2 elementi “unclassified”, 3 “service” ed 1 “residential”. Le integrazioni effettuate sono riportate in appendice, Tab. 3-1.

Si può, a questo punto salvare il risultato nominando il file *StradePrincipali.shp*.

5.1.4.2 Selezione degli elementi stradali a servizio dell'area di studio

Si è deciso di dedicare un'analisi specifica alla selezione delle strade a servizio dell'area di studio poiché l'approccio adottato in questo studio non consiste nel consueto ritaglio degli elementi lungo il confine; le ragioni della scelta di un approccio alternativo sono di seguito elencate in ordine di rilevanza decrescente:

- A. Si deve, innanzitutto, evitare che gli elementi a ridosso del confine vengano interrotti compromettendo l'integrità del tracciato. Una rotatoria posta a cavallo del confine, ad esempio, non sarebbe più in grado di interconnettere i bracci dell'intersezione se la parte eccedente i limiti dell'area di studio venisse esclusa;
- B. Si vogliono mantenere le geometrie, il più possibile, inalterate al fine di poterle agevolmente ricondurre agli elementi OSM originali. Scaricando le informazioni OSM da fonti differenti, o dalla stessa fonte ma in diversi periodi, gli identificativi (*osm_id*) delle strade potrebbero cambiare, ma l'associazione potrebbe, tuttavia, avvenire per le geometrie che coincidono per forma e posizione;
- C. Si vuole, infine, evitare di escludere dal grafo i percorsi più brevi o rapidi solo perché parzialmente esterni all'area di analisi. Se, ad esempio, il percorso più rapido per raggiungere una destinazione fosse un'autostrada, ma lo svincolo più prossimo all'origine fosse appena fuori dai confini sarebbe, dunque, opportuno tenerlo in considerazione. Dove, invece, il confine assume una forma concava è possibile che il percorso più breve risulti esterno all'area ma non per questo da scartare.

Chiarite le ragioni si procede, innanzitutto, col distinguere le strade esterne da quelle totalmente o parzialmente interne all'area, come descritto nel seguito:

- Sfruttando lo strumento di gestione dati "Unisci attributi per posizione" si effettua l'unione degli attributi sul layer *StradePrincipali*, ottenuto nel paragrafo 5.1.4.1, quando viene rispettato il predicato geometrico "interseca", Figura 5-8.

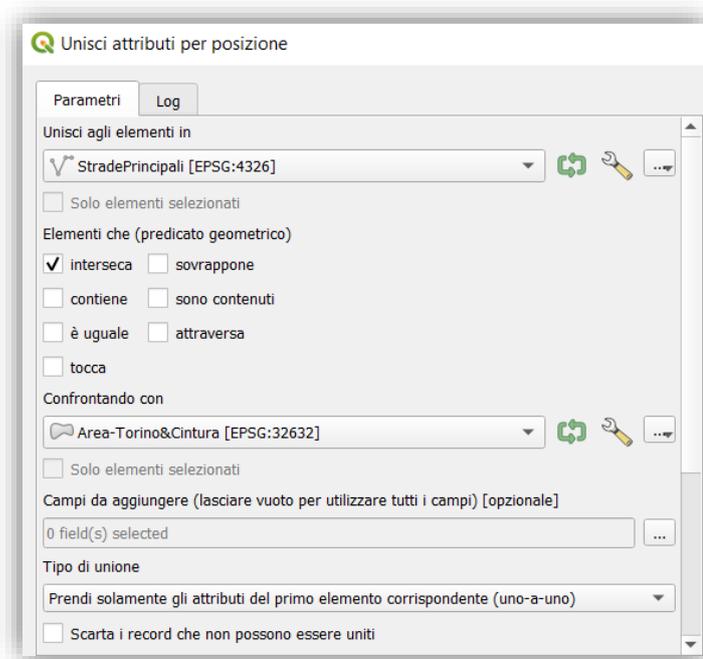


Figura 5-8 Individuazione strade interne all'area di studio - Unisci attributi per posizione

Verrà generata, in altre parole, una copia di *StradePrincipali* in cui agli elementi che intersecano l'area di studio, e quindi le strade totalmente o parzialmente interne, verranno uniti gli attributi dell'area stessa.

- Sul nuovo layer *Vettore Unito* si aggiunge, attraverso il calcolatore di campi, una nuova colonna "Posizione" in cui si riporterà la stringa "EXT" dove gli attributi dell'area risultano nulli ed "INT" in tutti gli altri casi, Tabella 5-2.

Tabella 5-2 Individuazione strade interne all'area di studio – Calcolatore di campi

Vettore unito – Calcolatore di Campi	
Nome campo	Posizione
Tipo campo	String(3)
Formula	if("COD_REG" is null, 'EXT', 'INT')

- A questo punto si può unire *StradePrincipali* con il *Vettore Unito* effettuando un join attraverso l'*osm-id* per poi selezionare le strade esterne, esportarle come *StradeExt.shp* e successivamente rimuoverle da *StradePrincipali*.

I passaggi appena descritti potrebbero già produrre un buon risultato ma è consigliabile supervisionare lungo i confini come avviene l'interruzione degli elementi stradali per scongiurare la presenza di situazioni indesiderate, come l'esempio riportato in Figura 5-9.

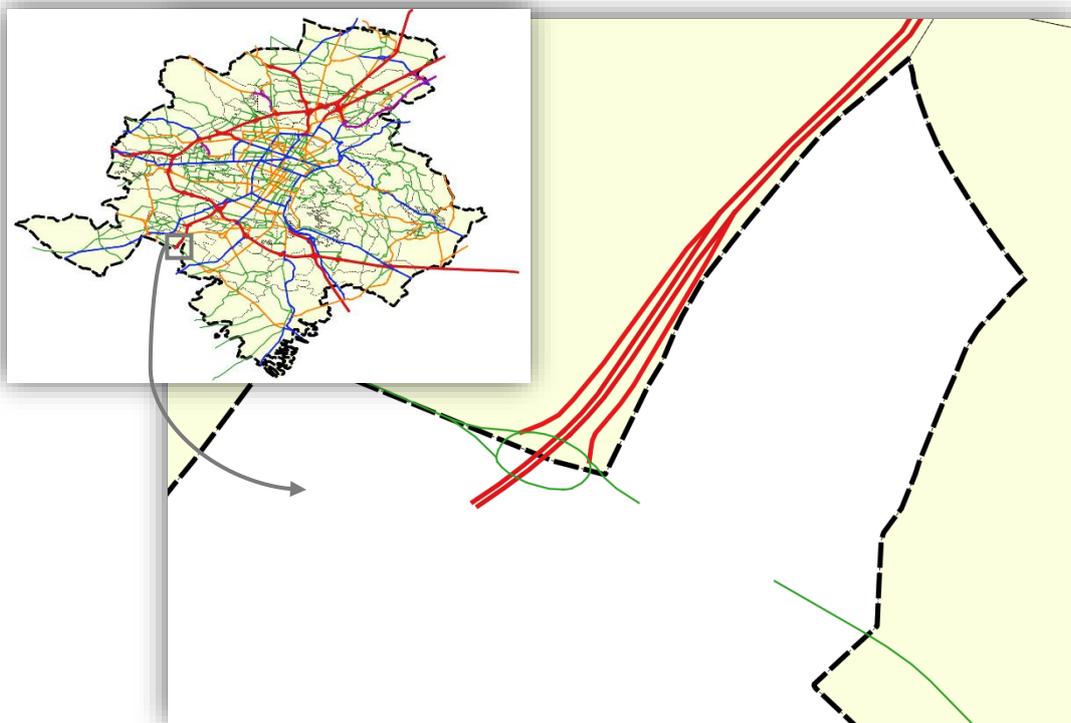


Figura 5-9 Esempio di interruzione indesiderata degli elementi stradali (in giallo l'area interna ai confini)

La rete stradale selezionata non si interrompe lungo i confini dell'area d'analisi in modo tale da precludere la percorribilità di tracciati particolarmente rilevanti. Si è, tuttavia, messa a punto una procedura utile per

individuare e correggere le interruzioni più critiche, come quella riportata in Figura 5-9, che, anche se nel caso in esame non apporta migliorie significative al risultato finale, viene riportata per completezza:

- si riprende il vettore *StradeExt*, ottenuto in precedenza, e lo si converte in un'unica geometria utilizzando lo Strumento di Processing "Aggrega" o "Dissolvi" lasciando vuoto il relativo campo di raggruppamento o di dissolvenza;
- si riproietta, successivamente, il vettore *Aggregato* sul sistema di riferimento EPSG: 3003⁴²;
- quindi si esegue il buffer del layer *Riproiettato* impostando una distanza di 0.1 m, convertendo così il vettore lineare in un poligono;
- a seguire si seleziona la *Risultato da operazione di buffer* e si applica lo Strumento di Geometria "Da parti multiple a parti singole" così da dividere le aree del poligono che non sono interconnesse con la matrice principale;
- attraverso il calcolatore di campi si aggiunge al vettore *Parti singole* la colonna "Area", in cui riportare la superficie di ogni parte del poligono utilizzando la formula $\$area$ (sull'SR EPSG:3003 il risultato sarà in m²), Tabella 5-3.

Tabella 5-3 Area delle parti del poligono relativo alle strade esterne

Parti singole – Calcolatore di Campi	
Nome campo	Area
Tipo campo	Integer(10)
Formula	$\$area$

- a questo punto si ordina la colonna "Area" per valori decrescenti così da individuare rapidamente le parti del poligono che presentano una superficie superiore rispetto alle rimanenti di almeno un ordine di grandezza, Figura 5-10.

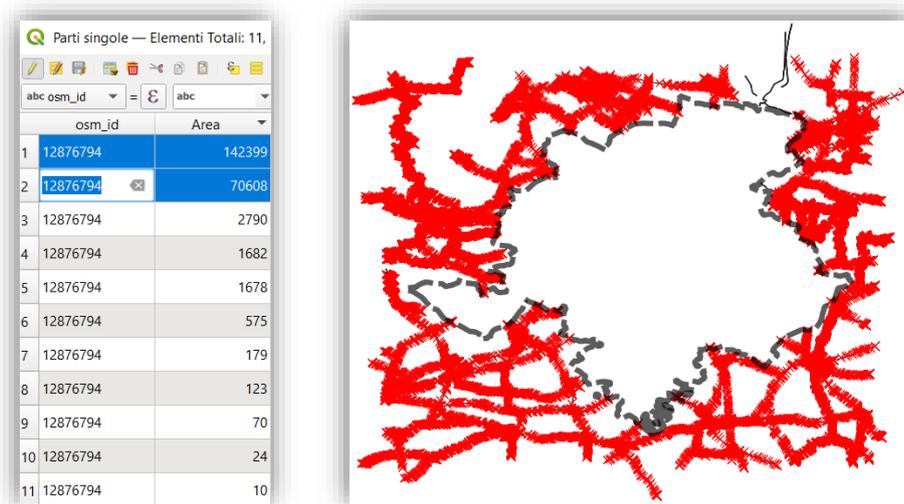


Figura 5-10 Eliminazione delle aree esterne non rilevanti

⁴² Sistema cartografico: Monte Mario/Italy Zone 1 (fuso Ovest)
Datum: Roma 40
Proiezione: Gauss-Boaga
Unità di misura: metrica

- le aree evidenziate in Figura 5-10 rappresentano la rete stradale esterna all'area di studio che risulta interconnessa e si possono eliminare in quanto superflue;
- si assegna temporaneamente un identificativo alle aree residue agendo sul calcolatore di campi, Tabella 5-4.

Tabella 5-4 Assegnazione identificativo alle aree esterne residue

Parti singole – Calcolatore di Campi	
Nome campo	TempID
Tipo campo	Integer(10)
Formula	@row_number

- per individuare le aree con entrambe le estremità tangenti alle *StradePrincipali* si fa ricorso allo strumento di gestione dati “Unisci attributi per posizione” effettuando l’unione degli attributi sul layer *Parti singole*, quando viene rispettato il predicato geometrico “interseca” e selezionando il tipo di unione “uno-a-molti”, Figura 5-11.

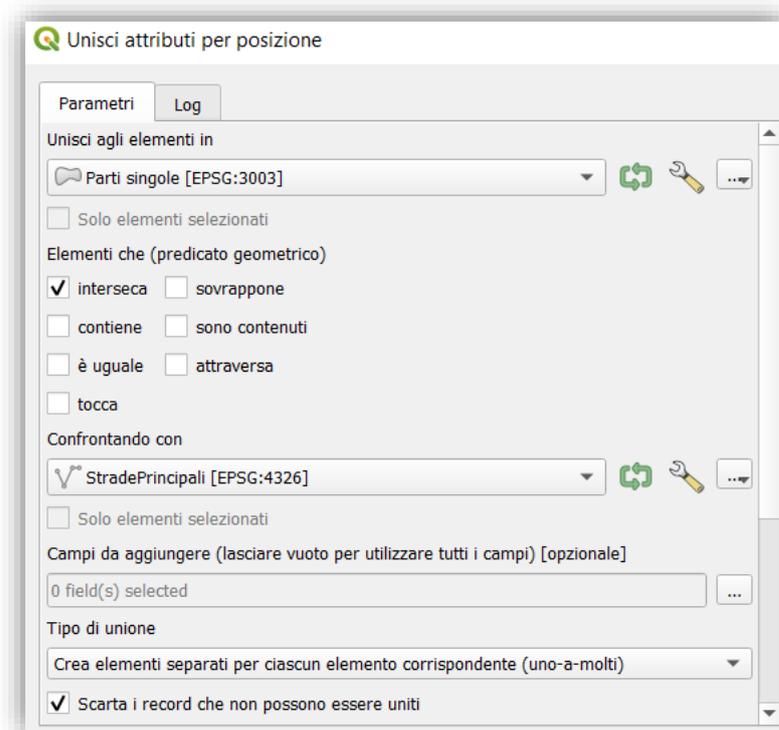


Figura 5-11 Individuazione aree con entrambe le estremità tangenti alle strade interne - Unisci attributi per posizione

- si aggrega, ora, il nuovo *Vettore unito* sulla base del TempID generando un nuovo campo “Count” che riporti il numero di elementi aggregati, Figura 5-12.

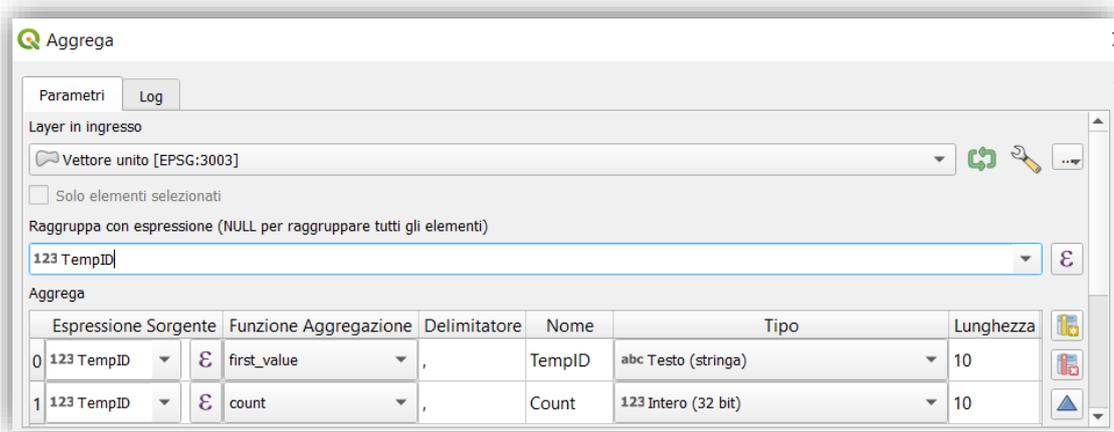


Figura 5-12 Aggregazione aree con stesso TempID

- passando in rassegna le aree del vettore *Aggregato* risultante, con “Count” > 1, si riuscirà ad individuare buona parte dei tronchi stradali necessari per ripristinare i percorsi interrotti in maniera indesiderata;
- per risalire dalle aree selezionate agli elementi lineari associati alle strade, sarà sufficiente fare, nuovamente, ricorso allo strumento “Unisci attributi per posizione” così da intercettare gli elementi che “sono contenuti” all’interno dei Buffer.

Gli elementi individuati con questo metodo sono riportati in appendice, Tab. 3-2.

Come anticipato questa procedura è da intendersi come strumento di supporto per l’individuazione delle irregolarità che non può prescindere da una supervisione manuale dei confini dell’area d’analisi.

Al termine di questa fase i 9191 elementi lineari, valutati come strade principali a servizio dell’area di studio, possono essere esportati come *StradeInterne.shp* e l’output risultante è mostrato in Figura 5-13.

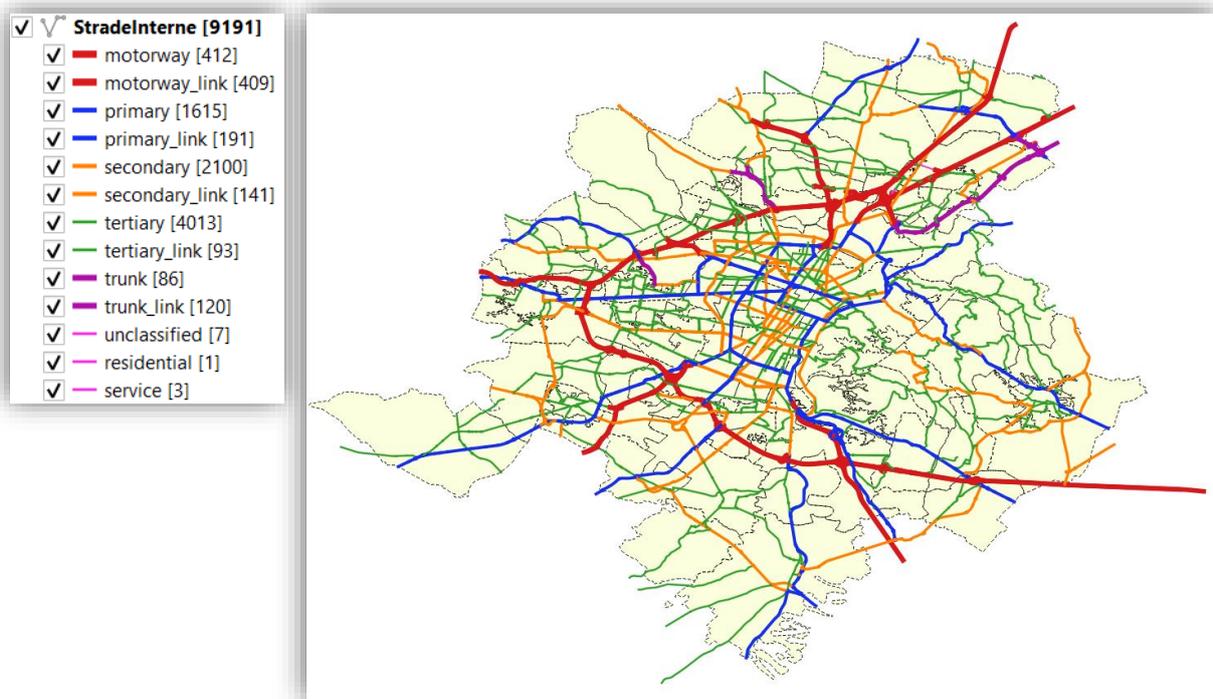


Figura 5-13 Strade principali a servizio dell'area di studio (StradeInterne.shp)

5.1.4.3 Pulizia degli elementi stradali isolati

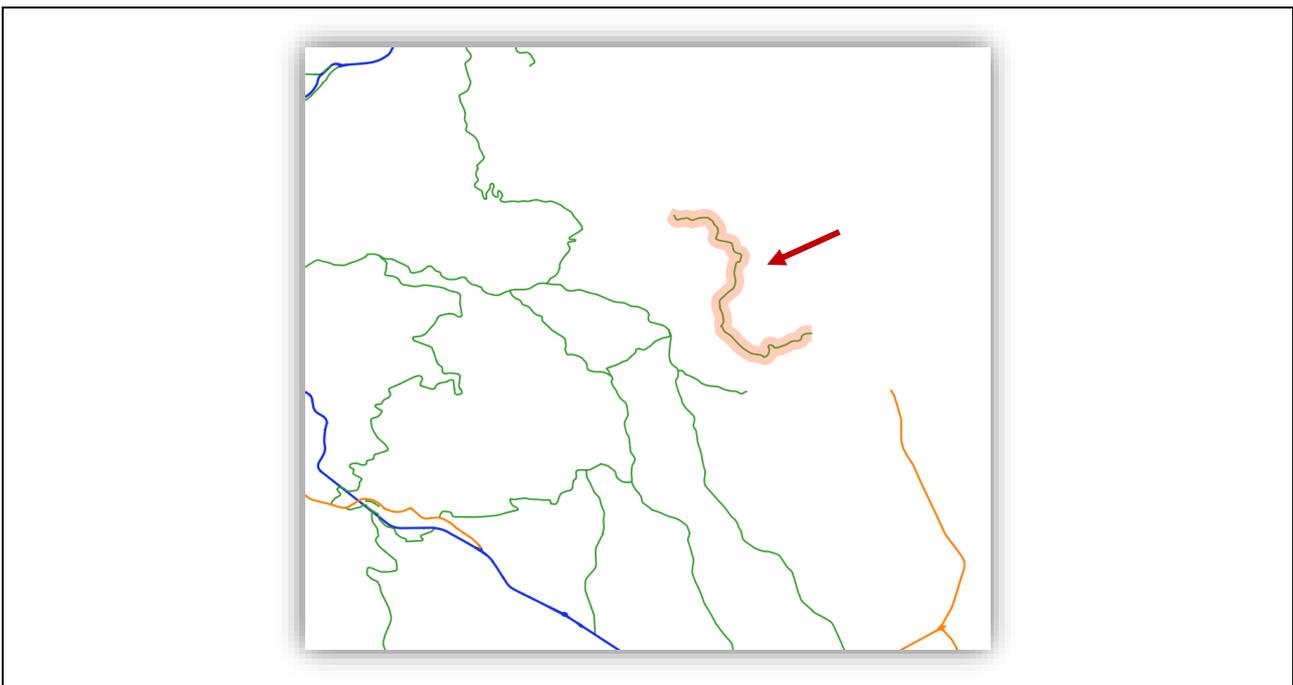
Avendo sottratto dalla rete stradale completa tutti i tracciati non rilevanti, è lecito aspettarsi che alcuni degli elementi principali, selezionati nel paragrafo 5.1.4.2, non risultino più connessi al resto delle strade. Questi elementi isolati, non potendo più assolvere la funzione di connettori, non avranno alcuna rilevanza e potranno, dunque, essere rimossi.

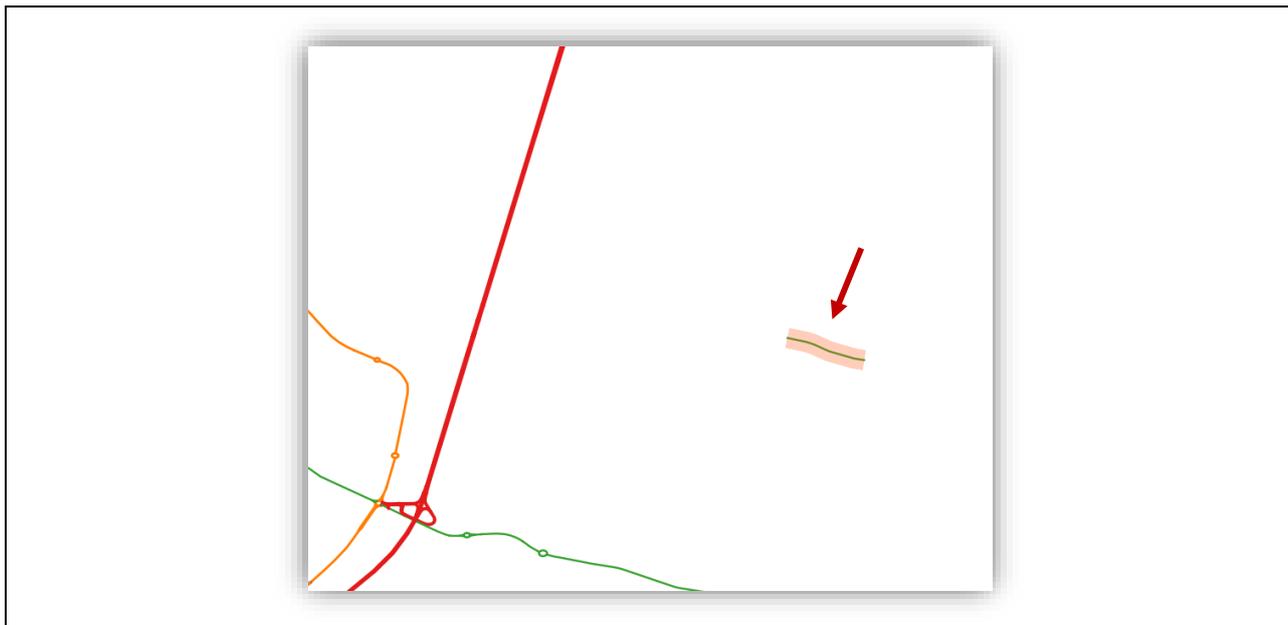
La rimozione dei segmenti isolati può essere effettuata agevolmente attraverso la seguente procedura:

- si riprende il vettore *StradeInterne* e lo si converte in un'unica geometria utilizzando lo Strumento di Processing "Aggrega" o "Dissolvi" lasciando vuoto il relativo campo di raggruppamento o di dissolvenza;
- si riproietta, successivamente, il vettore *Aggregato* sul sistema di riferimento EPSG: 3003;
- quindi si esegue il buffer del layer *Riproiettato* impostando una distanza di 0.1 m, convertendo così il vettore lineare in un poligono;
- a seguire si seleziona il *Risultato da operazione di buffer* e si applica lo Strumento di Geometria "Da parti multiple a parti singole" così da dividere le aree del poligono che non sono interconnesse con la matrice principale;
- successivamente si individua ed elimina la matrice principale del poligono, ovvero la rete di strade interconnesse, così da mantenere solo le aree relative agli elementi lineari isolati;
- se il numero di poligoni residui sarà elevato gli elementi lineari in essi contenuti potranno essere individuati attraverso lo strumento "Unisci attributi per posizione", se esiguo si potrà, invece, procedere manualmente;
- gli elementi stradali così individuati potranno, infine, essere rimossi dal layer *StradeInterne*.

Gli elementi isolati individuati con questo metodo sono riportati in Tabella 5-5 e sul layer *StradeInterne* si avranno, a questo punto, solo gli elementi interconnessi (9178).

Tabella 5-5 Individuazione degli elementi stradali isolati da rimuovere dalla rete stradale a servizio dell'area di studio





5.1.4.4 Individuazione dei nodi di intersezione

Come spiegato al paragrafo 5.1.3, gli elementi lineari che si intersecano alla stessa quota, originando così un'intersezione a raso, detengono sempre un nodo in comune.

Da una valutazione preliminare si è riscontrato che, tuttavia, il nodo in comune non è sempre posto all'estremità degli elementi lineari, ovvero, le strade non sempre si interrompono in corrispondenza delle intersezioni. Si possono, infatti, distinguere due casistiche di errore:

1. N elementi lineari hanno un nodo in comune ma nessuno degli N segmenti ha estremità in corrispondenza di tale intersezione, esempio in Figura 5-14.



Gli asterischi blu indicano le intersezioni in cui tutti i segmenti hanno un'estremità, mentre il pallino rosso, al contrario, quelle in cui nessun elemento ha estremità.

Il punto rosso, in questo caso, è un'intersezione a 4 bracci nella quale dovrebbero, dunque, convergere 4 elementi distinti. L'intersezione è stata, invece, rappresentata con 2 segmenti continui che si intersecano in un punto intermedio.

Figura 5-14 Prima tipologia di errore di rappresentazione dell'intersezione

2. N elementi lineari hanno un nodo in comune ma solo alcuni di questi hanno estremità in tale intersezione, esempio in Figura 5-15.



Figura 5-15 Seconda tipologia di errore di rappresentazione dell'intersezione

In questo secondo caso, Figura 5-15, il segmento arancione si innesta in un nodo intermedio del percorso verde. Il pallino arancione rappresenta un'intersezione a 3 bracci che è stata, però, rappresentata con solo due elementi lineari.

La procedura corrente è, dunque, stata ideata principalmente per individuare e correggere questa tipologia di errore. Nel seguito si mostrano i passaggi da svolgere per classificare i nodi di intersezione:

1. Partendo dal layer *StradeInterne*, definito e ripulito nei precedenti paragrafi 5.1.4.2 e 5.1.4.3, è consigliabile, innanzitutto, eseguire il comando "Ripara geometrie". È, infatti, frequente la presenza di vertici duplicati all'interno delle geometrie lineari, che, se non rimossi dal principio, possono alterare il buon esito della procedura o, quantomeno, renderla più complessa.
2. Occorre assegnare alle estremità degli elementi di *Geometrie riparate* un identificativo univoco basato sulla posizione, che verrà denominato GeoID. Questa operazione può essere effettuata attraverso il calcolatore di campi, come illustrato schematicamente in Tabella 5-6 e Tabella 5-7.

Tabella 5-6 Assegnazione del GeoID al nodo iniziale del vettore lineare Geometrie riparate

Geometrie riparate – Calcolatore di Campi	
Nome campo	GeoID_i
Tipo campo	Real(13, 10)
Formula	$(\$x_at(0) + \$y_at(0)) * \$x_at(0)$

Tabella 5-7 Assegnazione del GeoID al nodo finale del vettore lineare Geometrie riparate

Geometrie riparate – Calcolatore di Campi	
Nome campo	GeoID_f
Tipo campo	Real(13, 10)
Formula	$(\$x_at(-1) + \$y_at(-1)) * \$x_at(-1)$

3. Successivamente occorre estrarre i vertici dal vettore *Geometrie riparate* attraverso il comando "Estrai vertici".
4. Occorre, dunque, assegnare l'identificativo GeoID anche al layer *Vertici* appena estratto, Tabella 5-8.

Tabella 5-8 Assegnazione del GeoID ai nodi del vettore puntuale Vertici

Vertici – Calcolatore di Campi	
Nome campo	GeoID
Tipo campo	Real(13, 10)
Formula	$(\$x + \$y) * \$x$

5. Si eliminano i nodi coincidenti, quindi con stesso GeoID, che appartengono allo stesso elemento stradale (osm_id).

È questo il caso di elementi lineari che formano un anello come, ad esempio, le rotatorie che spesso sono rappresentate come un loop chiuso su sé stesso. L'esempio della rotatoria merita un ulteriore commento che può essere d'aiuto per comprendere la procedura stessa:

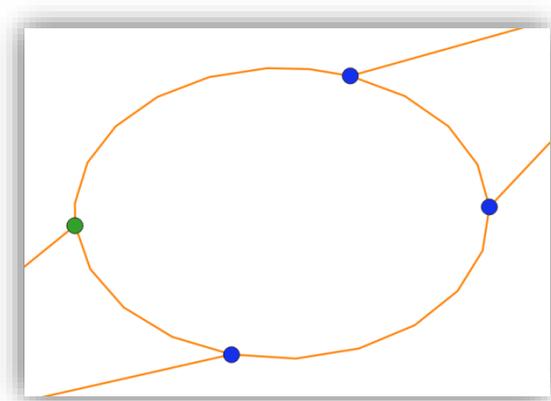


Figura 5-16 Rotatoria d'esempio

Per semplicità si può dire che si è in presenza di un'intersezione quando in un punto convergono almeno 3 segmenti. Ragionando sui vertici estratti si può dire, invece, che l'intersezione si ha dove si sovrappongono almeno 3 punti.

La rotatoria in Figura 5-16 è costituita da un unico elemento chiuso ad anello e, dunque, ha estremo iniziale e finale sovrapposti (punto verde).

Sopprimendo i nodi duplicati dello stesso elemento lineare si va, dunque, ad eliminare un'estremità della rotatoria.

Così facendo sul punto verde si conteranno solo due vertici e, conseguentemente, l'intersezione non verrà individuata.

In un secondo momento, tuttavia, la rotatoria verrà spezzata in corrispondenza dei punti blu e risulterà costituita da 4 archi di cerchio distinti. Sul punto verde, questa volta, convergeranno 3 elementi diversi e, quindi, la presenza di 3 vertici sovrapposti permetterà l'individuazione dell'intersezione.

In definitiva un'estremità della rotatoria andrà inizialmente rimossa, poiché non c'è modo di valutare le auto-intersezioni e non fornirebbe alcuna informazione utile, ma ripetendo la procedura una seconda volta l'errore verrà automaticamente corretto.

L'eliminazione dei vertici coincidenti appartenenti allo stesso segmento può essere effettuata con il comando "Elimina duplicati per attributo" selezionando i campi `osm_id` e `GeoID`, come mostrato in Figura 5-17.

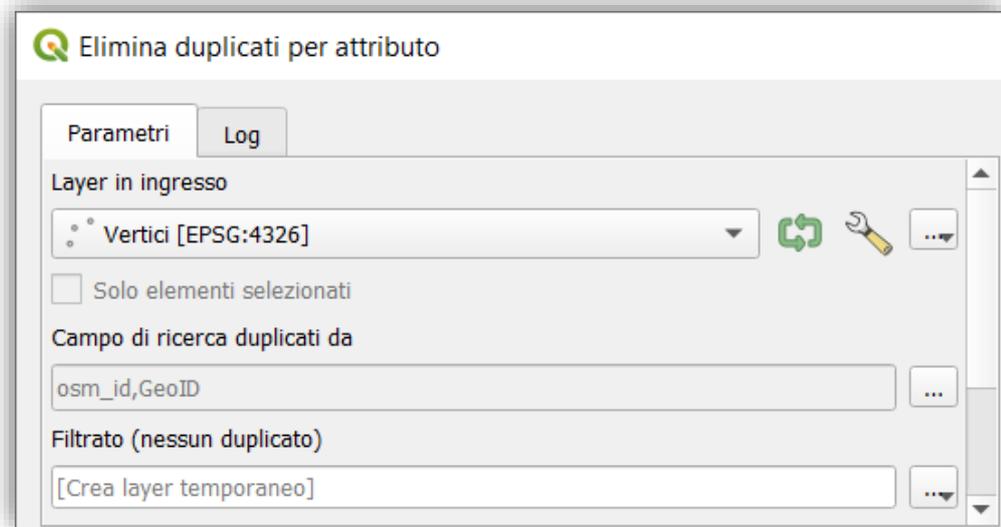


Figura 5-17 Eliminazione dei vertici duplicati appartenenti allo stesso segmento

6. A questo punto è possibile determinare se i vertici del layer *Filtrato (nessun duplicato)* costituiscono un'estremità per i segmenti `osm_id` da cui sono stati estratti. Questa verifica viene condotta valutando se il `GeoID` dei nodi coincide con il `GeoID_i` o con il `GeoID_f`, identificativi delle estremità degli elementi lineari, come mostrato in Tabella 5-9.

Tabella 5-9 Valutazione delle estremità convergenti nei vertici del layer *Filtrato (nessun duplicato)*

Filtrato (nessun duplicato) – Calcolatore di Campi	
Nome campo	Extr
Tipo campo	String(1)
Formula	<code>If("GeoID" = "GeoID_i", 'i', If("GeoID" = "GeoID_f", 'f', null))</code>

7. Si aggregano, successivamente, i vertici del vettore *Filtrato (nessun duplicato)* con stesso `GeoID`, avendo cura di introdurre due nuovi campi:
- `EL_Count` che indicherà quanti elementi hanno un vertice nel nodo considerato;
 - `Extr_Count` che indicherà il numero di elementi che hanno un vertice di estremità nel nodo considerato;

È possibile, inoltre, tenere traccia degli `osm_id` e delle estremità aggregate concatenando i relativi campi in una stringa, così da permetterne la supervisione anche in momenti successivi.

Questa fase può essere svolta ricorrendo allo strumento "Aggrega", selezionando il `GeoID` come espressione di raggruppamento ed impostando gli altri parametri come illustrato in Figura 5-18.

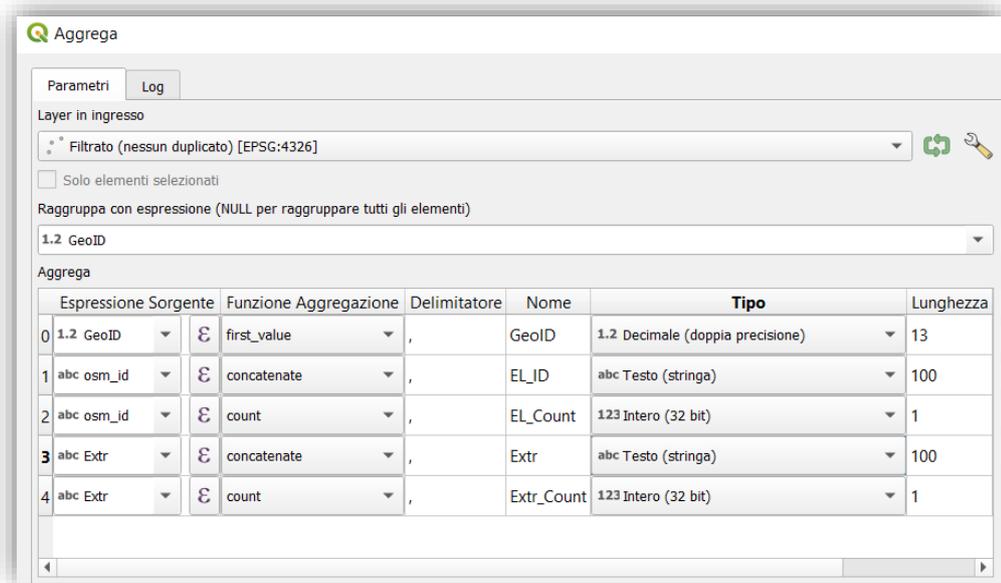


Figura 5-18 Aggregazione dei vertici coincidenti

Il vettore così ottenuto potrà essere salvato come *Nodi_v1*.

8. L'ultimo passaggio consiste nel classificare i nodi sulla base dei criteri seguenti:

- Se n elementi lineari hanno un vertice nel nodo e per tutti gli n elementi tale vertice rappresenta un'estremità, si distinguono 3 possibili casi:

Se $EL_Count = Extr_Count$ allora

- se $EL_Count = 1$, il nodo è un estremo isolato e quindi $N_Class = ESTR$;
- se $EL_Count = 2$, il nodo è un estremo di continuità e quindi $N_Class = CONT$ ⁴³;
- se $EL_Count > 2$, il nodo è una intersezione e quindi $N_Class = INT$.

- Se un solo elemento lineare ha vertice nel nodo, ma il vertice di tale elemento non rappresenta un'estremità, allora il nodo è interno all'elemento lineare e non ha rilevanza per questa analisi:

Se $EL_Count = 1$ AND $Extr_Count = 0$ allora $N_Class = Null$.

- Se n elementi lineari hanno un vertice nel nodo, ma per nessuno degli n elementi tale vertice rappresenta un'estremità, allora il nodo è un'intersezione tra elementi da correggere:

Se $EL_Count > 1$ AND $Extr_Count = 0$ allora $N_Class = ERR1$.

- I nodi per cui nessuna delle precedenti condizioni risulta verificata saranno, per esclusione, vertici di più elementi lineari ed estremità di almeno un elemento. Anche in questo caso il nodo rappresenterà un'intersezione tra elementi da correggere:

Se $EL_Count > 1$ AND $Extr_Count > 0$ allora $N_Class = ERR2$;

⁴³ Per estremo di continuità (CONT) si intende un nodo che segna il passaggio da un segmento stradale al successivo senza costituire un'intersezione. I segmenti, anche se consequenziali e senza diramazioni, vengono separati da OSM quando si assiste ad un cambio di geometria o quando, per la loro rappresentazione si superano i 2000 vertici. Vedere il paragrafo 5.1.2.

Tutte le precedenti condizioni possono essere scritte come formula da inserire nel calcolatore di campi per ottenere la N_Class, ovvero, la classificazione attribuita a ciascun nodo, Tabella 5-10.

Tabella 5-10 Classificazione dei vertici del vettore Nodi_v1

Nodi_v1 – Calcolatore di Campi	
Nome campo	N_Class
Tipo campo	String(4)
Formula	if("EL_Count" = "Extr_Count", if("EL_Count" =1,'ESTR', if("EL_Count" = 2, 'CONT', 'INT')), if("EL_Count" = 1 and "Extr_Count" = 0, null, if("EL_Count" > 1 and "Extr_Count" = 0, 'ERR1', if("EL_Count" > 1 and "Extr_Count" > 0, 'ERR2', null)))

A titolo esemplificativo viene riportata la seguente Figura 5-19, in cui è possibile individuare almeno un nodo per ciascuna N_Class definita durante questa procedura di classificazione.

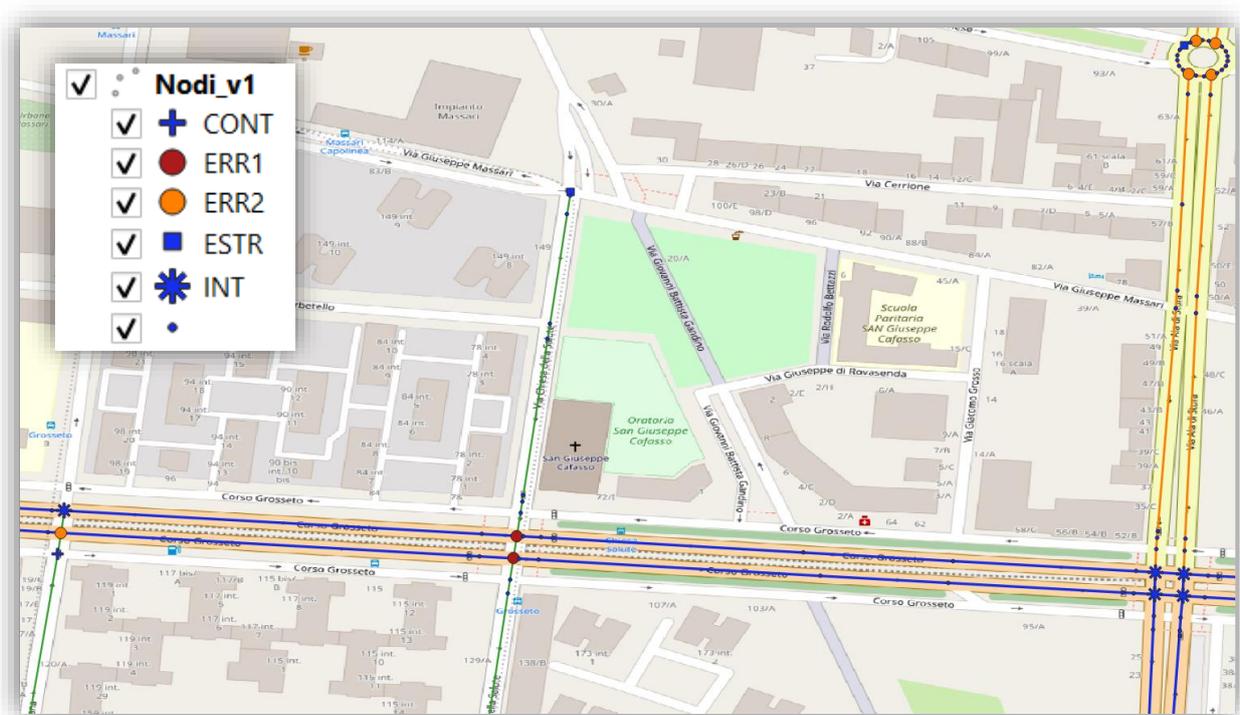


Figura 5-19 Output d'esempio al termine della procedura di classificazione dei Nodi_v1

5.1.4.5 Correzione degli elementi lineari in corrispondenza dei nodi di intersezione

Questa fase è consequenziale e strettamente interconnessa alla precedente; nel paragrafo 5.1.4.4, infatti, sono stati individuati gli eventuali errori di rappresentazione delle intersezioni che ora dovranno essere corretti. Questo implica che al termine della correzione occorrerà ripetere la classificazione che potrebbe, nuovamente, portare alla luce la presenza di errori residui, che, di conseguenza, dovranno essere ricorretti. Applicando la procedura al caso pratico in esame si è riscontrato che alla seconda iterazione non verrà più individuato alcun errore e la classificazione dei nodi sarà, dunque, definitiva.

Ribadendo che per errore di rappresentazione si intende la mancata interruzione dei segmenti stradali in corrispondenza delle intersezioni, la correzione consisterà nel troncamento di tali segmenti.

Di seguito viene illustrata la sequenza di operazioni da svolgere per apportare la suddetta correzione:

1. È conveniente, innanzitutto, selezionare ed esportare nodi del vettore *Nodi_v1* che contengono un errore, ovvero, gli elementi che, seguendo la classificazione proposta, presentano una *N_Class* pari a ERR1 o ERR2. Si salvi la selezione come *Nodi_ERR_v1.shp*.
2. Si è osservato che il troncamento degli elementi lineari non può avvenire in corrispondenza di elementi puntuali, quali i *Nodi_ERR_v1*, e sarà, quindi, necessario generare delle linee per effettuare lo split. Occorre, però, garantire che le linee di taglio intersechino esclusivamente gli elementi da troncamento in corrispondenza del nodo "ERR", per non produrre una frammentazione indesiderata. A tal proposito si è deciso di generare dei segmenti di estensione estremamente ridotta (circa 8×10^{-6} m), orientati in direzione est-ovest. In pratica le linee di taglio risulteranno perfettamente orizzontali, con un'estremità nel nodo "ERR" e l'altra posta alla medesima latitudine ma traslata verso ovest.

Le coordinate del punto finale delle linee di taglio vengono, dunque, estratte da *Nodi_ERR_v1*, sottraendo al valore di x la quantità 1×10^{-10} e mantenendo y costante, Tabella 5-11 e Tabella 5-12.

Tabella 5-11 Estrazione della longitudine traslata verso ovest dei punti del vettore *Nodi_ERR_v1*

Nodi_ERR_v1 – Calcolatore di Campi	
Nome campo	Xf
Tipo campo	Real(13, 10)
Formula	\$x - 0.0000000001

Tabella 5-12 Estrazione della latitudine dei punti del vettore *Nodi_ERR_v1*

Nodi_ERR_v1 – Calcolatore di Campi	
Nome campo	Yf
Tipo campo	Real(13, 10)
Formula	\$y

3. Prima di procedere oltre occorre far presente che i punti presenti su *Nodi_ERR_v1* sono stati estrapolati da *Nodi_v1*, che è stato, a sua volta, ottenuto dall'aggregazione di più geometrie puntuali. La geometria risultante da questa operazione non sarà più puntuale, bensì, multi-punto. Occorre, quindi, riconvertire *Nodi_ERR_v1* a geometria puntuale con l'ausilio dello strumento SAGA "Convert Multipoints to Points", esportando, poi, il risultato come *Nodi_Start-End_v1*.

4. Per ottenere i punti traslati, che costituiranno la seconda estremità delle linee di taglio, sarà sufficiente, a questo punto, eseguire i seguenti passaggi:
 - aprire il file *Nodi_Start-End_v1.dbf* con Excel e salvare il contenuto del foglio di calcolo come *Nodi_End_v1.csv*;
 - importare *Nodi_End_v1.csv* su Q-GIS selezionando, come coordinate, “Campo X” = Xf e “Campo Y” = Yf;
 - esportare il vettore *Nodi_End_v1*, appena ottenuto, sul file *Nodi_Start-End_v1.shp* selezionando l’opzione “Aggiungi al layer” presente nella finestra di dialogo che verrà mostrata, Figura 5-20.

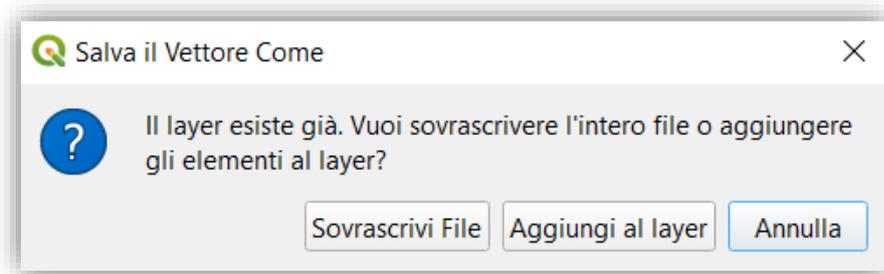


Figura 5-20 Aggiunta di *Nodi_End_v1* al layer *Nodi_Start-End_v1*

5. Utilizzando lo strumento “Da punti a percorso” sul layer *Nodi_Start-End_v1*, appena ottenuto, e selezionando GeoID come “Espressione del gruppo di percorso”, si otterranno, infine, le linee su cui eseguire lo split di *EL_ERR_v1*, Figura 5-21.

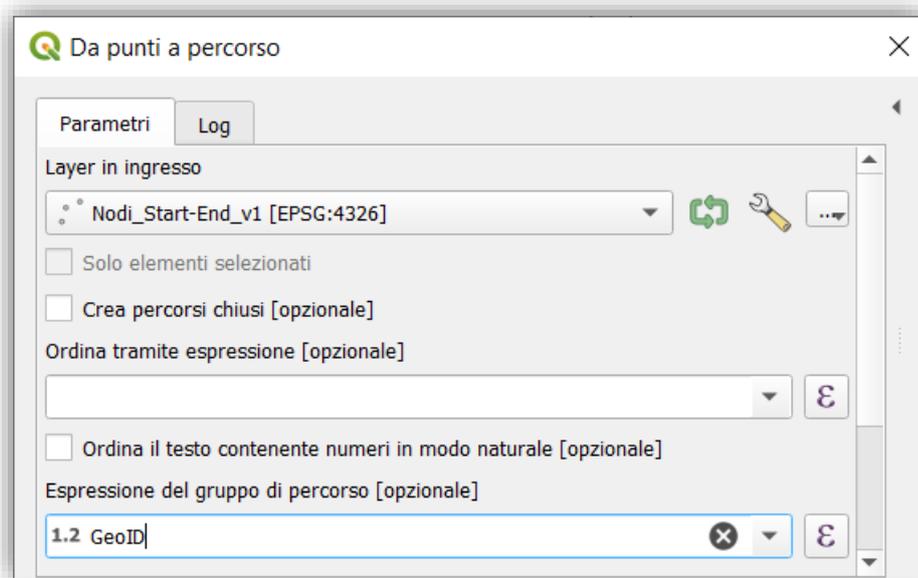


Figura 5-21 Generazione delle *Linee_Split_v1* dalla congiunzione dei *Nodi_Start-End_v1* con stesso GeoID

Le linee, così generate, possono essere esportate come *Linee_Split_v1.shp*.

Nella seguente Figura 5-22 si riporta un esempio dell'output ottenuto.

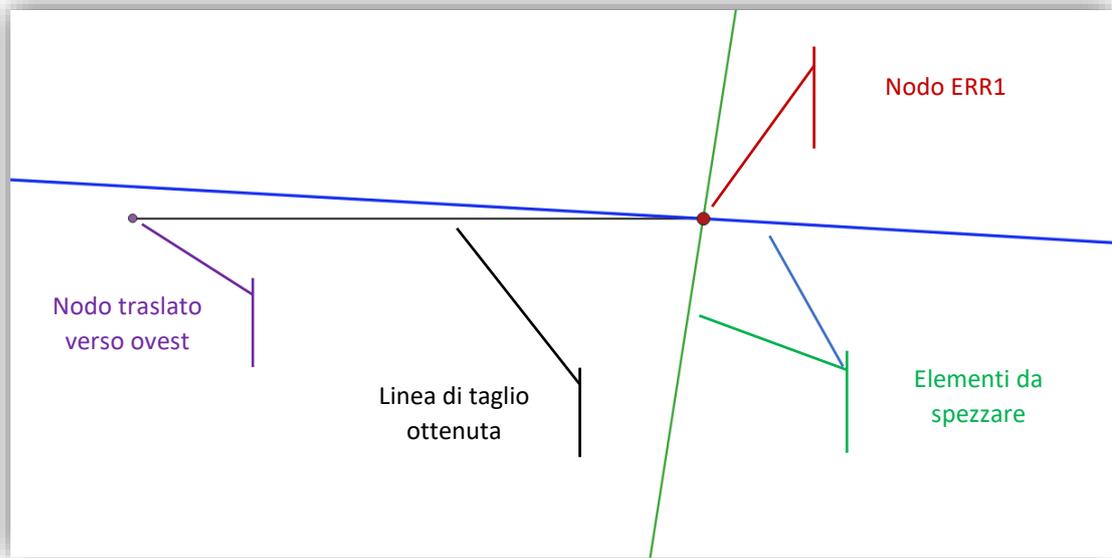


Figura 5-22 Esempio di output ottenuto a seguito della generazione delle linee di taglio

6. Come ulteriore accorgimento è consigliabile, infine, isolare gli elementi lineari da spezzare, così da evitare il troncamento inopportuno dei segmenti non interessati dalla correzione. I segmenti effettivamente da correggere sono esclusivamente quelli che hanno un vertice nel nodo ERR che non costituisce un'estremità.

Valutando, quindi, gli attributi "EL_ID" ed "Extr" del layer *Nodi_ERR_v1*, si introduce il nuovo campo "EL_Split" in cui elencare gli osm_id degli elementi senza estremità, Tabella 5-13.

Tabella 5-13 Concatenamento degli osm_id senza estremità nei punti del vettore *Nodi_ERR_v1*

Nodi_ERR_v1 – Calcolatore di Campi	
Nome campo	EL_Split
Tipo campo	String(40)
Formula	<code>array_to_string(array_filter(array_foreach(generate_series(0, array_length(string_to_array("EL_ID", ','))-1), if(array_get(string_to_array("Extr", ','), @element) = "", array_get(string_to_array("EL_ID", ','), @element), "")), @element <> ""))</code>

Successivamente si ripartiscono in *n* colonne distinte gli *n* osm_id precedentemente concatenati, Tabella 5-14.

Tabella 5-14 Ripartizione degli osm_id concatenati all'interno del campo EL_Split del vettore *Nodi_ERR_v1*

Nodi_ERR_v1 – Calcolatore di Campi	
Nome campo	EL_Split- <i>n</i>
Tipo campo	String(10)
Formula	<code>array_get(string_to_array("EL_Split", ','), <i>n-1</i>)</code>

Questa operazione è chiaramente da ripetere n volte avendo cura di rimpiazzare la n con l'iterazione raggiunta. Nel caso in esame sarà sufficiente generare 3 nuove colonne: EL_Split-1, EL_Split-2, EL_Split-3.

7. Gli elementi stradali da troncare risultano, a questo punto, elencati negli n campi EL_Split del vettore *Nodi_ERR_v1*. Per selezionare tali elementi, occorre, dunque, effettuare n operazioni di join tra i layer *StradeInterne* e *Nodi_ERR_v1*, mantenendo fisso il "Campo destinazione" (*osm_id*) e cambiando ogni volta il "Campo unione" (EL_Split- n), Figura 5-23.

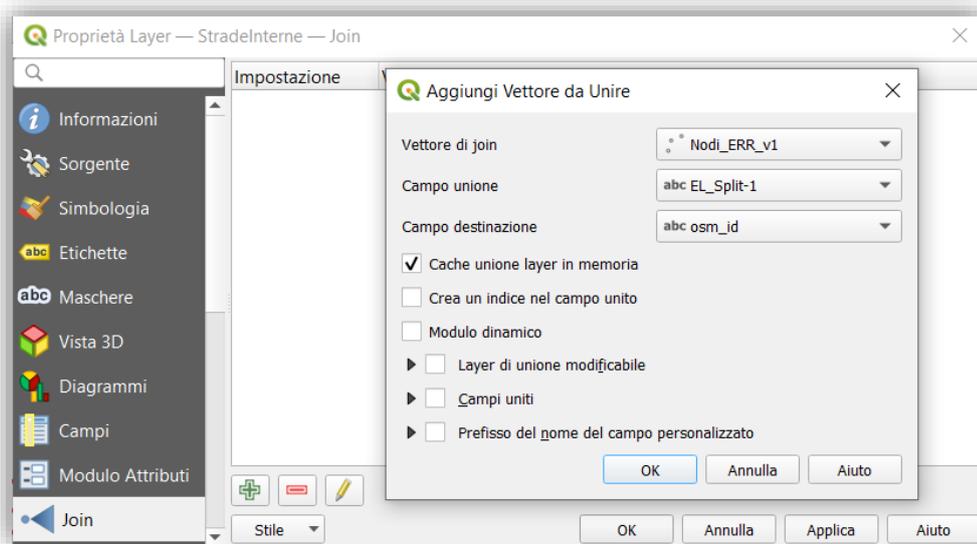


Figura 5-23 join di *StradeInterne* con *Nodi_ERR_v1* attraverso l'*osm_id*

Per memorizzare l'esito del primo join si genera un nuovo campo "ERR", in cui riportare "t" (true) se l'elemento è stato unito o, viceversa, f (false). Il successo del join può, ad esempio, essere valutato osservando il campo *N_Class* che sarà, infatti, nullo solo se l'unione non produce alcun risultato, Tabella 5-15.

Tabella 5-15 Individuazione degli elementi da correggere contenuti nel vettore *StradeInterne* (iterazione 1)

StradeInterne – Calcolatore di Campi	
Nome campo	ERR
Tipo campo	String(1)
Formula	if("Nodi_ERR_v1_N_Class" is null, 'f', 't')

Dal secondo join in poi il campo "ERR" sarà già stato definito e sarà, dunque, sufficiente aggiornarlo prestando, però, attenzione a non sovrascrivere i precedenti risultati favorevoli (t), Tabella 5-16.

Tabella 5-16 Individuazione degli elementi da correggere contenuti nel vettore *StradeInterne* (iterazione n)

StradeInterne – Calcolatore di Campi	
Aggiorna Campo	ERR
Tipo campo	String(1)
Formula	if("ERR" = 't', 't', if("Nodi_ERR_v1_N_Class" is null, 'f', 't'))

8. A questo punto si potranno selezionare ed esportare su due differenti file gli elementi di *StradeInterne* che necessitano di essere spezzati e quelli già corretti:
 - Gli elementi di *StradeInterne* con ERR = 't' (1071 elementi) saranno salvati sul file *EL_ERR_v1.shp*;
 - Gli elementi di *StradeInterne* con ERR = 'f' (8104 elementi) saranno salvati sul file *EL_Corretti_v1.shp*.

9. Si possono ora spezzare gli *EL_ERR_v1* in corrispondenza delle *Linee_Split_v1* con lo strumento SAGA "Split Lines with Lines", Figura 5-24.

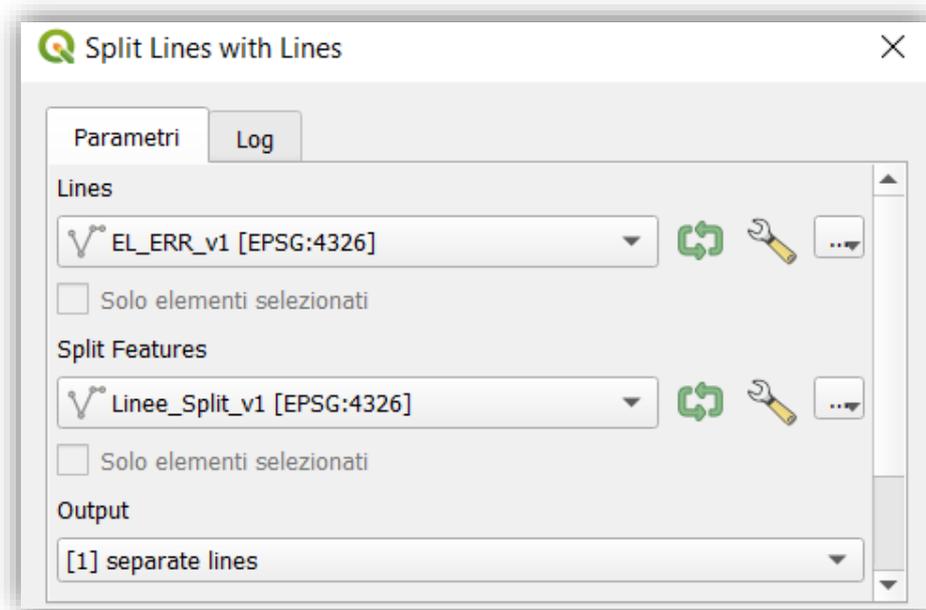


Figura 5-24 Troncamento di *EL_ERR_v1* in corrispondenza di *Linee_Split_v1*

10. A seguito del troncamento sul vettore *Intersection* saranno presenti dei segmenti con lunghezza nulla che occorrerà rimuovere prima di salvare il risultato. Si può eseguire questa pulizia aggiungendo, tramite il calcolatore di campi, la colonna "L" contenente la lunghezza dei segmenti, Tabella 5-17, per poi selezionare ed eliminare gli elementi con lunghezza nulla.

Tabella 5-17 Individuazione dei segmenti con lunghezza nulla presenti sul vettore *Intersection*

Intersection – Calcolatore di Campi	
Nome campo	L
Tipo campo	Real(10, 3)
Formula	\$length

Nel caso in esame il vettore *Intersection* conterrà, ora, solo i segmenti spezzati con lunghezza non nulla, per un totale di 3400 elementi.

11. Prima di procedere oltre è possibile eseguire un breve test per verificare che l'operazione di troncamento non abbia prodotto una frammentazione indesiderata, valutando che il numero di elementi generati sia quello effettivamente atteso.

Il numero di elementi che dovranno risultare a seguito del troncamento dovrà essere pari alla somma del numero di segmenti pre-troncamento, quelli contenuti sul layer *EL_ERR_v1* (1071), più il numero di tagli da effettuare, pari al numero di *osm_id* che vengono elencati nelle colonne *EL_Split-1*, *EL_Split-2* ed *EL_Split-3* del vettore *Nodi_ERR_v1*. In altri termini se N nodi classificati come ERR appartengono all'elemento X senza che nessuno di questi costituisca un'estremità di tale elemento, allora l'elemento X dovrà essere tagliato in N punti risultando, infine, separato in N + 1 segmenti.

La verifica può essere condotta aprendo *Nodi_ERR_v1.dbf* in Excel ed, ipotizzando di ritrovare i campi *EL_Split-1*, *EL_Split-2* ed *EL_Split-3* rispettivamente nelle colonne U, V e W, inserendo la seguente Formula 5-1 nella prima cella vuota.

Formula 5-1 Verifica del numero di elementi troncati presenti sul file Nodi_ERR_v1.dbf

```
=CONTA.VALORI(U2:W1048576)+CONTA.VALORI(UNICI(FILTRO(DATI.ORDINA(
DATI.ORDINA(SE(U2:U1048576="";0;U2:U1048576);1;1)+SE(V2:V1048576="";0;V2:V1048576);1;1)
+SE(W2:W1048576="";0;W2:W1048576);DATI.ORDINA(DATI.ORDINA(SE(U2:U1048576="";0;U2:U
1048576);1;1)+SE(V2:V1048576="";0;V2:V1048576);1;1)+SE(W2:W1048576="";0;W2:W1048576)<
>0)))
```

Il primo addendo fornisce il numero di troncammenti totale mentre il secondo il numero di elementi da troncane. Si propone una spiegazione ulteriore per il secondo addendo poiché di difficile interpretazione:

- le funzioni SE, così scritte, convertono ciascuna colonna in una matrice colonna di 1048575 elementi contenente nelle prime righe gli *osm_id* ed, a seguire, una serie di elementi nulli;
- con la funzione DATI.ORDINA più annidata si ordina la prima matrice in senso crescente, così da garantire che dalla somma con la seconda matrice gli *osm_id* vengano sempre sommati al valore 0;
- con la seconda funzione DATI.ORDINA si ordina in senso crescente la somma delle prime due matrici così da poterle sommare con la terza, per la stessa ragione vista prima;
- con la funzione FILTRO vengono, dunque, rimossi dalla somma delle tre matrici tutti gli elementi nulli;
- con la funzione UNICI vengono, infine, rimossi tutti gli elementi duplicati conservando esclusivamente gli *osm_id* univoci.

Se il valore risultante dalla formula corrisponde al numero di elementi contenuti nel layer *Intersection* allora la verifica è soddisfatta.

12. Si può, quindi, esportare il vettore *Intersection* sul layer *EL_Corretti_v1* selezionando "Aggiungi al layer".
13. A questo punto il numero di elementi presenti su *EL_Corretti_v1* sarà superiore al numero di *osm_id* univoci. Occorre, dunque, generare una nuova colonna in cui elencare un nuovo set di identificativi univoci, Tabella 5-18.

Tabella 5-18 Attribuzione di un nuovo set di identificativi univoci per gli elementi del vettore *EL_Corretti_v1*

EL_Corretti_v1 – Calcolatore di Campi	
Nome campo	EL_ID
Tipo campo	String(10)
Formula	@row_number

14. È importante, infine, non trascurare l'aggiornamento dei campi *GeoID_i* e *GeoID_f* del layer *EL_Corretti_v1*.

Si fa presente che per reiterare la procedura descritta sino a questo punto sarà sufficiente ripercorrere i medesimi passi con l'accortezza di sostituire gli opportuni valori:

- utilizzare il nuovo *EL_ID* al posto di *osm_id*;
- scegliere il layer *EL_Corretti_v1* invece di *StradeInterne*;
- salvare tutti i nuovi file terminando la denominazione con “_v2” e non più con “_v1”.

5.1.4.6 Costruzione degli archi

In questa fase ci si occuperà dell'aggregazione di tutti gli elementi lineari consecutivi che fungono da collegamento tra due nodi di intersezione, ovvero, si andrà a costituire gli archi del grafo.

La volontà è quella di ottenere un output finale contenente il minor numero di elementi possibili, così da rendere più agevole l'utilizzo del grafo risultante. Ciò implica, però, che verranno aggregati anche elementi stradali con caratteristiche differenti, contrariamente alla definizione di “way” riportata al paragrafo 5.1.3. Per ovviare a questa inesattezza si provvederà all'inserimento di 3 colonne aggiuntive contenenti rispettivamente il concatenamento degli identificativi, delle lunghezze e delle velocità dei singoli elementi aggregati. Una possibilità prevederebbe, ad esempio, di attribuire all'arco la velocità media spaziale ma, poiché, tale caratteristica non è nota per tutti gli elementi si rimanda ad un momento successivo l'individuazione di un criterio opportuno.

Secondo quanto affermato nell'incipit del capitolo 5 il pregio delle geometrie, ottenute da OSM, non è tanto la conoscenza delle caratteristiche tecnico-funzionali dei vari segmenti, quanto piuttosto l'accuratezza nella rappresentazione e, sopra ogni altra cosa, la nozione sui versi di percorrenza. In coerenza con tali peculiarità l'aggregazione degli elementi dovrà avvenire seguendo un ordine ed una direzione compatibili con l'attributo “oneway”.

Di seguito si riportano i passaggi della procedura individuata per portare a termine l'aggregazione degli elementi stradali in archi del grafo.

1. In virtù della qualità della rappresentazione degli elementi OSM si può procedere, innanzitutto, con la misurazione delle lunghezze:
 - si riproietta il vettore *EL_Corretti_v1* sul sistema metrico EPSG: 3003;
 - sul vettore *Riproiettato* si aggiunge il campo delle lunghezze agendo sul calcolatore di campi, Tabella 5-19.

Tabella 5-19 Calcolo delle lunghezze degli elementi del vettore Riproiettato

Riproiettato – Calcolatore di Campi	
Nome campo	L [m]
Tipo campo	Real(10, 3)
Formula	\$length

- attraverso il join del layer *EL_Corretti_v1* con il vettore *Riproiettato*, utilizzando per i campi di unione e destinazione l'attributo *EL_ID*, si trasferisce la colonna "L [m]" sul vettore *EL_Corretti_v1*.
2. Successivamente si trasferisce l'*N_Class* dei nodi alle estremità del vettore *EL_Corretti_v1*:
- Si esegue il join del layer *EL_Corretti_v1* con il vettore *Nodi_v2*, selezionando *GeoID* per il campo di unione e *GeoID_i* per quello di destinazione, Figura 5-25.

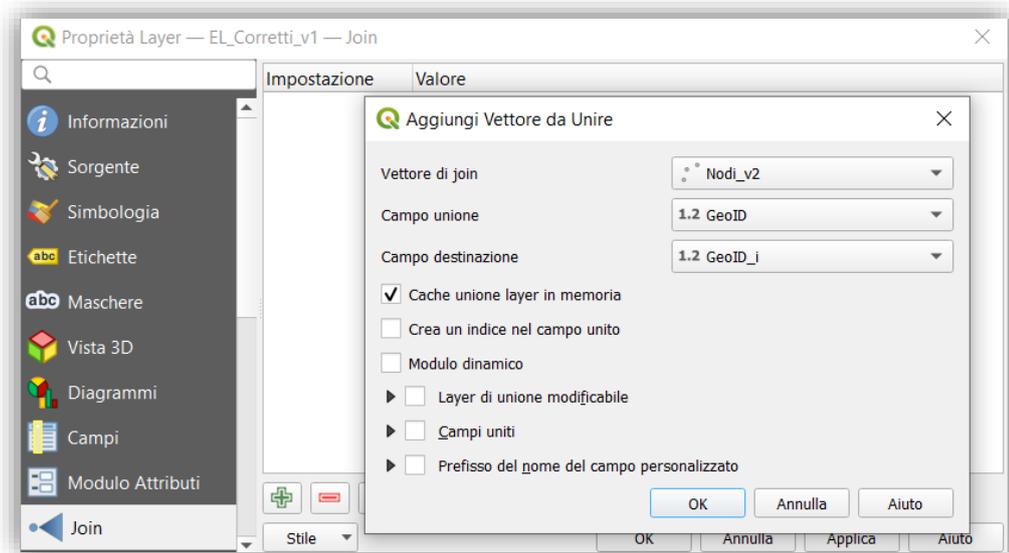


Figura 5-25 Associazione della *N_Class* agli estremi iniziali dei segmenti del vettore *EL_Corretti_v1*

- Conseguentemente si trascrive la *N_Class* all'interno di una nuova colonna "Nodo_i", Tabella 5-20.

Tabella 5-20 Trascrizione della *N_Class* degli estremi iniziali dei segmenti del vettore *EL_Corretti_v1*

EL_Corretti_v1 – Calcolatore di Campi	
Nome campo	Nodo_i
Tipo campo	String(4)
Formula	"Nodi_v2_N_Class"

Costruzione del grafo di riferimento

- Si effettua lo stesso procedimento utilizzando, questa volta, GeoID_f per il campo di unione del join, Figura 5-26, e trascrivendo il risultato in una nuova colonna "Nodo_f", Tabella 5-21.

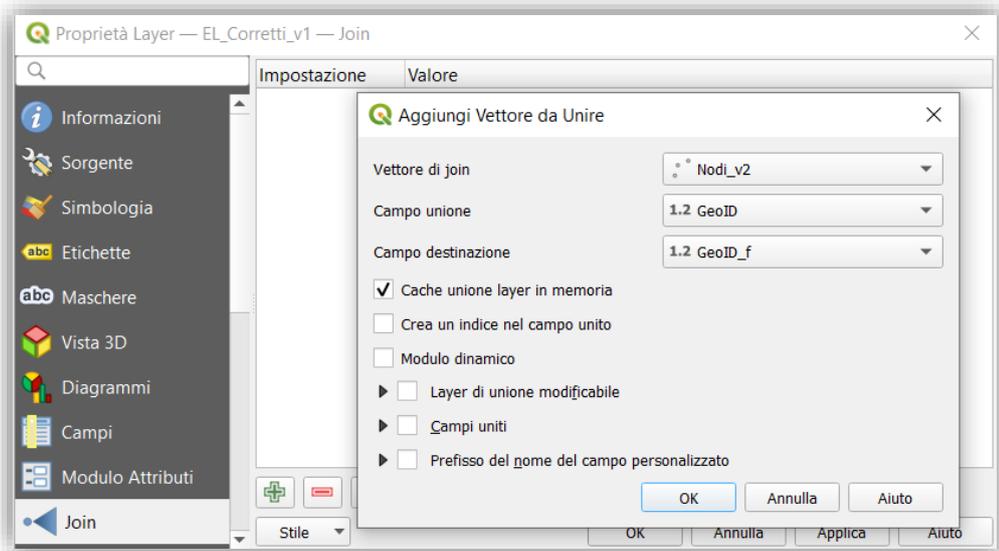


Figura 5-26 Associazione della N_Class agli estremi finali dei segmenti del vettore EL_Corretti_v1

Tabella 5-21 Trascrizione della N_Class degli estremi finali dei segmenti del vettore EL_Corretti_v1

EL_Corretti_v1 – Calcolatore di Campi	
Nome campo	Nodo_f
Tipo campo	String(4)
Formula	"Nodi_v2_N_Class"

3. Prima di procedere oltre è opportuno verificare che non siano presenti dei loop residui collegati alle estremità dei percorsi della rete. La verifica si può effettuare selezionando le features del vettore *EL_Corretti_v1* tramite l'espressione "GeoID_i" = "GeoID_f" per, poi, valutarne l'effettiva rilevanza e stabilirne l'eventuale rimozione.

Nel caso in esame si individua un solo elemento ad anello per cui, a seguito di una supervisione, se ne stabilisce l'eliminazione, Figura 5-27.

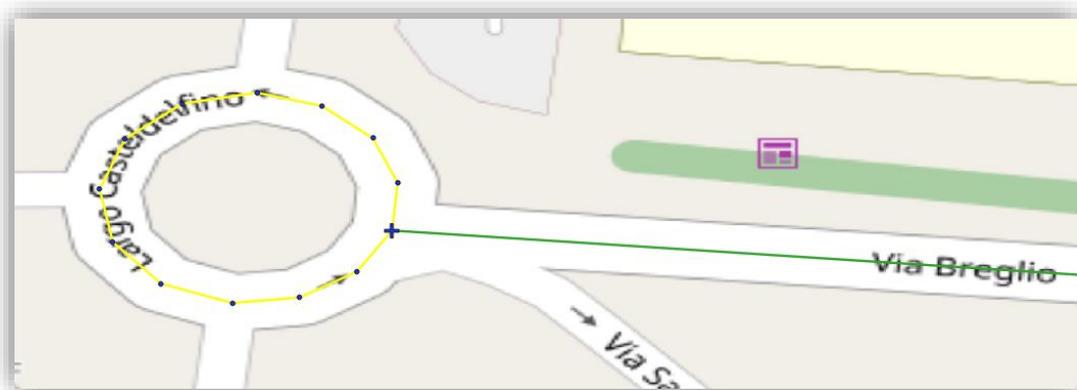


Figura 5-27 Eliminazione del loop residuo individuato sul vettore EL_Corretti_v1

A seguito dell'eliminazione del loop occorre eliminare i vertici ad esso associati ed aggiornare la N_Class del nodo di congiunzione da CONT a ESTR, Figura 5-28.



Figura 5-28 Eliminazione ed aggiornamento dei vertici di Nodi_v2 associati a loop rimosso

4. Sul vettore *EL_Corretti_v1* si possono distinguere, a questo punto, gli archi già completi da quelli incompleti, ragionando sulla classificazione dei nodi di estremità:

- Si selezionano, innanzitutto, gli elementi completi tramite l'espressione "*Nodo_i*" <> 'CONT' and "*Nodo_f*" <> 'CONT' e, successivamente, si assegna alla selezione un nuovo identificativo univoco, aggiungendo il campo "Arco" come mostrato in Tabella 5-22.

Tabella 5-22 Attribuzione di un identificativo associato agli archi completi selezionati sul vettore *EL_Corretti_v1*

Archi_Completi – Calcolatore di Campi	
Nome campo	Arco
Tipo campo	String(10)
Formula	@row_number

- Per snellire la fase successiva di aggregazione si possono, quindi, isolare gli elementi incompleti, invertendo la selezione ("*Nodo_i*" = 'CONT' or "*Nodo_f*" = 'CONT') e salvandola come *Archi_Incompleti.shp*.

Si fa notare che su 11499 elementi contenuti in *EL_Corretti_v1* ben 5692 risultano come archi già completi.

5. Si passa, ora, all'aggregazione degli elementi contenuti in *Archi_Incompleti* trasferendo, temporaneamente, l'analisi sul file *CostruzioneArchi.xlsx* appositamente predisposto a questo scopo.

Si fa presente, innanzitutto, che i campi necessari per procedere con questa fase sono:

- oneway → verso di percorrenza;
- Geoid_i → identificativo del nodo iniziale del segmento;
- Geoid_f → identificativo del nodo finale del segmento;
- EL_ID → identificativo dell'elemento stradale;
- Nodo_i → classe del nodo iniziale del segmento;
- Nodo_f → classe del nodo finale del segmento.

È, quindi, necessario copiare il contenuto delle suddette colonne dal file *Archi_Incompleti.dbf* ed incollarlo sul foglio *Archi_Incompleti* del file *CostruzioneArchi.xlsx*, Tabella 5-23.

Tabella 5-23 *CostruzioneArchi.xlsx* - Foglio *Archi_Incompleti*

	A	B	C	D	E	F	G
1	oneway	GeoID_i	GeoID_f	EL_ID	Nodo_i	Nodo_f	Elemento
2	B	412.2308238968	412.2605461464	1	CONT	CONT	med
3	B	411.9192085075	412.2308238968	2	CONT	CONT	med
4	B	396.8290787920	396.9660975962	6	INT	CONT	estr
5	B	407.0830522027	407.1244791748	7	CONT	CONT	med
6	B	407.1244791748	407.2557585889	8	CONT	INT	estr
7	F	415.0597712932	415.0784470276	10	INT	CONT	estr
8	F	415.0784470276	415.0444139475	11	CONT	INT	estr
9	F	415.1267458861	415.1059697279	12	CONT	INT	estr
...

Su tale foglio occorrerà eseguire 2 operazioni:

- Convertire gli EL_ID, contenuti in colonna D, da testo a numero, selezionando tutti i valori ed agendo sull'icona con il punto esclamativo, Figura 5-29.

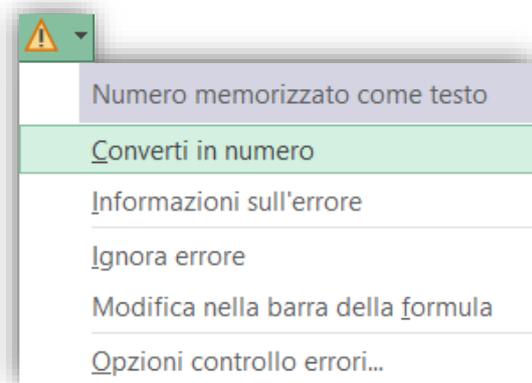


Figura 5-29 Conversione degli EL_ID memorizzati come testo in numeri

- Differenziare gli elementi in segmenti medi o di estremità trascinando la Formula 5-2 presente in G2 sino all'ultima riga piena.

Formula 5-2 Espressione presente nella cella G2 del foglio *Archi_Incompleti* – *CostruzioneArchi.xlsx*

=SE(E(E2="CONT";F2="CONT");"med";"estr")

Passando al foglio *Unione*, Tabella 5-24 e Tabella 5-26, saranno necessarie alcune semplici operazioni preliminari prima di lasciare al software di calcolo il resto del lavoro:

- Ricordando che 5692 archi sono già stati classificati come completi, si inserirà il numero del primo arco da completare nella cella A2 e, quindi, 5693.
- Le formule, già inserite nelle prime due righe, sono da aggiornare sostituendo, con lo strumento "Trova e sostituisci", il valore dell'ultima riga presente negli intervalli che fanno riferimento al foglio *Archi_Incompleti*. Nel caso in esame gli elementi incompleti sono 5807 e, contando l'intestazione, il valore da inserire sarà, pertanto, 5808.

- Selezionare, infine, le caselle piene della riga 3 e trascinarle verso il basso sino alla riga con numero pari al totale di elementi incompleti aumentato di 1 che, in questo caso, è sempre 5808.

Tabella 5-24 CostruzioneArchi.xlsx - Foglio Unione (blocco principale)

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Arco	EL_ID	GeoID_i	GeoID_f	Nodo_i	Nodo_f	oneway	Elem
2	5693	6	396.8290787920	396.9660975962	INT	CONT	B	estr
3	5693	6583	396.9660975962	397.5014057054	CONT	INT	B	estr
4	5694	8	407.1244791748	407.2557585889	CONT	INT	B	estr
5	5694	7	407.0830522027	407.1244791748	CONT	CONT	B	med
6	5694	5893	406.1489292766	407.0830522027	CONT	CONT	B	med
7	5694	5022	404.8263791329	406.1489292766	CONT	CONT	B	med
8	5694	898	404.5730099887	404.8263791329	CONT	CONT	B	med
9	5694	537	404.4921428301	404.5730099887	CONT	CONT	B	med
10	5694	538	404.3655794476	404.4921428301	INT	CONT	B	estr
...

Si fornisce, in primis, un commento sulle formule utilizzate nel blocco principale del foglio *Unione*, quelle riportate in Tabella 5-24 con l'intestazione evidenziata in azzurro:

- Si fa presente, innanzitutto, che le formule presenti dalla colonna C ad H sono tutte dipendenti esclusivamente da EL_ID e servono per riportare gli attributi di tale elemento estratti dal foglio *Archi_Incompleti*. La formulazione è dunque analoga e l'unico valore che varia da una colonna alla successiva è il numero **Nc** della colonna da cui estrarre l'attributo desiderato, Formula 5-3.

Formula 5-3 Espressione presente nelle celle dell'intervallo C2:H2 del foglio *Unione* – *CostruzioneArchi.xlsx*

```
=INDICE(Archi_Incompleti!$A$1:$G$5808;CONFRONTA(B2;Archi_Incompleti!$D$1:$D$5808;0);Nc)
```

Per ottenere, ad esempio, il GeoID_i occorre sostituire ad **Nc** il numero 2, corrispondente alla colonna del foglio *Archi_Incompleti* contenente tale attributo (Tabella 5-23).

- Passando alla colonna A, contenente la numerazione degli archi, si ricorda che il primo valore presente in A2, cella evidenziata in giallo, va inserito manualmente in modo tale da proseguire con la numerazione già introdotta per gli archi completi, Tabella 5-22.

Dalla cella A3 in poi la numerazione è invece determinata attraverso la Formula 5-4.

Formula 5-4 Espressione presente nella cella dell'intervallo A3 del foglio *Unione* – *CostruzioneArchi.xlsx*

```
=SE(CONTA.PIÙ(SE($A$2:A2;A2;$H$2:H2;"estr")=2;A2+1;A2)
```

La Formula 5-4 determina se l'arco della riga precedente è già stato completato valutando se per esso sono già stati individuati 2 elementi di estremità; in tal caso la numerazione dell'arco corrente viene incrementata di 1 oppure, in caso contrario, rimane pari al numero raggiunto nella riga superiore.

- In colonna B si svolge il passaggio chiave del problema, ovvero, l'individuazione degli EL_ID da interconnettere.

La prima cella B2, evidenziata in giallo, ricerca il primo elemento di estremità presente sul foglio *Archi_Incompleti* attraverso la Formula 5-5, segnando, così, l'inizio effettivo della fase di aggregazione.

Formula 5-5 Espressione presente nella cella dell'intervallo B2 del foglio Unione – CostruzioneArchi.xlsx

```
=INDICE(Archi_Incompleti!$D$2:$D$5808;  
CONFRONTA("estr";Archi_Incompleti!$G$2:$G$5808;0))
```

Dalla cella B3 in poi il problema si complica e l'elemento ricercato viene individuato attraverso la Formula 5-6.

Formula 5-6 Espressione presente nella cella dell'intervallo B3 del foglio Unione – CostruzioneArchi.xlsx

```
=SE(E(A3=A2;C2<>C1;C2<>D1;E2="CONT");  
FILTRO(Archi_Incompleti!$D$2:$D$5808;(Archi_Incompleti!$D$2:$D$5808<>B2)*(((Archi_Inc  
ompleti!$B$2:$B$5808=C2)*(Archi_Incompleti!$E$2:$E$5808="CONT"))+((Archi_Incompleti!  
$C$2:$C$5808=C2)*(Archi_Incompleti!$F$2:$F$5808="CONT"))));  
SE(E(A3=A2;D2<>C1;D2<>D1;F2="CONT");  
FILTRO(Archi_Incompleti!$D$2:$D$5808;(Archi_Incompleti!$D$2:$D$5808<>B2)*(((Archi_Inc  
ompleti!$B$2:$B$5808=D2)*(Archi_Incompleti!$E$2:$E$5808="CONT"))+((Archi_Incompleti!  
$C$2:$C$5808=D2)*(Archi_Incompleti!$F$2:$F$5808="CONT"))));  
MIN(SE(Archi_Incompleti!$G$2:$G$5808="estr";SE(CONTA.SE($B$1:B2;Archi_Incompleti!$D$  
2:$D$5808)=0;Archi_Incompleti!$D$2:$D$5808;FALSO);FALSO))))
```

Per meglio comprendere il significato della Formula 5-6 conviene suddividerla in 3 macro-blocchi da analizzare singolarmente:

Il primo blocco, evidenziato in rosso, risponde al verificarsi della prima condizione che, tradotta in linguaggio umano, verifica se l'elemento da cercare va connesso al nodo iniziale dell'elemento precedente (cella C2). La condizione è verificata se l'arco corrente non è ancora completo (A3=A2), il nodo iniziale è di continuità (E2="CONT") e non è già connesso con l'elemento precedente (C2<>C1 e C2<>D1).

L'elemento viene, dunque, individuato filtrando gli EL_ID del foglio *Archi_Incompleti* che hanno estremo iniziale o finale classificato come CONT e stesso GeoID del nodo a cui vanno connessi. Il filtro esclude, inoltre, l'EL_ID dell'elemento precedentemente inserito per evitare che il calcolo entri in un loop in cui il segmento viene interconnesso con sé stesso infinite volte. Si noti che l'uso avanzato della funzione FILTRO prevede l'utilizzo del segno + come operatore logico O ed il segno * come operatore logico E.

Il secondo blocco, in blu, è del tutto analogo al primo ma, questa volta, si valuta se la connessione deve essere effettuata con il nodo finale dell'elemento precedente (cella D2).

Il terzo blocco, in verde, entra in gioco quando nessuna delle precedenti condizioni è verificata, ovvero, quando l'arco precedente è completo e deve, quindi, cominciare l'aggregazione degli elementi di un nuovo arco. In tal caso viene cercato sul foglio *Archi_Incompleti* l'elemento con il valore di EL_ID più basso (funzione MIN()), classificato come elemento di estremità (Archi_Incompleti!\$G\$2:\$G\$5808="estr") che non sia già stato inserito in precedenza (CONTA.SE(\$B\$1:B2;Archi_Incompleti!\$D\$2:\$D\$5808)=0).

Giunti a questo punto gli elementi che vengono elencati in colonna B potrebbero essere aggregati in base alla numerazione dell'arco di appartenenza presente in colonna A. Si fa presente, però, che sino ad ora non è stato preso in considerazione l'attributo oneway senza il cui contributo l'aggregazione avverrebbe in maniera disordinata compromettendo il verso di percorrenza della geometria risultante.

Nella Tabella 5-25 vengono illustrati i possibili risultati di un'aggregazione di elementi stradali effettuata variando l'ordine di aggregazione ed il verso di percorrenza dei singoli segmenti.

Tabella 5-25 Aggregazione di più segmenti stradali in un arco del grafo – Casi possibili

LEGENDA	
INT_i INT_f	Rappresentano rispettivamente le intersezioni iniziale e finale collegate dall'arco
	Rappresentano l'orientamento del singolo elemento stradale che costituisce l'arco
1°	Indica l'ordine con cui gli elementi stradali vengono aggregati
	Indica la numerazione dei vertici che costituiscono i singoli elementi lineari
	Indica il concatenamento di due elementi successivi

Orientamento ed ordine di aggregazione errati	
Orientamento errato ed ordine di aggregazione corretto	
Orientamento corretto ed ordine di aggregazione errato	
Orientamento ed ordine di aggregazione corretti	

Come mostrato in Tabella 5-25, l'unico risultato corretto è quello che produce un percorso i cui vertici risultino ordinati in senso crescente dall'intersezione iniziale a quella finale. Per ottenere tale risultato sarà, dunque, necessario stabilire il corretto ordine di aggregazione e l'orientamento dei singoli segmenti di strada.

Si fornisce, a questo scopo, un commento sulle formule utilizzate nel secondo blocco del foglio *Unione*, quelle riportate in Tabella 5-26.

Tabella 5-26 CostruzioneArchi.xlsx - Foglio Unione (blocco secondario)

	I	J	K	L	M
1	Order	inv	inv2	Order2	oneway2
2	1	FALSO	FALSO	1	B
3	2	FALSO	FALSO	2	B
4	7	FALSO	FALSO	7	B
5	6	FALSO	FALSO	6	B
6	5	FALSO	FALSO	5	B
7	4	FALSO	FALSO	4	B
8	3	FALSO	FALSO	3	B
9	2	FALSO	FALSO	2	B
10	1	FALSO	FALSO	1	B
...

- Nella colonna I si effettua un primo tentativo di ordinamento basato semplicemente sull'orientamento degli elementi di estremità: se l'elemento di estremità ha nodo iniziale INT e finale CONT allora è il primo elemento, altrimenti è l'ultimo (CONTA.SE(A:A;A2)).

I segmenti intermedi, invece, seguiranno l'ordine dettato dagli elementi precedenti che può condurre a 3 casi:

- L'elemento precedente è a sua volta un elemento medio e quindi l'ordine del segmento corrente sarà pari al valore raggiunto più l'incremento (positivo o negativo) riscontrato nelle due righe superiori ($I2+(I2-I1)$);
- Il segmento precedente è la prima estremità dell'arco e, quindi, l'elemento corrente avrà ordine crescente ($I2+1$);
- Il segmento precedente è l'ultima estremità dell'arco e, quindi, l'elemento corrente avrà ordine decrescente ($I2-1$).

Si noti, infine, che per il primo termine dell'elenco la valutazione dell'ordine degli elementi precedenti è insensata e, per questa ragione, la Formula 5-7 contenuta in I2, la cella evidenziata in giallo, differisce dalla Formula 5-8 contenuta in I3.

Formula 5-7 Espressione presente nella cella I2 del foglio Unione – CostruzioneArchi.xlsx

=SE(E(H2="estr";F2="CONT");1;CONTA.SE(A:A;A2))

Formula 5-8 Espressione presente nella cella I3 del foglio Unione – CostruzioneArchi.xlsx

=SE(H3="estr";SE(F3="CONT";1;CONTA.SE(A:A;A3));SE(H2="med";I2+(I2-I1);SE(I2=1;I2+1;I2-1)))

- In colonna J si valuta se il singolo segmento deve essere invertito per rispettare l'ordinamento di primo tentativo, Formula 5-9.

Formula 5-9 Espressione presente nella cella J2 del foglio Unione – CostruzioneArchi.xlsx

=SE(E(H2="estr";A2<>A1);SE(O(E(I2=1;D2=C3);E(I2>1;C2=D3));FALSO;SE(G2="B";VERO;FALSO));SE(O(E(J1=FALSO;O(D1=C2;C1=D2));E(J1=VERO;O(C1=C2;D1=D2)));FALSO;SE(G2="B";VERO;"err")))

Spiegando la logica di base della Formula 5-9 si può dire che:

- il verso è corretto quando la connessione di due elementi avviene tra due estremi opposti (iniziale-finale o finale-iniziale) oppure tra estremi simili (iniziale-iniziale o finale-finale) quando uno dei due elementi è invertito;
 - quando il verso risulta errato è possibile invertirlo solo se l'attributo oneway è pari a "B";
 - se l'elemento che si sta valutando è il primo si osserva la connessione con il secondo e se l'inversione è necessaria ma non effettuabile allora si mantiene il verso corrente con l'idea di intervenire invertendo l'elemento successivo;
 - se non si sta valutando il primo elemento allora si osserva la connessione con il segmento precedente e se l'inversione è necessaria ma non effettuabile allora si è in presenza di un errore.
- In colonna K si effettua un secondo tentativo di determinazione dei versi di percorrenza con l'intento di correggere gli eventuali errori presenti in colonna J, Formula 5-10.

Formula 5-10 Espressione presente nella cella K2 del foglio Unione – CostruzioneArchi.xlsx

```
=SE(CONTA.PIÙ.SE(A:A;A2;J;"err")=0;J2;SE(J2="err";FALSO;SE(E(G2="B";J2=FALSO);VERO;SE(E(G2="B";J2=VERO);FALSO;"err"))))
```

In questo caso il ragionamento è il seguente:

- quando su un generico arco l'orientamento di primo tentativo, colonna J, non presenta errori allora viene mantenuto tale anche in colonna K;
 - se, invece, il generico arco contiene un errore di orientamento allora in K si riporta l'inverso del valore presente in J, a patto che l'attributo oneway lo permetta;
 - se, infine, l'inversione non è permessa allora si è nuovamente in presenza di un errore.
- In colonna L si effettua un secondo tentativo di ordinamento, questa volta basato sulla valutazione delle interconnessioni tra elementi successivi, Formula 5-11.

Formula 5-11 Espressione presente nella cella L2 del foglio Unione – CostruzioneArchi.xlsx

```
=SE(K2=FALSO;  
SE(H2="estr";SE(F2="CONT";1;CONTA.SE(A:A;A2));SE(O(E(K1=FALSO;D1=C2);E(K1=VERO;C1=C  
2));L1+1;L1-1));  
SE(H2="estr";SE(F2="CONT";CONTA.SE(A:A;A2);1);SE(O(E(K1=FALSO;D1=D2);E(K1=VERO;C1=D  
2));L1+1;L1-1)))
```

La Formula 5-11 mette in pratica il seguente ragionamento:

- se l'elemento corrente non è invertito ed è un'estremità che si connette al segmento successivo attraverso l'estremo finale allora è il 1° elemento, se si connette attraverso l'estremo iniziale allora è l'ultimo;
- se l'elemento corrente è invertito ed è un'estremità il caso è opposto al precedente;
- se l'elemento corrente non è invertito, non è un'estremità e si connette al precedente attraverso l'estremo iniziale, allora ha ordinamento crescente (L1+1), se si connette attraverso l'estremo finale ha ordinamento decrescente (L1-1);
- se l'elemento corrente è invertito e non è un'estremità il caso è opposto al precedente;

Costruzione del grafo di riferimento

- Nella colonna M, infine, si valuta se l'attributo oneway è costante lungo tutto l'arco ed in caso contrario si riporta "F". Basta, infatti, che un solo segmento sia a senso unico per impedire la percorribilità dell'arco nella direzione opposta, Formula 5-12.

Formula 5-12 Espressione presente nella cella M2 del foglio Unione – CostruzioneArchi.xlsx

```
=SE(CONTA.SE($A$2:$A$5808;A2)=CONTA.PIÙ.SE($A$2:$A$5808;A2;$G$2:$G$5808;G2);  
G2;"F")
```

Terminata l'elaborazione dei risultati si riscontra un errore residuo sull'orientamento di secondo tentativo ed, in seguito ad una rapida verifica puntuale dell'elemento coinvolto, se ne stabilisce l'inversione forzata del verso di percorrenza, ritenuto errato già sui dati di input, Figura 5-30.



Figura 5-30 Disamina dell'elemento EL_ID 6458 (osm_id 569880446) del vettore EL_Corretti_v1

Come risulta evidente dalla Figura 5-30, infatti, l'elemento 6458 è stato contrassegnato con il verso di percorrenza errato: esso costituisce, senza dubbio, una corsia di uscita dalla rotatoria e si osserva, inoltre, che rispettando le direzioni di percorrenza designate la connessione con l'elemento 6571 risulterebbe impossibile.

A questo punto le colonne A, B, K, L, M del foglio *Unione*, contenenti la numerazione dell'arco, l'EL_ID, l'orientamento e l'ordine di aggregazione di secondo tentativo e l'attributo oneway globale, possono essere salvate sul file *Archi.csv* per essere successivamente importate su Q-GIS.

6. Una volta importato il file *Archi.csv*, risultante dalle elaborazioni condotte su *CostruzioneArchi.xlsx*, la procedura può proseguire su Q-GIS.

È necessario, in primo luogo, trasferire il contenuto di *Archi.csv* al layer *EL_Corretti_v1* così da poter, successivamente, sfruttare le informazioni ottenute per intervenire sull'orientamento e sull'ordine di aggregazione ed, infine, effettuare l'effettiva aggregazione delle geometrie.

Si effettua, quindi, l'unione del layer testuale *Archi* con il vettore *EL_Corretti_v1*, selezionando *EL_ID* per i campi di unione e destinazione, Figura 5-31.

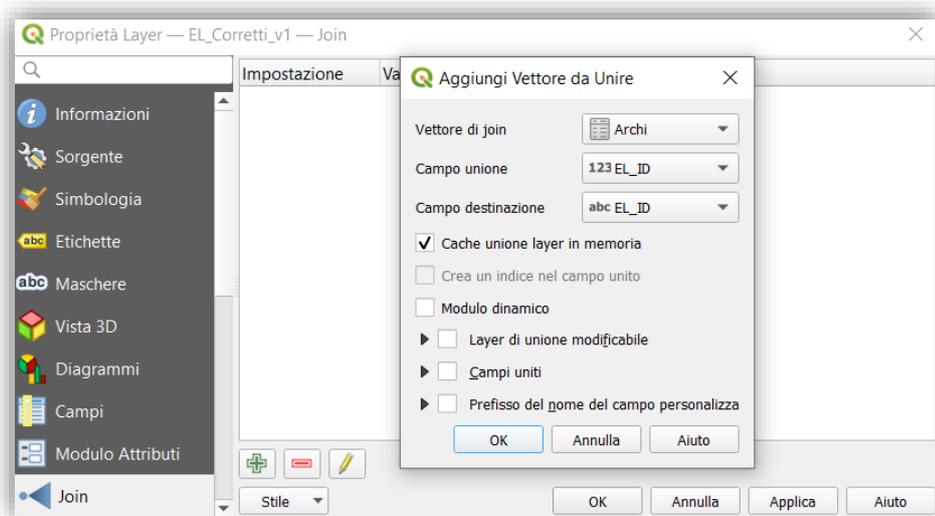


Figura 5-31 join di *EL_Corretti_v1* con *Archi.csv* attraverso l'attributo *EL_ID*

Una volta eseguito il join il trasferimento può essere effettuato tramite il calcolatore di campi, Tabella 5-27.

Tabella 5-27 Trasferimento dei risultati riportati su *Archi.csv* al vettore *EL_Corretti_v1*

EL_Corretti_v1 – Calcolatore di Campi	
Aggiorna campo esistente	Arco
Tipo campo	String(10)
Formula	if("Arco" is null, "Archi_Arco", "Arco")

EL_Corretti_v1 – Calcolatore di Campi	
Nome campo	INV
Tipo campo	String(1)
Formula	if("Archi_inv" = 'VERO', 'T', 'F')

EL_Corretti_v1 – Calcolatore di Campi	
Nome campo	Order
Tipo campo	Integer(2)
Formula	if("Archi_Order" is null, 1, "Archi_Order")

Tabella 5-27 Trasferimento dei risultati riportati su Archi.csv al vettore EL_Corretti_v1

EL_Corretti_v1 – Calcolatore di Campi	
Nome campo	AGG_oneway
Tipo campo	String(1)
Formula	"Archi_oneway"

- In questa fase si esegue l'inversione dei sensi di marcia dei segmenti stradali che lo richiedono, ovvero, quelli che nel campo INV assumono valore pari a T (true).

Si selezionano gli elementi del layer *EL_Corretti_v1* tramite l'espressione "INV" = 'T', per poi eseguire la funzione "Inverti verso linea" spuntando l'opzione "Solo elementi selezionati", Figura 5-32.

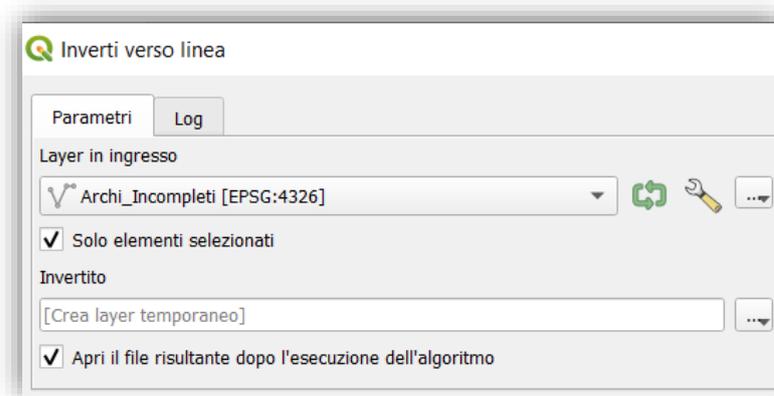


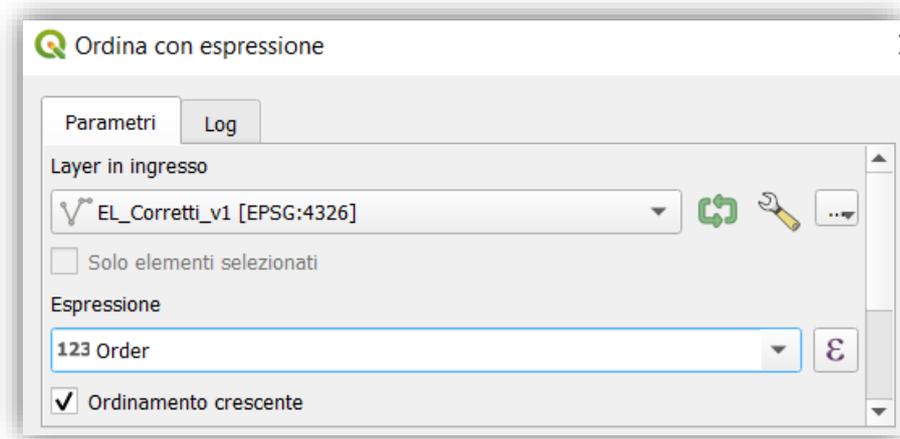
Figura 5-32 Inversione delle linee selezionate dal vettore *EL_Corretti_v1*

Quindi si rimuovono dal layer *EL_Corretti_v1* gli elementi selezionati ed, infine, si esporta il vettore *Invertito* sul file *EL_Corretti_v1.shp* selezionando "Aggiungi al layer".

Agendo in questo modo gli elementi che necessitano di essere invertiti vengono sostituiti con le geometrie corrette.

- Si è riscontrato che il comando "Aggrega" di Q-GIS segue l'ordine con cui gli elementi sono elencati all'interno della tabella attributi. Una aggregazione condotta in questo modo non produrrebbe un risultato valido ai fini di questa procedura, come precedentemente illustrato in Tabella 5-25.

Questo passaggio, dunque, è finalizzato a riordinare l'elenco di elementi del layer *EL_Corretti_v1* in base all'ordine di aggregazione stabilito. È sufficiente, a tal fine, utilizzare il comando "Ordina con espressione" selezionando il campo Order come espressione di ordinamento, Figura 5-33.

Figura 5-33 Ordinamento degli elementi del vettore *EL_Corretti_v1*

Al termine dell'ordinamento si esporta il vettore *Ordinato* sul file *EL_Corretti_v1.shp* selezionando, questa volta, "Sovrascrivi File".

9. Il concatenamento degli attributi è possibile solo quando essi sono memorizzati come stringhe. Come anticipato si desidera concatenare i campi *EL_ID*, *L [m]* e *maxspeed* per conservare le informazioni base degli elementi costituenti la geometria risultante. Si rende necessario, dunque, convertire i campi *L [m]* e *maxspeed*, memorizzati in formato numerico, in stringhe prima di procedere con l'aggregazione.

Per ottimizzare il processo e ridurre il numero di operazioni, è consigliabile iniziare già a predisporre il file che conterrà il risultato finale:

- A. si esporta il layer *EL_Corretti_v1*, riaggiornato al punto 8, come *Archi.shp*;
- B. sul nuovo vettore *Archi* si rimuovono le colonne superflue conservando solo i campi *Arco*, *EL_ID*, *L [m]*, *maxspeed* e *oneway*;
- C. sfruttando il calcolatore di campi si può copiare il contenuto originale delle colonne generando nuovi campi memorizzati come stringa; si eseguano, dunque, le istruzioni descritte in Tabella 5-28 nell'ordine in cui sono riportate.

Tabella 5-28 Conversione dei campi numerici in stringhe e sistemazione del vettore *Archi*

Archi – Calcolatore di Campi	
Nome campo	AGG_EL_ID
Tipo campo	String(10)
Formula	"EL_ID"

Archi – Calcolatore di Campi	
Nome campo	AGG_L [m]
Tipo campo	String(11)
Formula	"L [m]"

Tabella 5-28 Conversione dei campi numerici in stringhe e sistemazione del vettore Archi

Archi – Calcolatore di Campi	
Nome campo	AGG_speed
Tipo campo	String(3)
Formula	"maxspeed"

Archi – Calcolatore di Campi	
Nome campo	AGG_oneway
Tipo campo	String(1)
Formula	"oneway"

D. si rimuovono, infine, i campi EL_ID, L [m], maxspeed e oneway così da ottenere la tabella attributi organizzata come mostrato in Figura 5-34.

	Arco	AGG_EL_ID	AGG_L [m]	AGG_speed	AGG_oneway
1	F	3	101.03	50	F
2	2	4	632.664	40	F
3	3	5	680.778	40	F

Figura 5-34 Layout risultante della tabella attributi del layer Archi

10. Una volta convertiti i campi numerici in stringhe il layer *Archi* può, dunque, essere aggregato. L'operazione viene effettuata attraverso il comando "Aggrega", selezionando Arco come espressione di aggregazione ed impostando i campi di output come mostrato in Figura 5-35.

	Espressione Sorgente	Funzione Aggregazione	Delimitatore	Nome	Tipo	Lunghezza
0	abc Arco	ε first_value	,	Arco	abc Testo (stringa)	10
1	abc EL_ID	ε concatenate	,	AGG_EL_ID	abc Testo (stringa)	250
2	abc AGG_L [m]	ε concatenate	,	AGG_L [m]	abc Testo (stringa)	350
3	abc AGG_speed	ε concatenate	,	AGG_speed	abc Testo (stringa)	150
4	abc AGG_oneway	ε first_value	,	AGG_oneway	abc Testo (stringa)	1

Figura 5-35 Aggregazione dei segmenti stradali contenuti sul layer Archi secondo l'attributo Arco

Prima di procedere oltre occorre far presente che la lunghezza massima di una stringa, memorizzata all'interno della tabella attributi, è di 254 caratteri. Durante l'operazione di aggregazione, mostrata in Figura 5-35, si è riscontrato che per il concatenamento degli AGG_L [m] il nuovo campo risultante deve necessariamente trascendere tale limite.

Il vettore *Aggregato* è in grado di mantenere in memoria tutte le informazioni derivate dal concatenamento degli attributi, anche se eccedono il limite di 254 caratteri, ma esclusivamente in forma temporanea; in fase di esportazione, infatti, il software ristabilisce tale limitazione troncando tutte le stringhe che superano la lunghezza massima.

Per risolvere l'inconveniente occorre, dunque, ripartire gli elementi dei campi con lunghezza maggiore di 254, in questo caso AGG_L [m], su due colonne distinte, prima di effettuare l'esportazione del vettore.

È possibile effettuare tale operazione generando e compilando due nuove colonne attraverso il calcolatore di campi, come mostrato in Tabella 5-29.

Tabella 5-29 Ripartizione del campo AGG_L [m] in 2 colonne di lunghezza inferiore a 254 caratteri

Aggregato – Calcolatore di Campi	
Nome campo	AGG_L [m]1
Tipo campo	String(254)
Formula	if(length("AGG_L [m]") <= 254, "AGG_L [m]", array_to_string(array_slice(string_to_array("AGG_L [m]", ','), 0, floor(array_length(string_to_array("AGG_L [m]", ','))/2))))

Aggregato – Calcolatore di Campi	
Nome campo	AGG_L [m]2
Tipo campo	String(254)
Formula	if(length("AGG_L [m]") <= 254, null , array_to_string(array_slice(string_to_array("AGG_L [m]", ','), floor(array_length(string_to_array("AGG_L [m]", ','))/2 + 1), -1))

Il vettore *Aggregato*, così ottenuto e sistemato, può quindi essere esportato sovrascrivendo il file *Archi.shp*.

Con questo step la costruzione degli archi del grafo OSM può dirsi conclusa ed il layer *Archi* risultante sarà un vettore contenente 7551 elementi lineari, che andranno a collegare i 4926 nodi del grafo (4819 INT + 107 ESTR), Figura 5-37.

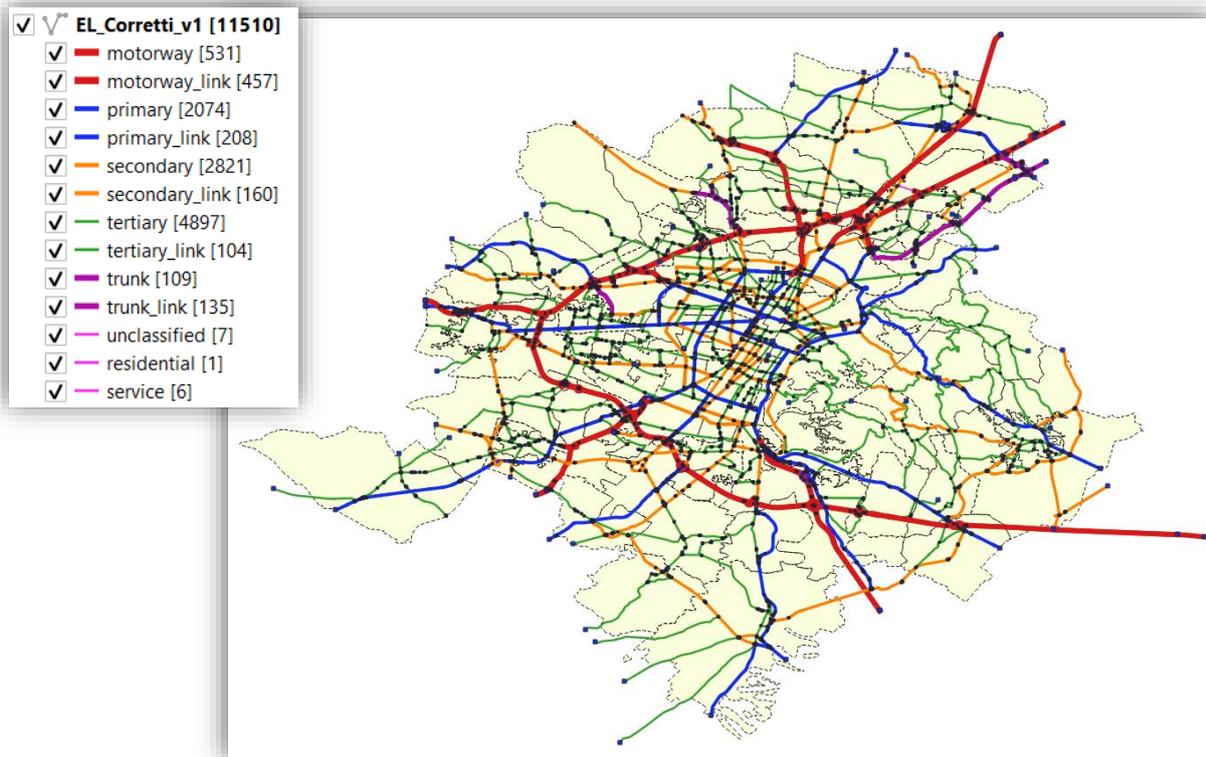


Figura 5-36 Vettore EL_Corretti_v1 categorizzato rispetto l'attributo fclass

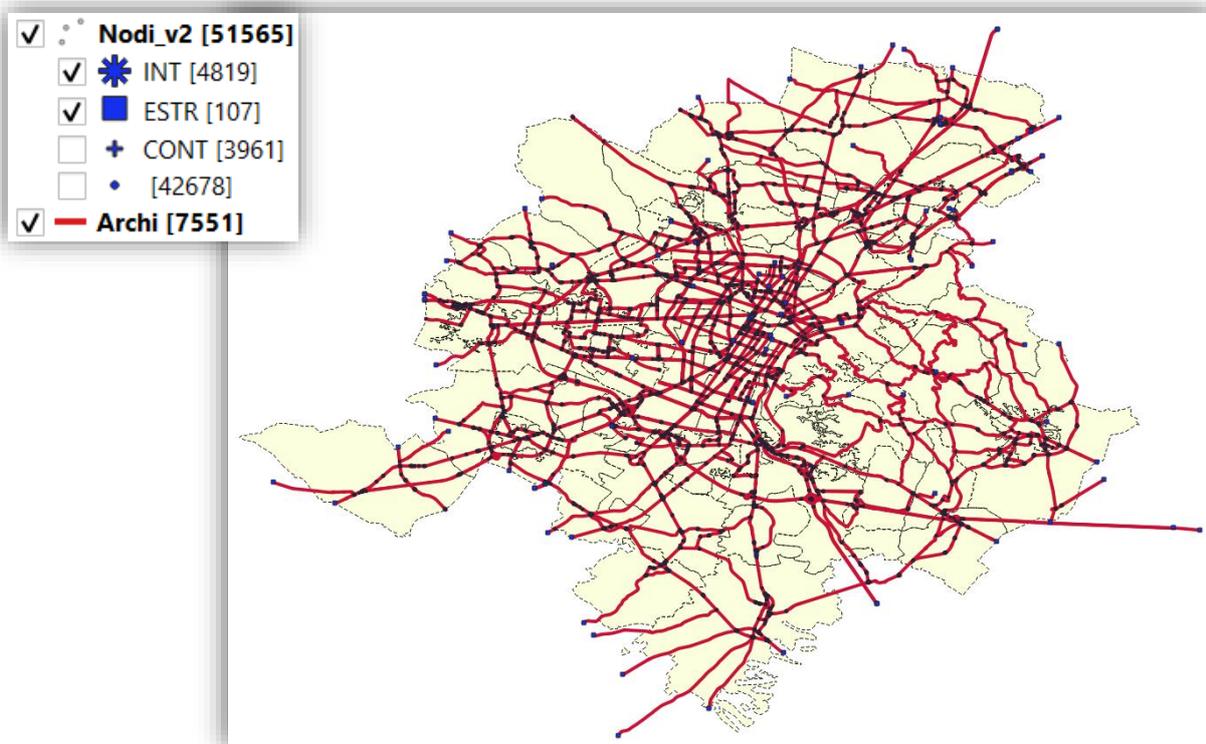


Figura 5-37 Archi risultanti dall'aggregazione degli elementi OSM

5.2. Grafo BDTRE

Come anticipato all'inizio del capitolo 5, è possibile ottenere il grafo BDTRE presso il *Geoportale del Piemonte (CSI Piemonte, 2021)*⁴⁴, recandosi al fondo della pagina e cliccando sul bottone "Apri link" presente nel riquadro "Dati in scarico SVR 2019 su Elemento Stradale BDTRE".

Così facendo verrà effettuato lo scarico dell'archivio "*DatiSVR2019_su_ElementoStradaleBDTRE.zip*" contenente i seguenti file:

- *DatiSVR2019_su_ElementoStradaleBDTRE.gpkg*
- *DatiSVR2019_su_ElementoStradaleBDTRE_metadato.pdf*
- *LicenzaCC40BY.pdf*
- *Modello_SVR.pdf*

Analizzando gli attributi del file geopackage (con estensione .gpkg) con l'ausilio delle nozioni riportate su *DatiSVR2019_su_ElementoStradaleBDTRE_metadato.pdf*, si comprende che le geometrie siano state acquisite a mezzo di elaborazioni automatiche e rilievi ortofotogrammetrici nel 2010 e successivamente aggiornate negli anni 2016 e 2020. Nonostante sul file pdf si garantisca un'accuratezza posizionale di 2 m, si è già fatto presente che il vero pregio di questo dataset non sia la rappresentazione geometrica, bensì i dati di traffico e gli attributi trasportistici dell'anno 2019 ad esso associati. I dati di maggior interesse risultano, dunque, quelli derivati, tramite procedure di "proiezione geometrica", dal Grafo Supervisore Regionale del traffico (SVR) gestito da 5T srl per conto di Regione Piemonte.

5.2.1 Grafo Supervisore Regionale del traffico (SVR)

Si propone, nel seguito, un breve cenno di come siano stati ottenuti i dati di traffico e gli attributi trasportistici successivamente proiettati sul grafo BDTRE, estrapolando le nozioni principali dal sopraccitato documento *Modello_SVR.pdf*.

Il Grafo SVR, innanzitutto, comprende tutta la rete delle Autostrade, Statali e Provinciali, più tutte le tratte urbane di scorrimento o che consentono di garantire la connettività della rete e l'accesso ai centroidi di attrazione/generazione del traffico.

Il Supervisore è basato sul modello matematico di assegnazione dinamica PTV OPTIMA in grado di ricostruire lo stato del traffico sulla rete con errori inferiori al 20% attraverso tecniche di data fusion delle seguenti fonti di dati:

1. Matrici O/D derivate dai censimenti ISTAT e dalle indagini campionarie effettuate da Regione e Agenzia della Mobilità piemontese, costantemente riaggornate;
2. Dati storici di flusso delle rilevazioni campionarie effettuate dalle Amministrazioni Provinciali sulla propria rete di competenza ed ai principali valichi di frontiera;
3. Dati di flusso in tempo reale dei sensori induttivi della Città di Torino, dei 64 sensori gestiti da Città Metropolitana di Torino e dei 136 sensori installati da Regione Piemonte sulla rete delle strade regionali/provinciali, a supporto del TOC;
4. I dati in tempo reale provenienti da fornitori nazionali di Floating Car Data.

Mentre nel Grafo SVR le informazioni sono distinte per senso di marcia, il grafo BDTRE non prevede questa distinzione, per cui i dati SVR vengono aggregati (sommati o mediati a seconda dei casi) prima di essere

⁴⁴https://www.geoportale.piemonte.it/geonetwork/srv/ita/catalog.search#/metadata/r_piemon:2bb551d2-bad8-488f-9070-07f5a65b5f11

associati agli elementi BDTRE. I due grafi (SVR e BDTRE) non sono identici, in quanto provenienti da fonti diverse, per cui il trasferimento delle informazioni da SVR a BDTRE avviene tramite la trasformazione del grafo SRV in punti a distanza regolare (1 m) e la loro associazione agli archi del grafo BDTRE, basata sul criterio della vicinanza.

Per ogni insieme di punti associati a un singolo arco BDTRE viene calcolata statisticamente la moda dei valori dell'attributo da trasferire, che rappresenta il valore del dato messo a disposizione. Il grafo SVR, inoltre, rappresenta un sottoinsieme della rete stradale del Piemonte completa. Sul grafo BDTRE sono, pertanto, valorizzati con il TGM solo gli archi corrispondenti alla sottorete presente nel grafo SVR.

I dati SVR, ricapitolando, sono stimati con un errore del 20% al quale si vanno a sommare ulteriori approssimazioni dovute all'aggregazione delle geometrie ed altre incertezze dovute alla proiezione degli attributi sugli elementi BDTRE. In questa fase del corrente elaborato, inoltre, l'accuratezza dei valori risultanti è destinata ad un ulteriore degrado dovuto alla loro riproiezione sugli elementi del grafo OSM ed all'espansione dei dati della sottorete SVR alla rete selezionata, che avverrà attraverso un processo di imputazione statistica.

Non si potrà dunque garantire una precisione elevata ma si sarà, quantomeno, in grado di fornire stime ragionevolmente differenziate per strade principali o locali ed urbane o extraurbane. Nonostante le prevedibili inesattezze questa base dati è l'unica fonte di informazioni completa e liberamente fruibile che si è riusciti ad individuare.

5.2.2 Descrizione degli attributi associati agli elementi BDTRE

Nella Tab. 3-3, riportata in appendice a pag. 312, si propone una panoramica completa degli attributi associati agli elementi BDTRE, utile per una maggiore comprensione delle possibilità di impiego e delle modalità di elaborazione messe in atto.

Le informazioni riportate in Tab. 3-3 sono state ricavate come segue:

- Nella colonna "Nome attributo" vengono elencati i campi effettivamente presenti sul file geopackage nell'ordine in cui sono riportati;
- Le colonne "Origine" e "Descrizione" condensano le informazioni presentate all'interno dei documenti *DatiSVR2019_su_ElementoStradaleBDTRE_metadato.pdf* e *Modello_SVR.pdf*;
- La colonna "Valori" riporta i valori delle principali variabili categoriche associate agli elementi BDTRE selezionati per l'area oggetto di studio.

Sempre facendo riferimento alla Tab. 3-3 si riportano le seguenti osservazioni:

- I primi 9 attributi forniscono informazioni di carattere generale circa la produzione delle geometrie BDTRE che, ad eccezione dell'*id*, non trovano impiego nella corrente analisi.
- Quasi tutti gli attributi delle geometrie BDTRE sono duplicati, poiché proposti sia in forma descrittiva che codificata. Si è scelto, per praticità, di conservare la sola forma descrittiva rimuovendo dalla tabella attributi tutti i campi "*cod_el...*".
- Per quanto riguarda gli attributi derivati dal Grafo SVR, non potendo distinguere i versi di percorrenza a e b, si è scelto di considerare solo le proprietà globali degli archi, somma o media dei valori nelle due direzioni.
- L'attributo *lunghezza* è stato, invece, trascurato in previsione di successive correzioni, modifiche ed aggregazioni delle geometrie. Si è, tuttavia, constatata una buona coincidenza tra le lunghezze misurate, tramite proiezione delle geometrie sull'EPSG 3003, e quelle riportate nella tabella attributi.

Risulta, dunque, giustificata la sostituzione di tale proprietà con il valore misurato al termine delle opportune modifiche.

Le righe evidenziate in Tab. 3-3 sono quelle di maggiore interesse per l'analisi in corso e vengono condensate nella seguente Tabella 5-30.

Tabella 5-30 Attributi di maggior rilievo associati agli elementi stradali BDTRE

Nome attributo	Origine	Descrizione	Valori
id	BDTRE	identificativo univoco dell'elemento	-
el_str_ty	BDTRE	descrizione tipo strada	<ul style="list-style-type: none"> • area a traffico non strutturato <ul style="list-style-type: none"> • di passaggio a livello • di piazza • di rampa/svincolo • di rotonda • di tronco carreggiata • di tronco ordinario di carreggiata
el_str_cf	BDTRE	descrizione classifica tecnico-funzionale	<ul style="list-style-type: none"> • autostrada • strada extraurbana principale • strada extraurbana secondaria <ul style="list-style-type: none"> • strada locale • strada urbana di quartiere • strada urbana di scorrimento
el_str_cl	BDTRE	descrizione classe di larghezza	<ul style="list-style-type: none"> • larghezza minore di 3.5 m • larghezza compresa tra 3.5 m e 7.0 m • larghezza maggiore di 7.0 m • Non conosciuto
el_str_sed	BDTRE	descrizione sede stradale	<ul style="list-style-type: none"> • a raso • in galleria • su ponte/viadotto/cavalcavia
el_str_nc	BDTRE	numero corsie	<ul style="list-style-type: none"> • 1 • 2 • 3
mfw_sum	SVR	Traffico giornaliero medio Totale veicoli sull'arco in entrambe le direzioni (veicoli/giorno)	-
capa_sum	SVR	Capacità complessiva dell'arco stradale. Espresso in veicoli/ora. Derivato come somma dei valori delle due direzioni	-
sped_med	SVR	Velocità a flusso nullo, cioè valori di velocità di percorrenza sull'arco stradale a rete scarica nelle due direzioni. Espresso in km/h.	-
aspd_max	SVR	Velocità di percorrenza media giornaliera nell'anno di riferimento sull'arco nelle due direzioni. Espresso in km/h.	-

Gli attributi mostrati in Tabella 5-30 troveranno impiego in diverse fasi dell'elaborazione:

- Gli attributi BDTRE verranno sfruttati in fase di selezione e correzione dei tracciati, oltre che come criterio di imputazione statistica;
- Gli attributi derivati dal Grafo SVR sono, invece, quelli che si desidera associare al grafo finale e saranno, innanzitutto, estesi a tutte le geometrie tramite imputazione statistica, aggregati in maniera opportuna ed associati agli archi risultanti.

Si fa notare, infine, come il metodo di proiezione geometrica adottato per l'associazione degli attributi SVR agli elementi BDTRE conduca, per quanto raffinato, a risultati sensibilmente distorti, probabilmente a causa delle forti differenze tra le due rappresentazioni. È possibile supportare tale affermazione valutando, banalmente, i campi *el_str_nc* e *nlan_svr*: mentre il numero massimo di corsie degli elementi BDTRE (*el_str_nc*) è 3, le corsie dell'elemento SVR corrispondente (*nlan_svr*) arrivano anche ad 11.

Da una rapida verifica condotta sulle geometrie selezionate all'interno dell'area di studio, si è riscontrato che il numero di corsie coincide nel 59% dei casi, differisce di ± 1 corsia nel 40% e che le discrepanze maggiori sono contenute al di sotto dell'1%.

5.2.3 Selezione degli elementi BDTRE

Come spiegato all'inizio del capitolo 5, si è effettuata per prima la sistemazione del grafo OSM perché la selezione delle strade principali è risultata più agevole grazie alla presenza dell'attributo *fclass*. In questa fase, invece, la selezione degli elementi BDTRE non può essere supportata dalla consultazione di un attributo specifico ed, inoltre, ha una finalità differente: lo scopo di questa selezione, infatti, non è l'individuazione delle strade principali, già effettuata ragionando sulle geometrie OSM, bensì la scelta degli elementi BDTRE da associare ad esse.

Si sono tentati diversi approcci per svolgere questa fase del lavoro, ragionando sulla posizione reciproca delle geometrie e sugli attributi, ma nessuno è risultato particolarmente efficace. A differenza della selezione effettuata sul grafo OSM, questa operazione necessita, dunque, di continue ed innumerevoli supervisioni manuali, tali da non permettere l'individuazione di una procedura standardizzata ed agevolmente ripetibile.

Tutti i criteri basati sugli attributi sono in realtà utili, esclusivamente, per dettare un ordine alle verifiche puntuali, mentre quelli basati sulla posizione risultano più efficaci nel filtrare le geometrie da rimuovere ma, comunque, non del tutto affidabili.

5.2.3.1 Preselezione su area rettangolare

Si fa notare, innanzitutto, che l'estensione spaziale del file *DatiSVR2019_su_ElementoStradaleBDTRE.gpkg* coinvolge l'intero Piemonte, Figura 5-38.

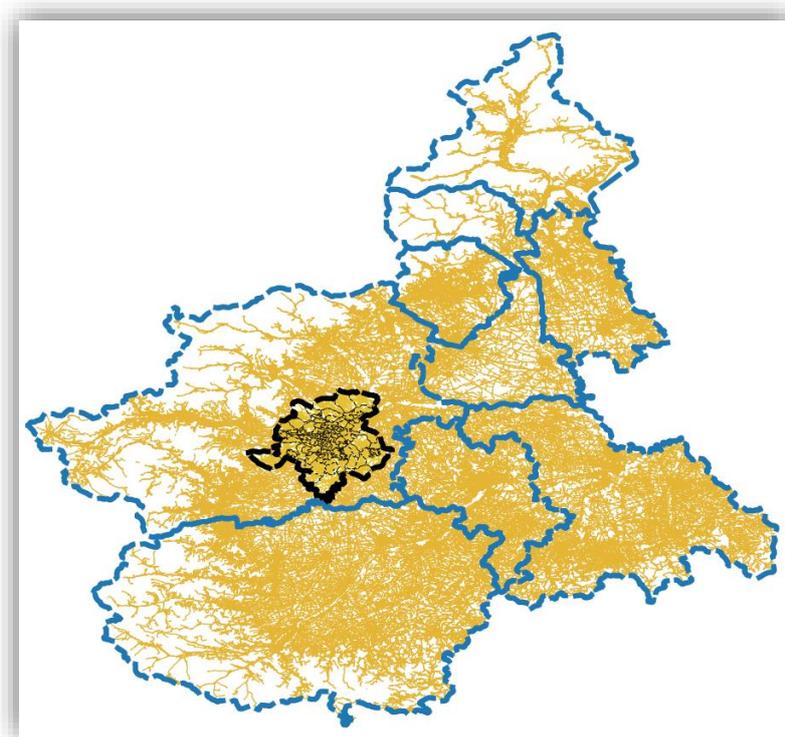


Figura 5-38 Estensione spaziale del file DatiSVR2019_su_ElementoStradaleBDTRE.gpkg

Analogamente al primo step effettuato nel paragrafo 5.1.4.1, dunque, è conveniente operare una prima scrematura delle geometrie, selezionando un'area rettangolare che includa gli elementi interni e quelli nell'immediata prossimità dei confini dell'area di studio, Figura 5-39.

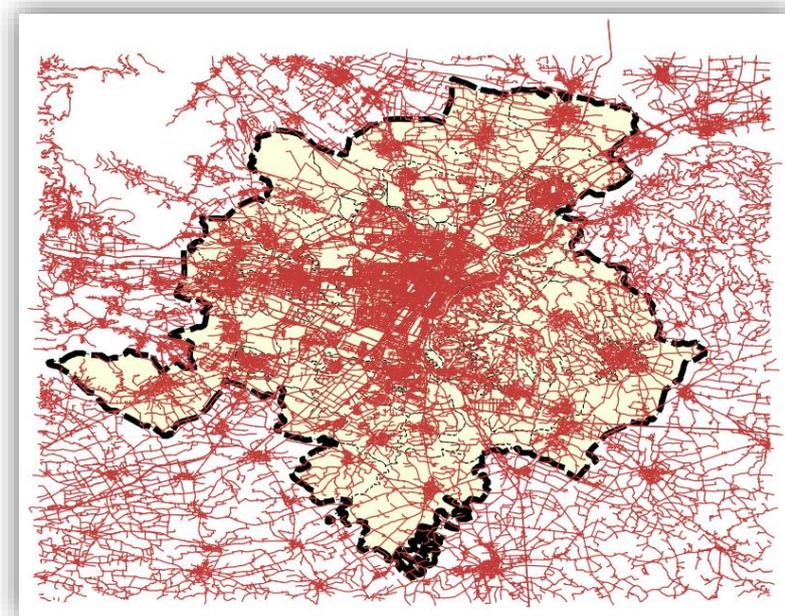


Figura 5-39 Preselezione delle geometrie appartenenti all'area di studio

Il risultato della preselezione mostrata in Figura 5-39 contiene 92149 elementi lineari e viene esportato come *BDTRE_SelezioneRett.shp*.

5.2.3.2 Preselezione delle geometrie su base attributo

Come anticipato, questo approccio è utile esclusivamente per impartire un ordine alle verifiche da effettuare manualmente che, se condotte in maniera caotica risulterebbero, probabilmente, meno efficienti: un processo ordinato agevola la supervisione, spostando di volta in volta il focus su gruppi ristretti di elementi omogenei; procedendo senza un criterio, invece, il maggior sforzo cognitivo da parte dell'osservatore incrementerebbe la probabilità di commettere errori di valutazione.

L'analisi consiste, dunque, nel passare in rassegna le geometrie, categorizzando il layer *BDTRE_SelezioneRett* secondo l'attributo prescelto e procedendo ordinatamente per ciascun valore individuato.

Si genera, al contempo, un buffer di 15 metri della rete stradale OSM:

- Si uniscono tutte le geometrie del vettore *Archi*, ottenuto nel paragrafo 5.1.4.6, attraverso il comando "Dissolvi";
- Si riproietta il vettore *Dissolto* sull'EPSG 3003;
- Si esegue il buffer di 15 m del vettore *Riproiettato*;
- Si esporta, infine, il vettore *Risultato da operazione di buffer* come *OSM_Buffer-15.shp*.

Per determinare, rapidamente, se ciascun elemento è da conservare o rimuovere si mantiene, parallelamente, attivo il vettore *OSM_Buffer-15*, così da valutare visivamente se gli elementi BDTRE ricadono all'interno dell'area di Buffer.

1. Si procede, in primis, con l'analisi dell'attributo *el_str_ty*, descrittivo della tipologia di strada.

Occorre precisare che i valori riportati in Tabella 5-30 sono quelli residui, individuabili al termine del processo di selezione e, quindi, in questa fase saranno presenti anche altre categorie non mostrate in precedenza.

In Tabella 5-31 si riportano, in sintesi, i principali risultati conseguiti al termine di questa prima analisi.

Tabella 5-31 Preselezione dei 92149 elementi del layer *BDTRE_SelezioneRett*, ordinata secondo l'attributo *el_str_ty*

Categoria individuata	Tot. elementi	Risultato
area a traffico non strutturato	8	1 elemento, facente parte di una rotonda, viene mantenuto mentre gli altri si possono rimuovere
di area a traffico strutturato	7	Tutti gli elementi possono essere eliminati
di controviale	22	Tutti gli elementi possono essere eliminati
di incrocio	568	Tutti gli elementi possono essere eliminati
di parcheggio	121	Tutti gli elementi possono essere eliminati
di passaggio a livello	4	1 elemento rimosso e 3 mantenuti
di piazza	19	1 elemento, parte di una rotonda, viene mantenuto mentre gli altri si possono rimuovere
di rampa/svincolo	874	361 elementi rimossi e 513 mantenuti
di tronco ordinario di carreggiata	2	1 elemento rimosso ed 1 mantenuto
in area di pertinenza	33	Tutti gli elementi possono essere eliminati
non conosciuto	3	Tutti gli elementi possono essere eliminati
pedonale	460	Tutti gli elementi possono essere eliminati
di rotonda	9810	-
di tronco carreggiata	80218	-

Gli elementi “di rotatoria” e “di tronco carreggiata” sono ancora troppo numerosi per essere valutati e, quindi, si rimanda la loro selezione alle fasi successive.

Al termine di questa prima selezione sono stati rimossi 1602 elementi ed il layer *BDTRE_SelezioneRett* contiene, ora, 90547 geometrie.

2. In maniera analoga si categorizza il vettore *BDTRE_SelezioneRett* secondo l’attributo *el_str_sta* per valutare gli elementi “in costruzione” o “in disuso”:

- Di 3 elementi “in costruzione” 1 può essere eliminato;
- L’unico elemento classificato come “in disuso” è, in realtà, parte di una rotatoria ed occorre mantenerlo.

3. Si valuta, infine, l’attributo *el_str_fon*, concentrando l’attenzione sui 1798 elementi classificati come “non pavimentato”. Tali elementi risultano, tuttavia, eccessivamente numerosi da passare tutti in rassegna e si ricorre, quindi, ad un espediente, basato sulla posizione reciproca delle geometrie, per filtrarne, a priori, il maggior numero possibile:

Dopo aver selezionato tutti gli elementi non pavimentati si utilizza lo strumento “Unisci attributi per posizione” per conservare le sole geometrie selezionate che “intersecano” il vettore *OSM_Buffer-15*.

Grazie a questo escamotage il numero di strade non pavimentate si riduce a 360 e si può procedere con l’analisi.

Al termine di questa selezione vengono mantenuti solo 253 dei 1798 elementi iniziali ed il layer *BDTRE_SelezioneRett* contiene, a questo punto, 89001 geometrie.

Si fa notare che i 253 elementi mantenuti sono, ad oggi, strade asfaltate e che, pertanto, la descrizione della pavimentazione non risulti molto affidabile. Non si sono approfondite le ragioni delle discrepanze riscontrate, poiché esulano dagli scopi della corrente trattazione, ma si può ipotizzare che tali inesattezze siano imputabili ad un mancato aggiornamento del dato. Come espresso all’inizio del paragrafo 5.2, infatti, le geometrie che compongono il grafo sono state costruite in un arco temporale di 10 anni, a partire dal 2010 sino all’ultima integrazione del 2020, ed è possibile, quindi, che le informazioni già attribuite agli elementi più datati non siano state ricorrette.

4. È opportuno, a questo punto, concludere la preselezione eliminando gli elementi scollegati del resto della rete stradale, analogamente a quanto svolto per gli elementi OSM nel paragrafo 5.1.4.3.

5.2.3.3 Selezione degli elementi di rotatoria

Durante la precedente fase di preselezione sono state individuate due categorie di elementi nettamente preponderanti in termini di numerosità:

- 9810 geometrie con *el_str_ty* = “di rotatoria” (10.6% del totale degli elementi elencati in Tabella 5-31);
- 80218 geometrie con *el_str_ty* = “di tronco carreggiata” (87.1% del totale degli elementi elencati in Tabella 5-31).

Per gli elementi caratterizzati da questi due attributi si rende, dunque, necessaria una scrematura preventiva al fine di ridurre significativamente la numerosità ed agevolare la procedura di selezione.

Costruzione del grafo di riferimento

Un criterio efficace per l'individuazione delle geometrie superflue si basa, come anticipato, sulla posizione reciproca degli elementi BDTRE ed OSM. Per effettuare una prima scrematura si valuta, dunque, quali elementi BDTRE intersecano l'area *OSM_Buffer-15*, generata nel precedente paragrafo 5.2.3.2. Dopo aver selezionato il vettore degli elementi BDTRE, attualmente denominato *BDTRE_SelezioneRett*, si utilizza lo strumento "Unisci attributi per posizione" per conservare le sole geometrie che "intersecano" il vettore *OSM_Buffer-15*.

Agendo in questo modo verranno, in altre parole, mantenuti solo gli elementi BDTRE che distano meno di 15 metri dagli archi del grafo OSM. Si sottolinea che utilizzando il predicato geometrico "interseca" l'azione di filtraggio risulterà più blanda poiché verranno conservati anche gli elementi che non sono interamente contenuti entro i 15 metri di distanza. Si è scelto, in prima battuta, di impiegare un criterio meno severo per scongiurare l'eliminazione degli elementi BDTRE corrispondenti agli archi OSM ma distanti da essi per via della differente rappresentazione.

Da questa operazione di scrematura il numero di elementi totali si riduce a 27665, distribuiti come illustrato nella seguente Tabella 5-32.

Tabella 5-32 Risultati della scrematura degli elementi del layer *BDTRE_SelezioneRett*, elencati secondo l'attributo *el_str_ty*

Categoria individuata	Tot. elementi preselezionati	Tot. elementi post scrematura
area a traffico non strutturato	1	1
di passaggio a livello	3	3
di piazza	1	1
di rampa/svincolo	513	513
di tronco ordinario di carreggiata	1	1
di rotatoria	9810	4827
di tronco carreggiata	80218	22319

Come è possibile osservare in Tabella 5-32, benché l'operazione abbia sortito una notevole riduzione delle geometrie, la numerosità degli elementi "di rotatoria" ed, in particolare, "di tronco carreggiata" rimane comunque elevata.

Si può procedere, tuttavia, focalizzando temporaneamente l'attenzione sui soli elementi "di rotatoria" che, a differenza dei tronchi di carreggiata, risultano concentrati in pochi punti di estensione ridotta:

Le geometrie che compongono ciascuna rotatoria saranno, infatti, interconnesse ed accentrate in corrispondenza delle intersezioni; la loro disamina potrà, quindi, avvenire procedendo rapidamente per blocchi. Al contrario i tronchi di carreggiata, oltre ad essere molto più numerosi, risultano dispersi su tutta l'area di analisi e la loro selezione risulta, allo stato attuale, eccessivamente complessa.

Il risultato della selezione degli elementi "di rotatoria" è mostrato nella seguente Tabella 5-33.

Tabella 5-33 Risultato della selezione degli elementi "di rotatoria" appartenenti al layer *BDTRE_SelezioneRett*

Categoria individuata	Tot. elementi post scrematura	Tot. elementi selezionati
area a traffico non strutturato	1	1
di passaggio a livello	3	3
di piazza	1	1
di rampa/svincolo	513	513
di tronco ordinario di carreggiata	1	1
di rotatoria	4827	4166
di tronco carreggiata	22319	22319

5.2.3.4 Selezione degli elementi di tronco di carreggiata

Prima di procedere con la selezione vera e propria dei tronchi di carreggiata è possibile eseguire una pulizia degli elementi geometrici ridondanti, utilizzando l'apposito comando "Elimina geometrie duplicate" presente tra gli Strumenti di Processing. L'esito di questa operazione di pulizia è mostrato in Tabella 5-34.

Tabella 5-34 Risultato eliminazione delle geometrie duplicate presenti sul layer *BDTRE_SelezioneRett*

Categoria individuata	Tot. elementi selezionati	Tot. elementi univoci
area a traffico non strutturato	1	1
di passaggio a livello	3	3
di piazza	1	1
di rampa/svincolo	513	513
di tronco ordinario di carreggiata	1	1
di rotonda	4166	4166
di tronco carreggiata	22319	22277

A questo punto si può eseguire una nuova operazione di scrematura degli elementi per ridurre ulteriormente la numerosità. A differenza di quanto svolto durante la selezione degli elementi di rotonda, si è scelto, in questo caso, con un criterio di filtraggio più severo ma ristretto ai soli tronchi di carreggiata:

Dopo aver selezionato i 22277 elementi "di tronco carreggiata" si utilizza lo strumento "Unisci attributi per posizione" per conservare le sole geometrie selezionate che "sono contenute" all'interno dell'area del vettore *OSM_Buffer-15*. Operando in questo modo vengono mantenuti solo 14188 tronchi di carreggiata, interamente contenuti entro i 15 metri di distanza dagli archi OSM. Risulta più pratico esportare il risultato ottenuto su un layer distinto da *BDTRE_SelezioneRett*, denominato *Tronco_Carreggiata.shp*.

Tra gli elementi filtrati persistono, tuttavia, numerose geometrie superflue che risultano, per lo più, di ridotta estensione e trasversali ai tronchi stradali di effettivo interesse. Si riporta in Figura 5-40 e Figura 5-41 uno stralcio della rete in cui si può osservare la presenza di queste appendici residue ed indesiderate.

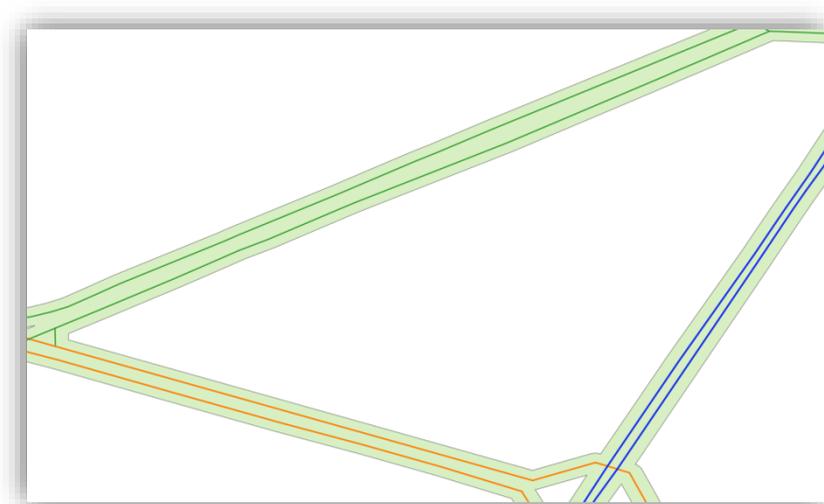
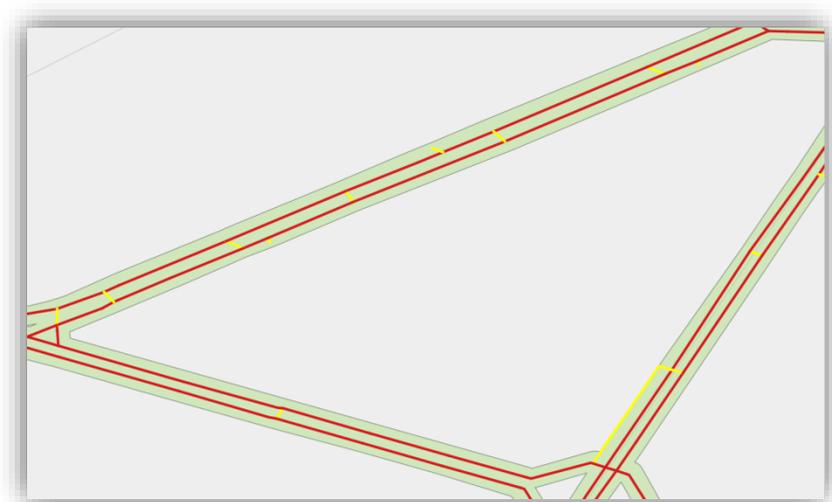


Figura 5-40 Stralcio rete OSM d'esempio

In Figura 5-40 è mostrata la rete OSM su cui è stata generata l'area di Buffer, ivi riportata in verde.

Si precisa che l'ampiezza del Buffer è di 15 metri su ciascun lato dell'elemento lineare di origine, risultando complessivamente larga 30 metri.



In Figura 5-41 si osserva, invece, come insieme agli elementi BDTRE effettivamente corrispondenti agli archi OSM, l'area di Buffer include anche delle appendici irrilevanti. Tali segmenti, evidenziati in giallo, rappresentano, per lo più, diramazioni divergenti dalla tratta di strada principale o corsie adibite all'inversione di marcia.

Figura 5-41 Stralcio elementi BDTRE d'esempio

Conseguentemente a queste osservazioni si arriva ad ipotizzare che gran parte degli elementi superflui risulti di estensione contenuta entro la semi-ampiezza dell'area di Buffer e, quindi, di lunghezza inferiore ai 15 metri.

Per agevolare la fase di selezione si è, dunque, deciso di ripartire gli elementi "di tronco carreggiata" in 3 classi di lunghezza, per procedere, successivamente, con la disamina ordinata di ciascuna categoria.

La classificazione può essere effettuata riproiettando *Tronco_Carreggiata* sull'EPSG 3003 ed introducendo nel calcolatore di campi la formula mostrata in Tabella 5-35.

Tabella 5-35 Classi di lunghezza degli elementi "di tronco carreggiata" – Calcolatore di campi

Riproiettato – Calcolatore di Campi	
Nome campo	L_Class
Tipo campo	Integer(1)
Formula	if(\$length <= 15, 1, if(\$length > 15 AND \$length < 24, 2, 3))

È possibile riportare il risultato della classificazione sul vettore *Tronco_Carreggiata* attraverso un join con il layer *Riproiettato*, sfruttando l'id univoco degli elementi.

Si procede, successivamente, con la selezione degli elementi di ciascuna classe di lunghezza cominciando da quelli meno estesi (classe 1) sino ad arrivare ai più lunghi (classe 3). Come detto in precedenza, la categorizzazione degli elementi sulla base di un attributo, in questo caso l'intervallo di lunghezza, è essenzialmente utile per impartire un ordine al processo che, tuttavia, dovrà essere eseguito manualmente, passando in rassegna tutte le geometrie. Al termine di questa laboriosa analisi si ottengono i risultati mostrati in Tabella 5-36.

Tabella 5-36 Risultato selezione degli elementi "di tronco carreggiata" presenti sul layer *Tronco_Carreggiata*

Classe di lunghezza	Intervallo di lunghezza [m]	Tot. elementi	Tot. elementi selezionati
1	[0; 15]	1926	1044
2	(15; 24)	1528	1054
3	[24; +∞)	10734	9729

Durante questa procedura sono stati, inoltre, individuati 41 tronchi di carreggiata non integralmente interni al Buffer ma comunque corrispondenti agli archi della rete OSM, che dovranno, dunque, essere reinseriti tra gli elementi selezionati.

Nella seguente Tabella 5-37 si presenta il resoconto finale degli elementi sinora selezionati.

Tabella 5-37 Resoconto finale degli elementi BDTRE selezionati

Categoria individuata		Tot. elementi selezionati	
area a traffico non strutturato		1	
di passaggio a livello		3	
di piazza		1	
di rampa/svincolo		513	
di tronco ordinario di carreggiata		1	
di rotonda		4166	
di tronco carreggiata	Classe lunghezza 1	1044	11868
	Classe lunghezza 2	1054	
	Classe lunghezza 3	9729	
	Da reinserire	41	

Per concludere la fase di selezione sarà, dunque, sufficiente esportare tutte le geometrie residue sul medesimo vettore *BDTRE_Selezione*. Il risultato di questa procedura è mostrato nella seguente Figura 5-42.

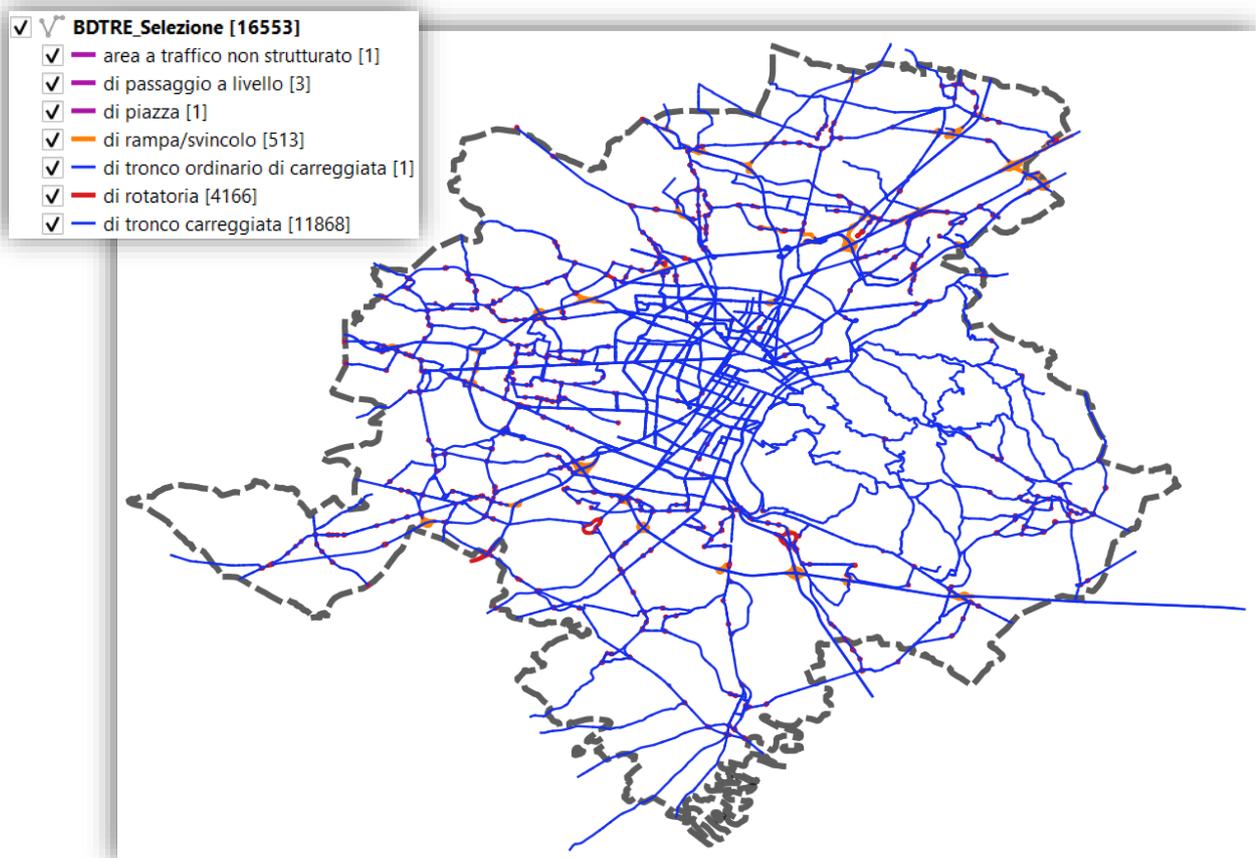


Figura 5-42 Risultato della selezione degli elementi BDTRE corrispondenti alle geometrie OSM

5.2.4 Analisi dei nodi BDTRE

Nell’ottica di agevolare il successivo processo di associazione degli elementi BDTRE con i corrispettivi archi OSM, si ritiene opportuno ridurre, preventivamente, la frammentazione delle geometrie selezionate. Si vuole procedere, in altre parole, con l’aggregazione dei singoli elementi lineari in archi, analogamente a quanto svolto per le geometrie OSM nel corso dei precedenti paragrafi. La costruzione degli archi BDTRE, infatti, non solo contribuirà alla riduzione del numero di elementi, ma produrrà, al contempo, un output simile al grafo OSM, rendendo più diretta la procedura di confronto ed associazione.

Data la premessa, la prima operazione da effettuare, per arrivare alla costruzione degli archi, consiste nell’individuazione dei nodi di intersezione. L’analisi dei nodi si rende, inoltre, necessaria per l’individuazione delle numerose discontinuità presenti all’interno della rete BDTRE che dovranno essere corrette per il buon esito del suddetto processo di aggregazione.

5.2.4.1 Classificazione preliminare dei nodi

La seguente procedura di classificazione dei nodi è del tutto analoga a quanto svolto per il grafo OSM nel corso paragrafo 5.1.4.4. I passaggi da eseguire vengono, dunque, esposti in forma sintetica rimandando al paragrafo 5.1.4.4 per eventuali approfondimenti:

1. Per ottenere risultati confrontabili con quanto svolto in precedenza occorre, innanzitutto ri-proiettare il vettore *BDTRE_Selezione* sul EPSG 4326;
2. Assegnazione del GeoID agli estremi di *BDTRE_Selezione*, Tabella 5-38 e Tabella 5-39.

Tabella 5-38 Assegnazione del GeoID al nodo iniziale del vettore lineare *BDTRE_Selezione*

BDTRE_Selezione – Calcolatore di Campi	
Nome campo	GeoID_i
Tipo campo	Real(13, 10)
Formula	$(\$x_at(0) + \$y_at(0)) * \$x_at(0)$

Tabella 5-39 Assegnazione del GeoID al nodo finale del vettore lineare *BDTRE_Selezione*

BDTRE_Selezione – Calcolatore di Campi	
Nome campo	GeoID_f
Tipo campo	Real(13, 10)
Formula	$(\$x_at(-1) + \$y_at(-1)) * \$x_at(-1)$

3. Estrazione dei vertici del vettore *BDTRE_Selezione* attraverso il comando “Estrai vertici”;

4. Assegnazione del GeoID ai nodi del vettore Vertici, Tabella 5-40.

Tabella 5-40 Assegnazione del GeoID ai nodi del vettore puntuale Vertici

Vertici – Calcolatore di Campi	
Nome campo	GeoID
Tipo campo	Real(13, 10)
Formula	$(\$x + \$y) * \$x$

5. Eliminazione dei nodi coincidenti, quindi con stesso GeoID, che appartengono allo stesso elemento stradale (id), Figura 5-43.

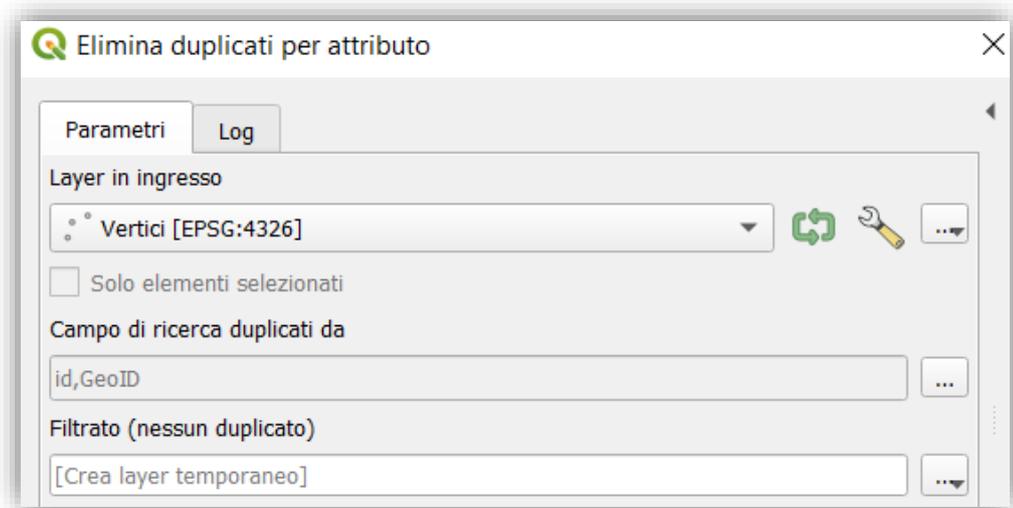


Figura 5-43 Eliminazione dei vertici duplicati appartenenti allo stesso segmento

6. Valutazione delle estremità convergenti nei vertici del layer *Filtrato (nessun duplicato)*, Tabella 5-41.

Tabella 5-41 Valutazione delle estremità convergenti nei vertici del layer *Filtrato (nessun duplicato)*

Filtrato (nessun duplicato) – Calcolatore di Campi	
Nome campo	Extr
Tipo campo	String(1)
Formula	<code>If("GeoID" = "GeoID_i", 'i', If("GeoID" = "GeoID_f", 'f', null))</code>

7. Trascrizione dell'attributo "id" in un nuovo campo "EL_ID" definito come stringa, Tabella 5-42.

Tabella 5-42 Trascrizione dell'attributo "id" in un nuovo campo "EL_ID" definito come stringa

Filtrato (nessun duplicato) – Calcolatore di Campi	
Nome campo	EL_ID
Tipo campo	String(10)
Formula	"id"

8. Aggregazione dei vertici del vettore *Filtrato* (nessun duplicato) con stesso GeoID, Figura 5-44.

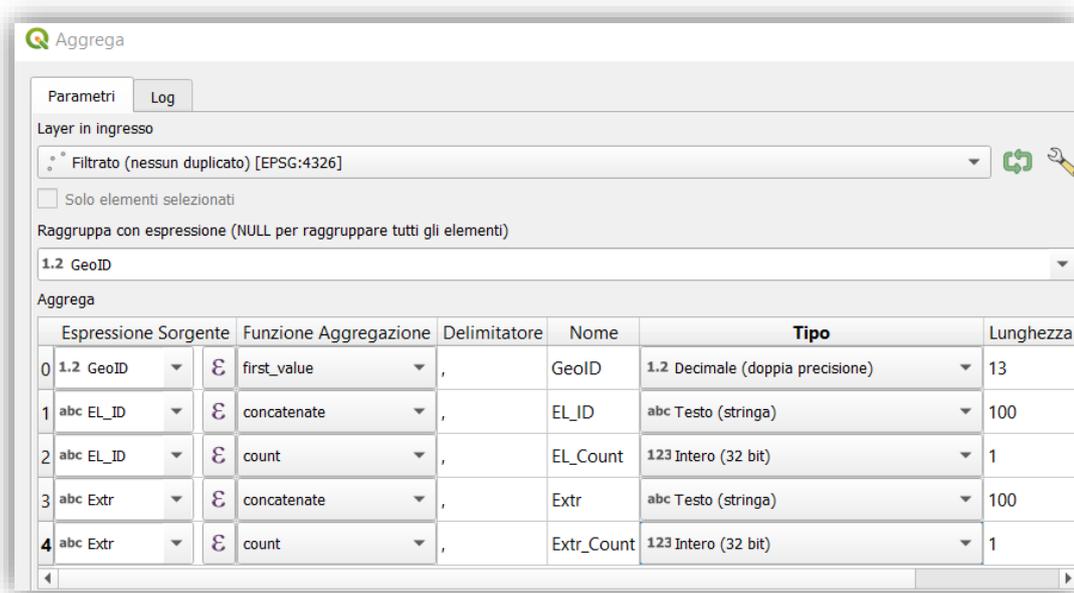


Figura 5-44 Aggregazione dei vertici coincidenti

Il vettore così ottenuto potrà essere salvato come *BDTRE-Nodi_v1*;

9. Classificazione dei vertici del vettore *BDTRE-Nodi_v1*, Tabella 5-43.

Tabella 5-43 Classificazione dei vertici del vettore *BDTRE-Nodi_v1*

BDTRE-Nodi_v1 – Calcolatore di Campi	
Nome campo	N_Class
Tipo campo	String(4)
Formula	if("EL_Count" = "Extr_Count", if("EL_Count" =1,'ESTR', if("EL_Count" = 2, 'CONT', 'INT')), if("EL_Count" = 1 and "Extr_Count" = 0, null, if("EL_Count" > 1 and "Extr_Count" = 0, 'ERR1', if("EL_Count" > 1 and "Extr_Count" > 0, 'ERR2', null))))

Nella seguente Tabella 5-44 si riporta il risultato preliminare della classificazione appena eseguita.

Tabella 5-44 Risultato della classificazione preliminare dei nodi *BDTRE* presenti sul layer *BDTRE_Nodi-v1*

N_Class	N° di nodi
CONT	9017
ERR1	18
ERR2	51
ESTR	793
INT	4557
null	22082

Per maggiori dettagli sulla classificazione dei nodi vedere paragrafo 5.1.4.4 punto 8 a pag. 78.

5.2.4.2 Correzione interruzioni

Osservando i risultati della classificazione preliminare, oltre alla presenza di errori ERR1 ed ERR2, si nota che il numero di nodi ESTR è sproporzionato. In Tabella 5-44 si evidenzia, infatti, la presenza di ben 793 nodi ESTR, mentre sul grafo OSM corrispondente (Figura 5-37 a pag. 106) appena 107.

Le rappresentazioni BDTRE e OSM derivano da fonti differenti ma riproducono la stessa rete stradale. Sarebbe, dunque, tollerabile la presenza di differenze sul numero di vertici CONT o null ma i nodi INT ed ESTR dovrebbero, invece, coincidere il più possibile.

Analizzando la configurazione dei nodi ESTR lungo i tracciati si riscontra la presenza di numerose discontinuità, come quelle mostrate in Figura 5-45.

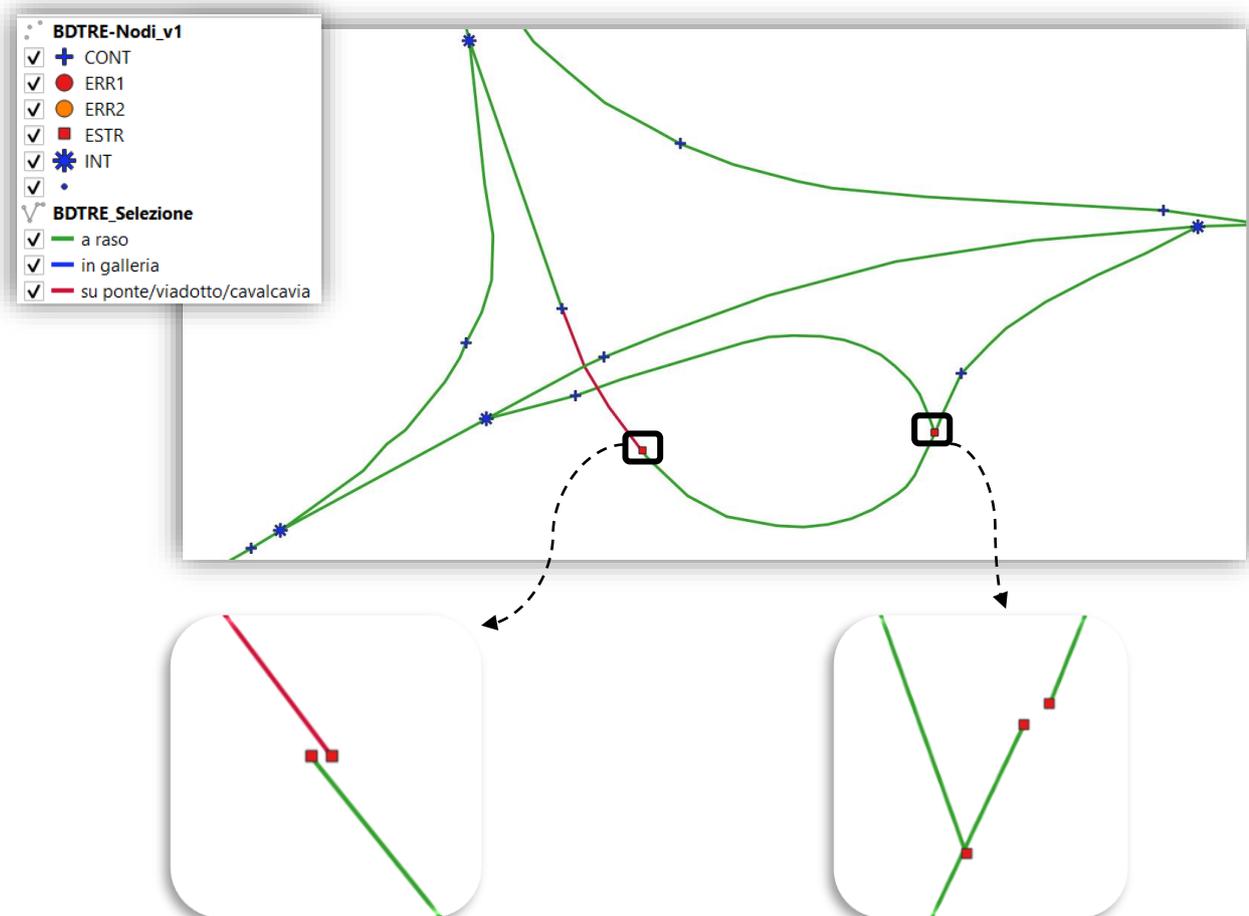


Figura 5-45 Esempio di discontinuità interne ai tracciati del layer BDTRE_Selezione

I nodi ESTR dovrebbero comparire solo in corrispondenza delle estremità terminali di un percorso, mentre, nel caso in Figura 5-45, si collocano anche nei punti interni agli archi.

Occorre passare in rassegna tutti i nodi ESTR per ripristinare la continuità dei percorsi ricongiungendo le estremità nei punti di interruzione. Eseguendo questa operazione vengono individuate e corrette 696 interruzioni e solo 97 nodi ESTR risultano effettivamente di estremità. Com'era lecito aspettarsi il numero di estremità, a seguito della correzione, risulta molto prossimo a quello riscontrato per il grafo OSM.

Durante le correzioni si sono individuati 4 elementi BDTRE da ri-aggiungere e 8 segmenti superflui sono, invece, stati rimossi.

5.2.4.3 Correzione intersezioni a livelli sfalsati

Si ricorda che nel caso delle geometrie OSM le intersezioni apparenti tra due segmenti stradali posti a quote differenti non compaiono poiché il vertice comune viene volutamente soppresso. Nel corrente caso, invece, gli elementi BDTRE non seguono lo stesso accorgimento e può presentarsi un vertice comune a due elementi stradali, seppur posizionati su livelli differenti.

A scanso di errori si è deciso di verificare tutti i nodi ERR1 ed ERR2 per individuare e correggere le intersezioni apparenti, rimuovendo o traslando opportunamente l'eventuale nodo posto erroneamente in comune tra due geometrie.

Come mostrato in Figura 5-46, risulta utile categorizzare il layer *BDTRE_Selezione* secondo l'attributo *el_str_sed*, così da differenziare gli elementi a raso da quelli in galleria o su viadotto.

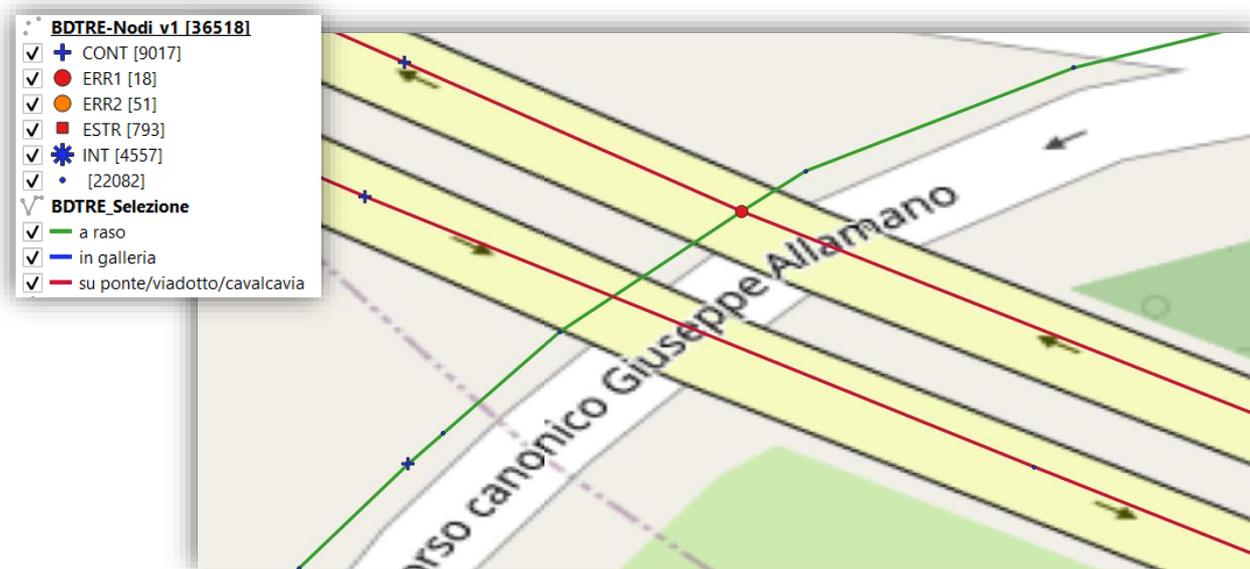


Figura 5-46 Esempio di intersezione apparente, ERR1

Si esaminano, in primis, i 18 nodi ERR1:

- 5 errori sono attribuiti alla presenza di geometrie lineari sovrapposte, da cui si determina l'eliminazione di 3 elementi;
- 13 nodi corrispondono, invece, ad intersezioni apparenti per le quali il vertice comune viene traslato così da eliminare l'errore.

Successivamente si analizzano i 51 nodi ERR2:

- 7 errori sono stati corretti manualmente traslando opportunamente il nodo di innesto tra gli elementi lineari;
- i 44 nodi residui risultano effettivamente errori di tipo ERR2.

Al termine delle correzioni apportate manualmente è suggeribile ripetere la classificazione dei nodi descritta al paragrafo 5.2.4.1 per aggiornare i risultati.

5.2.4.4 Correzione errori residui

La correzione degli errori residui consiste nel troncamento degli elementi lineari in corrispondenza dei nodi ERR, con procedimento del tutto analogo a quanto descritto nel paragrafo 5.1.4.5.

Di seguito viene sinteticamente illustrata la sequenza di operazioni da svolgere per apportare la suddetta correzione, rimandando al paragrafo 5.1.4.5 per eventuali approfondimenti:

1. Selezionare ed esportare i nodi ERR1 ed ERR2 del vettore *BDTRE-Nodi_v1* come *Nodi_ERR_v1.shp*.
2. Definizione delle linee di taglio:
 - Estrazione delle coordinate per il punto finale delle linee di taglio, Tabella 5-45 e Tabella 5-46.

Tabella 5-45 Estrazione della longitudine traslata verso ovest dei punti del vettore *Nodi_ERR_v1*

Nodi_ERR_v1 – Calcolatore di Campi	
Nome campo	Xf
Tipo campo	Real(13, 10)
Formula	\$x - 0.0000000001

Tabella 5-46 Estrazione della latitudine dei punti del vettore *Nodi_ERR_v1*

Nodi_ERR_v1 – Calcolatore di Campi	
Nome campo	Yf
Tipo campo	Real(13, 10)
Formula	\$y

- Conversione del vettore multi-punto *Nodi_ERR_v1* a geometria puntuale, tramite lo strumento SAGA “Convert Multipoints to Points”, e successiva esportazione del layer risultante come *Nodi_Start-End_v1*;
- Generazione delle estremità terminali delle linee di taglio:
 - aprire il file *Nodi_Start-End_v1.dbf* con Excel e salvare il contenuto del foglio di calcolo come *Nodi_End_v1.csv*;
 - importare *Nodi_End_v1.csv* su Q-GIS selezionando, come coordinate, “Campo X” = Xf e “Campo Y” = Yf;
 - esportare il vettore *Nodi_End_v1*, appena ottenuto, sul file *Nodi_Start-End_v1.shp*, selezionando l’opzione “Aggiungi al layer” presente nella finestra di dialogo che verrà mostrata, Figura 5-47.

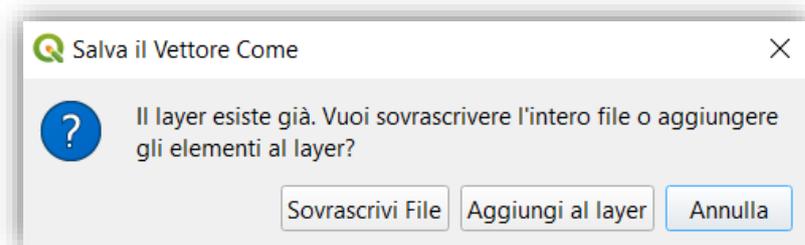


Figura 5-47 Aggiunta di *Nodi_End_v1* al layer *Nodi_Start-End_v1*

- Definizione delle linee di taglio utilizzando lo strumento “Da punti a percorso” sul layer *Nodi_Start-End_v1*, scegliendo GeoID come “Espressione del gruppo di percorso”, Figura 5-48.

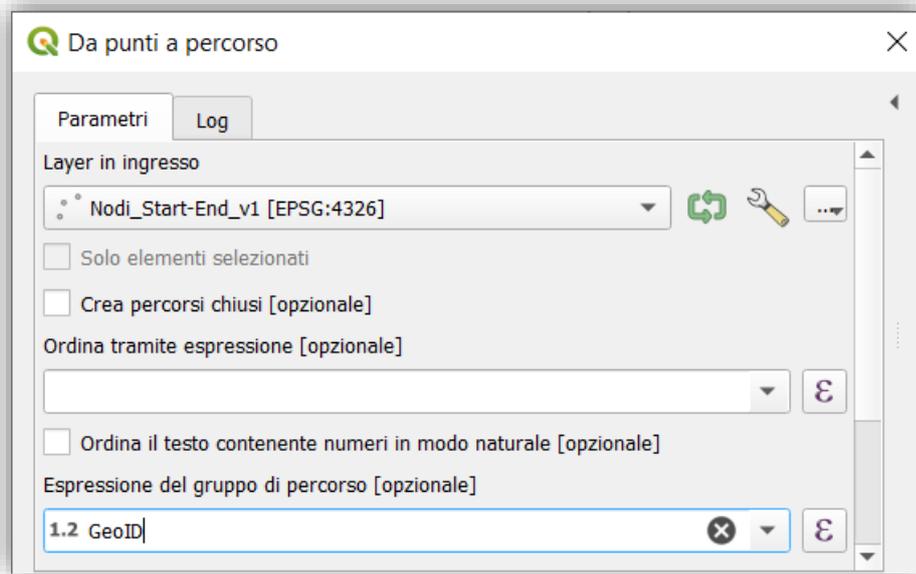


Figura 5-48 Generazione delle *Linee_Split_v1* dalla congiunzione dei *Nodi_Start-End_v1* con stesso GeoID

Le linee, così generate, possono essere esportate come *Linee_Split_v1.shp*.

3. Selezione degli elementi lineari da troncare, “EL_Split”:

- Generazione del campo “EL_Split” in cui elencare gli EL_ID degli elementi da troncare in corrispondenza del nodo ERR, Tabella 5-47.

Tabella 5-47 Concatenamento degli id senza estremità nei punti del vettore *Nodi_ERR_v1*

Nodi_ERR_v1 – Calcolatore di Campi	
Nome campo	EL_Split
Tipo campo	String(40)
Formula	<code>array_to_string(array_filter(array_foreach(generate_series(0, array_length(string_to_array("EL_ID", ','))-1), if(array_get(string_to_array("Extr", ','), @element) = "", array_get(string_to_array("EL_ID", ','), @element), ""), @element <> ""))</code>

- Successiva ripartizione degli id concatenati in EL_Split su *n* colonne distinte, Tabella 5-48.

Tabella 5-48 Ripartizione degli id concatenati all'interno del campo EL_Split del vettore *Nodi_ERR_v1*

Nodi_ERR_v1 – Calcolatore di Campi	
Nome campo	EL_Split- <i>n</i>
Tipo campo	String(10)
Formula	<code>array_get(string_to_array("EL_Split", ','), <i>n-1</i>)</code>

Operazione da reiterare *n* volte incrementando *n* ad ogni ripetizione;

- Selezione degli elementi da troncare attraverso n operazioni di join tra i layer *BDTRE_Selezione* e *Nodi_ERR_v1*, inserendo nel “Campo unione” il valore *EL_Split- n* corrispondente all’iterazione raggiunta, Figura 5-49.

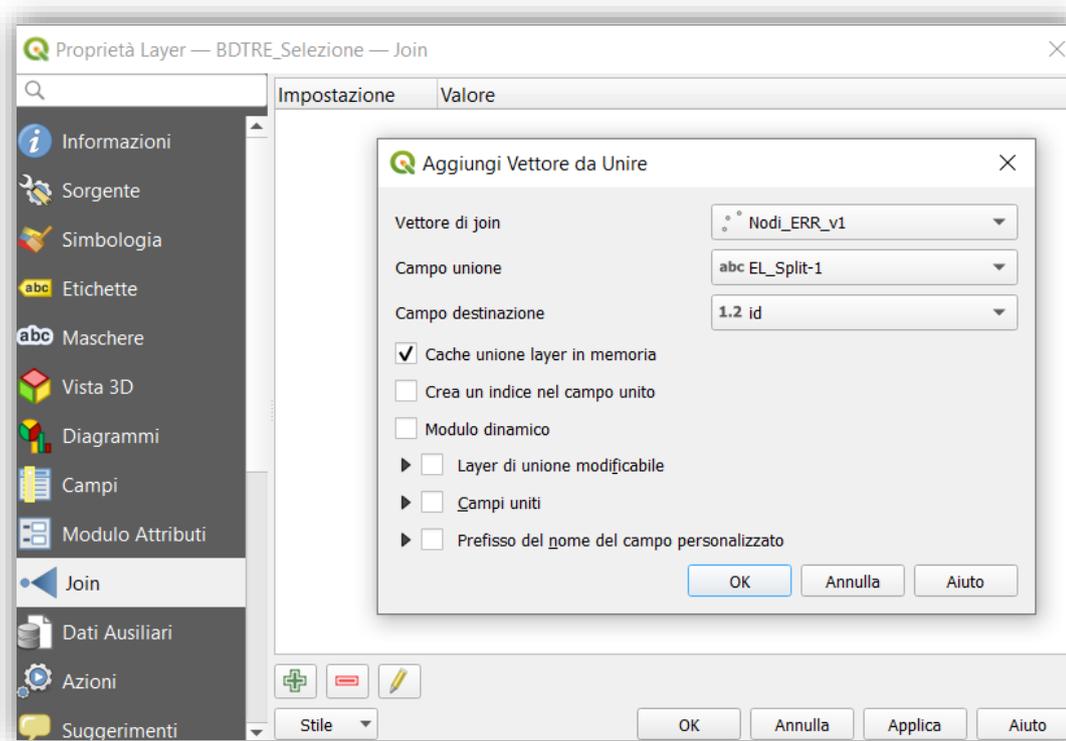


Figura 5-49 join di *BDTRE_Selezione* con *Nodi_ERR_v1* attraverso l'id

Salvataggio dell’esito del primo join, Tabella 5-49.

Tabella 5-49 Individuazione degli elementi da correggere contenuti nel vettore *BDTRE_Selezione* (iterazione 1)

BDTRE_Selezione – Calcolatore di Campi	
Nome campo	ERR
Tipo campo	String(1)
Formula	if("Nodi_ERR_v1_N_Class" is null, 'f', 't')

Salvataggio dei risultati dei join successivi, Tabella 5-50.

Tabella 5-50 Individuazione degli elementi da correggere contenuti nel vettore *BDTRE_Selezione* (iterazione n)

BDTRE_Selezione – Calcolatore di Campi	
Aggiorna Campo	ERR
Tipo campo	String(1)
Formula	if("ERR" = 't', 't', if("Nodi_ERR_v1_N_Class" is null, 'f', 't'))

- Selezione ed esportazione degli elementi da troncare e di quelli già corretti:
 - Esportazione degli elementi con $ERR = 't'$ sul file *EL_ERR_v1.shp*;
 - Esportazione degli elementi con $ERR = 'f'$ sul file *EL_Corretti_v1.shp*.

4. Troncamento degli elementi di *EL_ERR_v1* in corrispondenza delle *Linee_Split_v1* con lo strumento SAGA “Split Lines with Lines”, Figura 5-50.

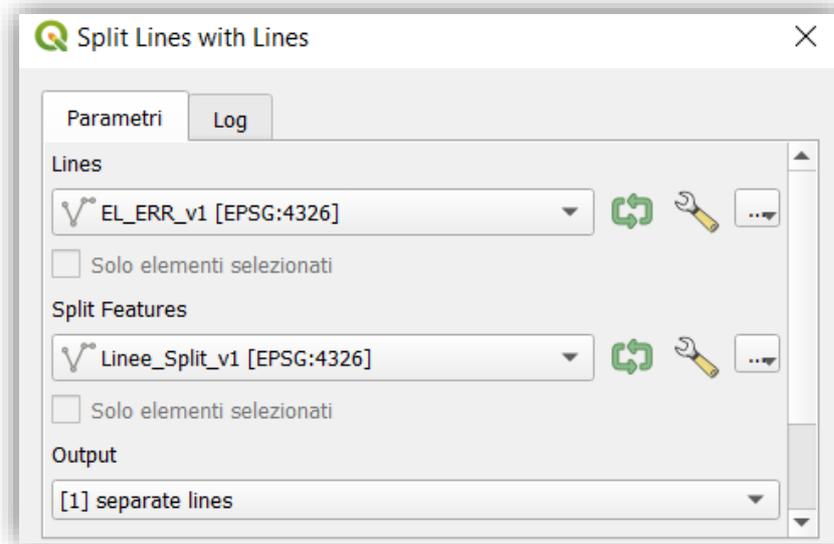


Figura 5-50 Troncamento di *EL_ERR_v1* in corrispondenza di *Linee_Split_v1*

5. Pulizia delle geometrie del vettore *Intersection* con lunghezza nulla, generando il nuovo campo “L”, Tabella 5-51, ed eliminando tutti gli elementi con valore 0.

Tabella 5-51 Individuazione dei segmenti con lunghezza nulla presenti sul vettore *Intersection*

Intersection – Calcolatore di Campi	
Nome campo	L
Tipo campo	Real(10, 3)
Formula	\$length

6. Salvataggio delle correzioni effettuate esportando il vettore *Intersection* sul layer *EL_Corretti_v1* e scegliendo “Aggiungi al layer”.
7. Generazione di un nuovo set di identificativi univoci *EL_ID*, Tabella 5-52, ed aggiornamento dei campi *GeoID_i* e *GeoID_f* del layer *EL_Corretti_v1*.

Tabella 5-52 Attribuzione di un nuovo set di identificativi univoci per gli elementi del vettore *EL_Corretti_v1*

EL_Corretti_v1 – Calcolatore di Campi	
Nome campo	EL_ID
Tipo campo	String(10)
Formula	@row_number

Al termine di questa procedura tutti gli errori più evidenti dovrebbero essere stati rimossi. Si suggerisce, tuttavia, di ripetere la classificazione dei nodi per verificare che non vi siano altri errori non individuabili al primo tentativo.

Ripetendo la procedura una seconda volta si riscontra, infatti, la presenza di 12 nodi ERR1 non emersi in precedenza.

In questo caso, l'anomalia è dovuta alla presenza di due geometrie sovrapposte, per le quali ciascuno dei 12 vertici interni risulta condiviso tra più elementi lineari senza mai essere un'estremità (ERR1), Figura 5-51.

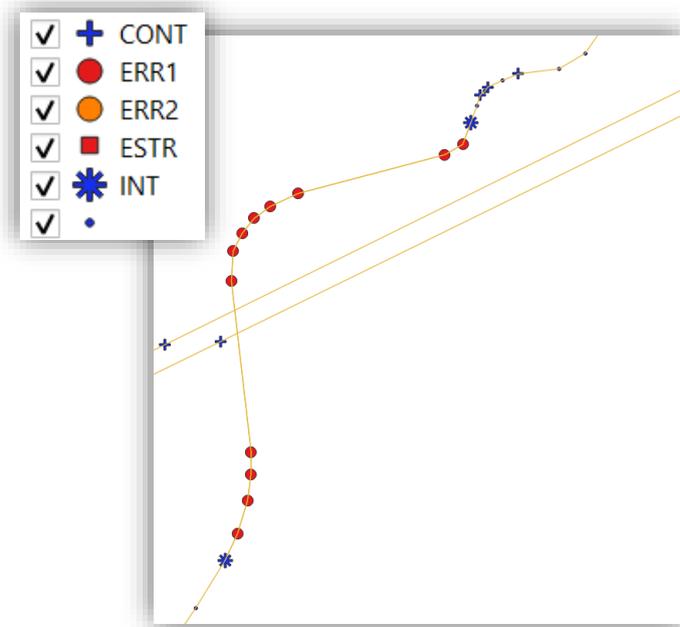


Figura 5-51 Geometria BD TRE duplicata (id = 87454)

L'errore non era rilevabile in precedenza poiché l'elemento sovrapposto veniva rimosso durante la fase di eliminazione dei duplicati per attributo (GeoID e id). Avendo rimpiazzato id con EL_ID, al termine del primo tentativo, la geometria non viene più vista come duplicata e nel corso della successiva iterazione emerge l'errore.

Rimuovendo, dunque, la geometria duplicata e ripetendo, un'ultima volta, la classificazione dei nodi, non verrà individuato nessun altro errore.

Analizzando i risultati ottenuti al termine del processo correttivo, illustrati in Figura 5-52, si osserva una buona corrispondenza tra il numero di nodi ESTR ed INT appartenenti alla rete BD TRE e quelli presenti sul corrispondente grafo OSM (Figura 5-37 a pag. 106).

Categorizzando le geometrie lineari BD TRE, sulla base dell'attributo *el_str_cf* si verifica, invece, una discreta sovrapposibilità tra la classificazione funzionale delle strade e l'attributo *fclass* degli elementi OSM (Figura 5-36 a pag. 106).

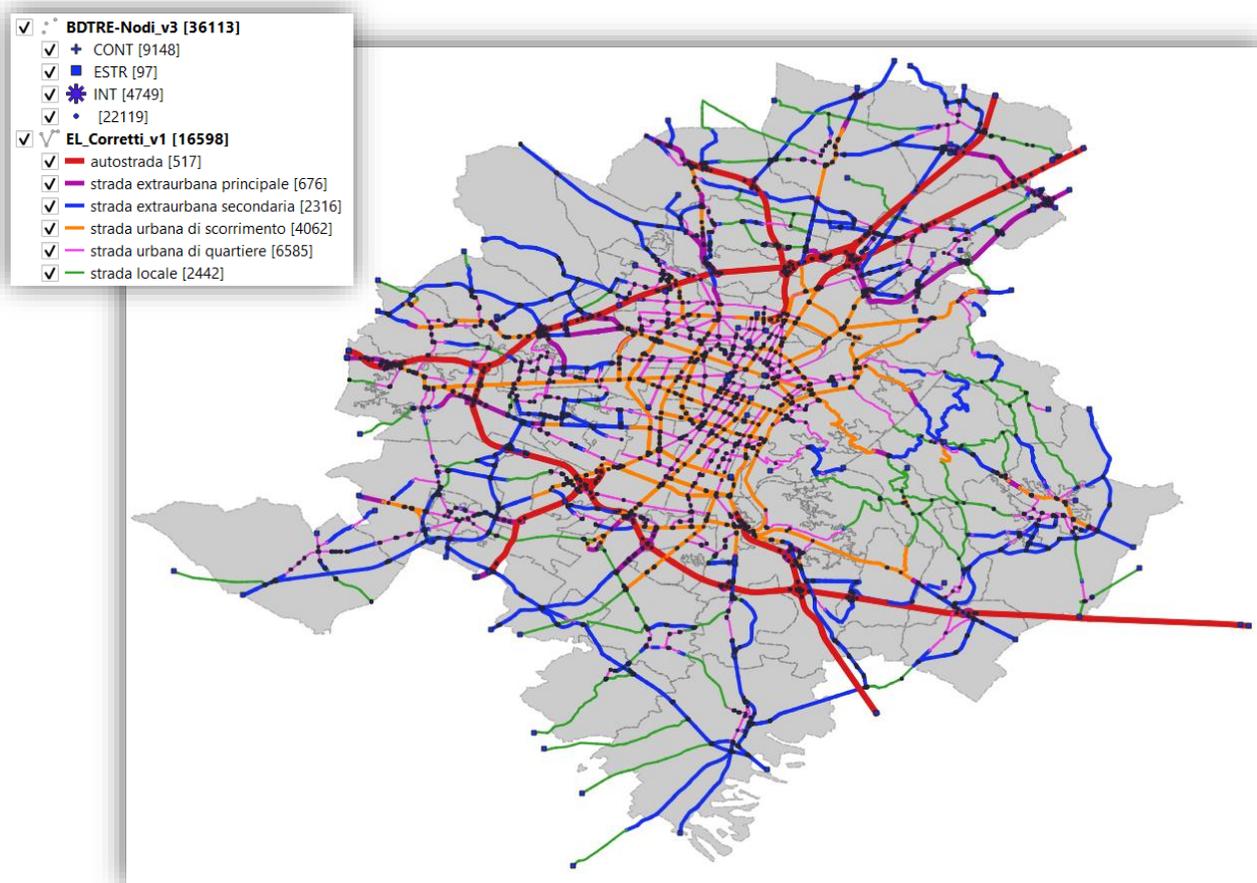


Figura 5-52 Risultato del processo correttivo dei nodi e degli elementi lineari BDTRE

5.2.5 Valorizzazione degli attributi mancanti tramite imputazione

Prima di poter procedere con l'aggregazione delle tratte stradali BDTRE in archi, occorre completare le proprietà mancanti associate alle geometrie lineari. Saranno, infatti, gli attributi di ogni singolo elemento a determinare le proprietà globali degli archi, ma procedendo con informazioni incomplete si rischia di ottenere risultati distorti.

Come spiegato all'inizio del capitolo 5, il principale contributo apportato dal dataset *DatiSVR2019_su_ElementoStradaleBDTRE.gpkg* consiste nel fornire dati di traffico ed attributi trasportistici difficilmente reperibili altrove ed aggiornati all'anno 2019 (stesso anno di riferimento del dataset TIM).

Mentre le informazioni sulla classe funzionale, tipologia, sede, pavimentazione e range di larghezza dei tronchi stradali sono proprietà intrinseche agli elementi BDTRE, altri dati di traffico come capacità, velocità e TGM sono, invece, derivati dalla sottorete SVR. Per via delle difformità tra le due fonti, non è sempre possibile individuare una corrispondenza tra le geometrie BDTRE ed SVR e gli attributi ricavati per "proiezione geometrica" risultano, quindi, incompleti.

Entrando nello specifico si riscontra, infatti, che circa il 28% elementi BDTRE selezionati (4647/16598) non riporta alcuna informazione su capacità, velocità o TGM.

Al fine di colmare queste lacune si è, dunque, deciso di estrapolare i valori mancanti dalle informazioni attribuite alle geometrie simili, adottando una semplificazione del processo di "imputazione con donatore di minima distanza".

5.2.5.1 Descrizione del criterio di imputazione adottato

L'imputazione con donatore di minima distanza seleziona il donatore, da cui prelevare i valori, tra le unità più "vicine" al ricevente. In questa procedura semplificata, la vicinanza è definita in termini di somiglianza tra il donatore e il ricevente, valutata sulla base delle seguenti variabili ausiliarie:

- LayerID = zona all'interno della quale ricade la tratta stradale (aree di censimento ISTAT);
- el_str_cf = classe tecnico-funzionale (A, B, C, D, E, F);
- el_str_ty = tipologia di strada (tronco carreggiata, rotatoria, rampa/svincolo, ecc.);
- el_str_nc = numero di corsie (1, 2, 3);
- el_str_cl = classe di larghezza ($3.5m < L < 7m$; $L > 7m$).

I valori mancanti che si desidera integrare costituiscono, invece, le variabili da imputare:

- mfw_sum = traffico giornaliero medio (TGM) totale sull'arco in entrambe le direzioni, [veicoli/giorno];
- capa_sum = capacità complessiva dell'arco stradale, derivata come somma dei valori delle due direzioni, [veicoli/h];
- sped_med = velocità a flusso nullo, cioè valori di velocità di percorrenza sull'arco stradale a rete scarica nelle due direzioni, [km/h];
- aspd_max = velocità di percorrenza media giornaliera sull'arco nelle due direzioni, per l'anno di riferimento, [km/h].

Si è scelto di suddividere le geometrie BDTRE in strati distinti, definiti sulla base delle variabili ausiliarie, all'interno dei quali eseguire l'imputazione. Classificando l'insieme delle geometrie secondo le suddette 5 variabili ausiliarie si ottiene una stratificazione molto fitta composta da ben 687 classi differenti.

In questa procedura semplificata, per ciascun ricevente classificato all'interno di uno strato, anziché selezionare il donatore più vicino, si attribuisce il valore medio dei donatori all'interno dello stesso strato.

Si fa presente che non è stato introdotto alcun sistema di pesi per le variabili ausiliarie e che, quindi, tutti i donatori appartenenti ad uno strato avranno la stessa distanza dal ricevente. Avendo scelto di imputare il valor medio dello strato, questo inconveniente risulta, tuttavia, ininfluenza.

Nei casi in cui lo strato non contiene alcun donatore si seleziona, invece, il valore medio da un altro strato sufficientemente vicino. Poiché le classi senza alcun donatore risultano relativamente poco numerose, 67/687, la vicinanza viene valutata caso per caso, adottando dei criteri che, implicitamente, forniscono pesi differenti alle variabili ausiliarie considerate:

- In generale si attribuisce il peso maggiore alla combinazione delle tre variabili LayerID, el_str_cf ed el_str_ty. Dove possibile il valore da imputare sarà selezionato da uno strato appartenente alla stessa zona, con stessa classificazione tecnica e stessa tipologia.
- Presa singolarmente la variabile LayerID è forse quella di maggior rilievo. Lo strato più vicino sarà, quindi, selezionato all'interno della stessa zona, a patto che si verifichi una delle condizioni seguenti:
 - ricevente e donatore hanno stessa classificazione funzionale (el_str_cf) e tipologia simile (el_str_ty), considerando gli elementi "di rotatoria" simili a quelli "di rampa/svincolo";
 - ricevente e donatore hanno stessa tipologia (el_str_ty) e classificazione funzionale simile (el_str_cf), considerando simili tra loro le strade extraurbane ($B \simeq C$) e quelle urbane ($D \simeq E$).

- Valutate in coppia `el_str_cf` ed `el_str_ty` prevalgono sulla variabile `LayerID`. Se all'interno della stessa area non è presente uno strato con le stesse `el_str_cf` ed `el_str_ty` del ricevente allora la classe più vicina apparterrà ad una zona differente, purché simile. La somiglianza tra due zone sarà tanto maggiore quanto più le variabili da imputare delle rispettive sottoclassi avranno valori comparabili. Se, per esempio, una zona X avesse velocità doppie rispetto ad una seconda zona Y allora la somiglianza si riterrebbe molto scarsa.
- Il numero di corsie (`el_str_nc`) risulta relativamente di poco peso poiché, a parità di altre condizioni, è possibile rapportare il valore da imputare al numero di corsie del ricevente. Nello specifico si ipotizza che traffico e capacità siano proporzionali al numero di corsie mentre le velocità si considerano indipendenti da questa variabile.
- La classe di larghezza (`el_str_cl`) costituisce, invece, la variabile meno rilevante. Nella realtà la larghezza della carreggiata incide significativamente su velocità e capacità e, conseguentemente, anche sul traffico indotto. La classificazione proposta risulta, tuttavia, molto grossolana e nella quasi totalità dei casi (94%) le geometrie appartengono alla stessa classe di larghezza ($3.5m < L < 7m$). Nello specifico si osservano appena 42/687 strati con larghezza superiore ai 7 metri e solo in 1 caso lo strato non possiede alcun donatore. Indipendentemente dal peso questa variabile risulta, dunque, di scarsa utilità per il processo di selezione dello strato donatore.

5.2.5.2 Procedura operativa

Avendo già chiarito, nel precedente paragrafo 5.2.5.1, i criteri con cui imputare i valori mancanti, si prosegue, ora, con la loro applicazione pratica.

Si fa presente, innanzitutto, che tutte le variabili necessarie sono già presenti all'interno della tabella attributi, ad eccezione del `LayerID`. Il primo passaggio è, dunque, volto all'ottenimento di questa variabile, ricavabile dalla, semplice, sovrapposizione del layer stradale (`EL_Corretti_v1`) con la zonizzazione (`Zone_Torino&Cintura`). Adoperando lo strumento "Unisci attributi per posizione", come mostrato in Figura 5-53, si associa ad ogni elemento di `EL_Corretti_v1` il `LayerID` della zona con il maggior grado di sovrapposizione.

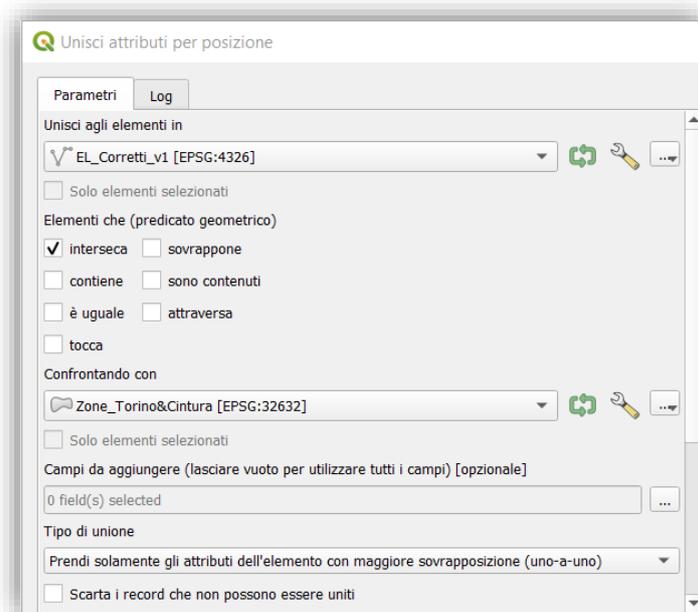


Figura 5-53 Assegnazione della zona di appartenenza degli elementi di `EL_Corretti_v1`

Ottenute tutte le variabili, la procedura viene eseguita con l'ausilio di un foglio di calcolo Excel:

1. Occorre, come prima cosa, copiare le variabili necessarie (identificativo, 5 variabili ausiliarie e 4 variabili da imputare) contenute sul file *EL_Corretti_v1.dbf* sul foglio *Elementi_BDTRE*, ordinando le colonne come mostrato in Tabella 5-53.

Tabella 5-53 Foglio *Elementi_BDTRE* (parte 1)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	EL_ID	LayerID	el_str_cf	el_str_ty	el_str_nc	el_str_cl	mfw_sum	capa_sum	sped_med	aspd_max
2	16586	001 001 26 5 000 000	strada extraurbana secondaria	di rotonda	2	larghezza compresa tra 3.5 m e 7.0 m				
3	6403	001 001 26 5 000 002	strada urbana di quartiere	di tronco carreggiata	2	larghezza compresa tra 3.5 m e 7.0 m				
4	16587	001 001 26 5 000 000	strada extraurbana secondaria	di tronco carreggiata	2	larghezza compresa tra 3.5 m e 7.0 m				
5	16588	001 001 26 5 000 000	strada urbana di quartiere	di tronco carreggiata	2	larghezza compresa tra 3.5 m e 7.0 m				
6	16589	001 001 26 5 000 000	strada extraurbana secondaria	di rotonda	2	larghezza compresa tra 3.5 m e 7.0 m				
7	16590	001 001 26 5 000 000	strada extraurbana secondaria	di rotonda	2	larghezza compresa tra 3.5 m e 7.0 m				
8	14162	001 001 26 5 000 002	strada extraurbana secondaria	di tronco carreggiata	2	larghezza compresa tra 3.5 m e 7.0 m				
9	14197	001 001 26 5 000 002	strada extraurbana secondaria	di tronco carreggiata	2	larghezza compresa tra 3.5 m e 7.0 m				
...

2. Si predispone, successivamente, l'intestazione delle prime 6 colonne del foglio *Classi_Imputazione*, così come riportato in Tabella 5-54.

Tabella 5-54 Foglio *Classi_Imputazione* (parte 1)

	A	B	C	D	E	F
1	Zona + cf + ty + nc + cl	LayerID	el_str_cf	el_str_ty	el_str_nc	el_str_cl
2	-autostrada-di tronco carreggiata-3- larghezza maggiore di 7.0 m		autostrada	di tronco carreggiata	3	larghezza maggiore di 7.0 m
3	-strada extraurbana principale-di rampa/svincolo-2-larghezza compresa tra 3.5 m e 7.0 m		strada extraurbana principale	di rampa/svincolo	2	larghezza compresa tra 3.5 m e 7.0 m
4	-strada extraurbana principale-di rotonda-1-larghezza compresa tra 3.5 m e 7.0 m		strada extraurbana principale	di rotonda	1	larghezza compresa tra 3.5 m e 7.0 m
5	-strada extraurbana principale-di rotonda-2-larghezza compresa tra 3.5 m e 7.0 m		strada extraurbana principale	di rotonda	2	larghezza compresa tra 3.5 m e 7.0 m
6	-strada extraurbana principale-di tronco carreggiata-2-larghezza compresa tra 3.5 m e 7.0 m		strada extraurbana principale	di tronco carreggiata	2	larghezza compresa tra 3.5 m e 7.0 m
7	-strada extraurbana secondaria-di rampa/svincolo-2-larghezza compresa tra 3.5 m e 7.0 m		strada extraurbana secondaria	di rampa/svincolo	2	larghezza compresa tra 3.5 m e 7.0 m
8	-strada extraurbana secondaria-di rotonda-2-larghezza compresa tra 3.5 m e 7.0 m		strada extraurbana secondaria	di rotonda	2	larghezza compresa tra 3.5 m e 7.0 m
9	-strada extraurbana secondaria-di tronco carreggiata-2-larghezza compresa tra 3.5 m e 7.0 m		strada extraurbana secondaria	di tronco carreggiata	2	larghezza compresa tra 3.5 m e 7.0 m
...

Nelle righe mostrate in Tabella 5-54, il LayerID non è valorizzato poiché gli elementi presenti nei primi strati sono quelli ricadenti all'esterno della zonizzazione.

Costruzione del grafo di riferimento

- Introducendo la seguente Formula 5-13 nella cella A2 del foglio *Classi_Imputazione* verranno, quindi, generati 687 strati differenti, ordinati alfabeticamente.

Formula 5-13 Stratificazione delle geometrie sulla base delle 5 variabili ausiliarie riportate sul foglio *Elementi_BDTRE*

```
=DATI.ORDINA(UNICI( Elementi_BDTRE!$B$2:$B$16599 & "-" & Elementi_BDTRE!$C$2:$C$16599 & "-" & Elementi_BDTRE!$D$2:$D$16599 & "-" & Elementi_BDTRE!$E$2:$E$16599 & "-" & Elementi_BDTRE!$F$2:$F$16599 );1;1)
```

Ciascuno strato risulterà, così, univocamente definito dal concatenamento di tutte le variabili ausiliarie, intervallate dal carattere "-".

- Nelle colonne successive (da B ad F) del foglio *Classi_Imputazione* si vogliono riportare separatamente le singole variabili ausiliarie utilizzate per definire le classi stesse, proprio come nell'esempio illustrato in Tabella 5-54.

Per completare questa fase sarà sufficiente effettuare due operazioni:

- copiare i valori delle classi contenute nella colonna A nella cella B2, scegliendo l'opzione di incolla speciale "Valori (V)", identificata dall'icona  ;
 - selezionare gli elementi in colonna B ed utilizzare il comando "Testo in colonne" presente nella scheda Dati, introducendo il carattere "-" come delimitatore.
- Per ottenere le seguenti 4 colonne (da G a J), mostrate in Tabella 5-55, si dovranno inserire le formule riportate in Tabella 5-56 nelle celle corrispondenti ed estenderle sino all'ultima riga contenente una classe.

Tabella 5-55 Foglio *Classi_Imputazione* (parte 2)

	G	H	I	J	K	L	M	N
1	mfw_sum	capa_sum	sped_med	aspd_max	TGM	C	Vf	V
2	20424.71	5764.71	120.59	102.40	20424.71	5764.71	120.59	102.40
3	1602.00	3333.33	56.67	59.12	1602.00	3333.33	56.67	59.12
4	16523.00	4000.00	55.00	50.88	16523.00	4000.00	55.00	50.88
5	5783.25	3625.00	73.75	68.79	5783.25	3625.00	73.75	68.79
6	8910.67	5333.33	77.67	76.66	8910.67	5333.33	77.67	76.66
7	1369.60	1920.00	44.00	43.36	1369.60	1920.00	44.00	43.36
8	5250.67	3866.67	66.00	66.50	5250.67	3866.67	66.00	66.50
9	9204.67	6568.75	67.21	64.89	9204.67	6568.75	67.21	64.89
...

Tabella 5-56 Formule da inserire nell'intervallo G2:J2 del foglio *Classi_Imputazione*

Cella	Formula
G2	=MEDIA(FILTRO(Elementi_BDTRE!\$G\$2:\$G\$16599;(Elementi_BDTRE!\$G\$2:\$G\$16599<>""))* (Elementi_BDTRE!\$B\$2:\$B\$16599=B2)*(Elementi_BDTRE!\$C\$2:\$C\$16599=C2)* (Elementi_BDTRE!\$D\$2:\$D\$16599=D2)*(Elementi_BDTRE!\$E\$2:\$E\$16599=E2)* (Elementi_BDTRE!\$F\$2:\$F\$16599=F2);0))
H2	=MEDIA(FILTRO(Elementi_BDTRE!\$H\$2:\$H\$16599;(Elementi_BDTRE!\$H\$2:\$H\$16599<>""))* (Elementi_BDTRE!\$B\$2:\$B\$16599=B2)*(Elementi_BDTRE!\$C\$2:\$C\$16599=C2)* (Elementi_BDTRE!\$D\$2:\$D\$16599=D2)*(Elementi_BDTRE!\$E\$2:\$E\$16599=E2)* (Elementi_BDTRE!\$F\$2:\$F\$16599=F2);0))
I2	=MEDIA(FILTRO(Elementi_BDTRE!\$I\$2:\$I\$16599;(Elementi_BDTRE!\$I\$2:\$I\$16599<>""))* (Elementi_BDTRE!\$B\$2:\$B\$16599=B2)*(Elementi_BDTRE!\$C\$2:\$C\$16599=C2)* (Elementi_BDTRE!\$D\$2:\$D\$16599=D2)*(Elementi_BDTRE!\$E\$2:\$E\$16599=E2)* (Elementi_BDTRE!\$F\$2:\$F\$16599=F2);0))
J2	=MEDIA(FILTRO(Elementi_BDTRE!\$J\$2:\$J\$16599;(Elementi_BDTRE!\$J\$2:\$J\$16599<>""))* (Elementi_BDTRE!\$B\$2:\$B\$16599=B2)*(Elementi_BDTRE!\$C\$2:\$C\$16599=C2)* (Elementi_BDTRE!\$D\$2:\$D\$16599=D2)*(Elementi_BDTRE!\$E\$2:\$E\$16599=E2)* (Elementi_BDTRE!\$F\$2:\$F\$16599=F2);0))

Le 4 formule in Tabella 5-56 servono rispettivamente per calcolare il valore medio di *mfw_sum*, *capa_sum*, *sped_med* e *aspd_max* degli elementi BDTRE, filtrati in base alle variabili ausiliarie che definiscono lo strato. Se all'interno dello strato non è presente alcun elemento dotato di variabile da imputare la formula riporta 0.

6. Nelle ultime 4 colonne (da K ad N) in Tabella 5-55 si possono copiare, in prima approssimazione, i valori medi ottenuti nelle 4 colonne precedenti (da G a J) e, successivamente, completare i valori nulli manualmente, applicando i criteri visti nel precedente paragrafo 5.2.5.1.

I valori TGM, C, Vf e V corrispondono rispettivamente alle variabili *mfw_sum*, *capa_sum*, *sped_med* e *aspd_max* integrate dalle imputazioni eseguite manualmente.

7. Tornando al foglio *Elementi_BDTRE* si predispongono le intestazioni delle ultime 4 colonne (da K ad N), come mostrato in Tabella 5-57, per inserire, successivamente, le formule di Tabella 5-58 nelle rispettive caselle ed, infine, estenderle sino alla riga dell'ultimo elemento BDTRE presente sul foglio.

Tabella 5-57 Foglio *Elementi_BDTRE* (parte 2)

	K	L	M	N
1	TGM	C	Vf	V
2	7234.57	3686.49	39.19	38.13
3	7999.44	6137.50	47.06	46.63
4	9167.26	5651.06	56.13	54.91
5	12001.67	5333.33	42.67	44.92
6	7234.57	3686.49	39.19	38.13
7	7234.57	3686.49	39.19	38.13
8	8725.88	7423.53	53.35	53.48
9	8725.88	7423.53	53.35	53.48
...

Tabella 5-58 Formule da inserire nell'intervallo K2:N2 del foglio Elementi_BDTRE

Cella	Formula
K2	=SE(G2<>"";G2;INDICE(Classi_Imputazione!K\$2:K\$688;CONFRONTA(1;(Classi_Imputazione!\$B\$2:\$B\$688=\$B2)*(Classi_Imputazione!\$C\$2:\$C\$688=\$C2)*(Classi_Imputazione!\$D\$2:\$D\$688=\$D2)*(Classi_Imputazione!\$E\$2:\$E\$688=\$E2)*(Classi_Imputazione!\$F\$2:\$F\$688=\$F2);0)))
L2	=SE(H2<>"";H2;INDICE(Classi_Imputazione!L\$2:L\$688;CONFRONTA(1;(Classi_Imputazione!\$B\$2:\$B\$688=\$B2)*(Classi_Imputazione!\$C\$2:\$C\$688=\$C2)*(Classi_Imputazione!\$D\$2:\$D\$688=\$D2)*(Classi_Imputazione!\$E\$2:\$E\$688=\$E2)*(Classi_Imputazione!\$F\$2:\$F\$688=\$F2);0)))
M2	=SE(I2<>"";I2;INDICE(Classi_Imputazione!M\$2:M\$688;CONFRONTA(1;(Classi_Imputazione!\$B\$2:\$B\$688=\$B2)*(Classi_Imputazione!\$C\$2:\$C\$688=\$C2)*(Classi_Imputazione!\$D\$2:\$D\$688=\$D2)*(Classi_Imputazione!\$E\$2:\$E\$688=\$E2)*(Classi_Imputazione!\$F\$2:\$F\$688=\$F2);0)))
N2	=SE(J2<>"";J2;INDICE(Classi_Imputazione!N\$2:N\$688;CONFRONTA(1;(Classi_Imputazione!\$B\$2:\$B\$688=\$B2)*(Classi_Imputazione!\$C\$2:\$C\$688=\$C2)*(Classi_Imputazione!\$D\$2:\$D\$688=\$D2)*(Classi_Imputazione!\$E\$2:\$E\$688=\$E2)*(Classi_Imputazione!\$F\$2:\$F\$688=\$F2);0)))

Le formule in Tabella 5-58 servono rispettivamente per riportare le variabili TGM, C, Vf e V risultanti, prelevandolo il valore puntuale dell'elemento BDTRE, se presente, o impuntando, in alternativa, il valore medio dello strato a cui l'elemento stesso appartiene.

- L'intero foglio Elementi_BDTRE può essere esportato, a questo punto, come file CSV per essere, successivamente, importato su Q-GIS.

Terminato, quindi, il processo di imputazione, i valori delle variabili TGM, C, Vf e V risultano definiti per ogni geometria BDTRE ed elencati sul file CSV importato in Q-GIS. Per riportare questi risultati sul vettore *Elementi_Corretti_v1*, è sufficiente eseguire un join con il file CSV, sfruttando la corrispondenza tra gli EL_ID, e trascrivere, successivamente, i valori uniti a ciascun elemento all'interno dei corrispettivi campi TGM, C, Vf e V, come mostrato in Tabella 5-59.

Tabella 5-59 Trascrizione dei risultati elencati sul file CSV sul vettore Elementi_Corretti_v1

Elementi_Corretti_v1 – Calcolatore di Campi	
Nome campo	TGM
Tipo campo	Integer(5)
Formula	"CSV_TGM"

Elementi_Corretti_v1 – Calcolatore di Campi	
Nome campo	C
Tipo campo	Integer(5)
Formula	"CSV_C"

Tabella 5-59 Trascrizione dei risultati elencati sul file CSV sul vettore Elementi_Corretti_v1

Elementi_Corretti_v1 – Calcolatore di Campi	
Nome campo	Vf
Tipo campo	Real(5, 2)
Formula	"CSV_Vf"

Elementi_Corretti_v1 – Calcolatore di Campi	
Nome campo	V
Tipo campo	Real(5, 2)
Formula	"CSV_V"

5.2.6 Costruzione degli archi BDTRE

Completati gli step precedenti si sono ottenuti tutti gli elementi necessari per procedere, a questo punto, con la corretta definizione degli archi del grafo BDTRE.

La procedura per l'aggregazione delle geometrie è, per gran parte, analoga a quanto visto nel paragrafo 5.1.4.6, con l'integrazione di alcuni passaggi aggiuntivi. Mentre gli archi OSM sono stati definiti, esclusivamente, dall'unione di segmenti consecutivi posti tra due nodi di intersezione, l'aggregazione delle geometrie BDTRE è, invece, volta a garantire la massima sovrapposibilità con i corrispettivi elementi del grafo OSM. Ecco perché la procedura generale, già esposta in precedenza, va, in questo caso, parzialmente rivisitata.

5.2.6.1 Aggregazione preliminare delle geometrie

Questa prima fase è quasi completamente sovrapposibile alla procedura esposta nel paragrafo 5.1.4.6, ragion per cui, nel seguito, ci si limita ad esporre i risultati principali e le maggiori differenze rispetto a quanto visto precedentemente:

- A. I primi due passaggi (pag. 90 e 91) sono da eseguire con la sola accortezza di selezionare i layer corretti: il vettore stradale *EL_Corretti_v1* e quello contenente i nodi *BDTRE-Nodi_v3*.
- B. Dal terzo punto (pag. 92) non emergono loop da rimuovere dalla rete.
- C. Al termine della quarta operazione (pag. 93) si ottengono i risultati seguenti:
 - 5019 elementi costituiscono un arco già formato;
 - 11579 elementi sono da aggregare e vengono esportati come *Archi_Incompleti*.
- D. Di seguito si riportano gli accorgimenti necessari per portare a termine le elaborazioni condotte su Excel (step 5 pag. 93):
 - Foglio *Archi_Incompleti*: poiché per le geometrie BDTRE non è noto il verso di percorrenza l'attributo oneway non è definito; questa nozione, tuttavia, non è rilevante in questa fase e l'inconveniente può essere risolto inserendo in colonna A il valore "B", che indica la bidirezionalità degli elementi (fare riferimento alla Tabella 5-23);
 - Foglio *Unione*: poiché gli archi completi sono 5019, il valore da inserire in A2 è, in questo caso, 5020 (fare riferimento alla Tabella 5-24);

Costruzione del grafo di riferimento

- Foglio *Unione*: gli elementi incompleti sono 11579 e, quindi, gli intervalli riferiti al foglio *Archi_Incompleti* presenti nelle formule contenute nel range B2:H3, vanno aggiornati sostituendo all'ultima riga il valore 11580, tramite lo strumento "Trova e sostituisci" (fare riferimento alla Tabella 5-24).

Esempio: `Archi_Incompleti!A1:Gultima_riga` → `Archi_Incompleti!A1:G11580`;

- Al termine della procedura la numerazione dell'ultimo arco risulta pari a 7450.
- E. I passaggi 6, 7, 8 (pag. 101, 102 e 102) possono essere eseguiti senza alcuna particolare raccomandazione.
- F. Al punto 9 (pag. 103), i campi da predisporre dovrebbero, in questo caso, essere: EL_ID, L [m], TGM, C, Vf e V. In questo stadio dell'elaborazione si possono, tuttavia, omettere i suddetti attributi, rimandando il compito alle fasi conclusive.
- G. Omettendo gli attributi aggiuntivi, l'ultima operazione (step 10 a pag 104) potrà essere eseguita aggregando gli elementi come mostrato in Figura 5-54, senza la necessità di apportare correzioni per i campi stringa con più di 254 caratteri.

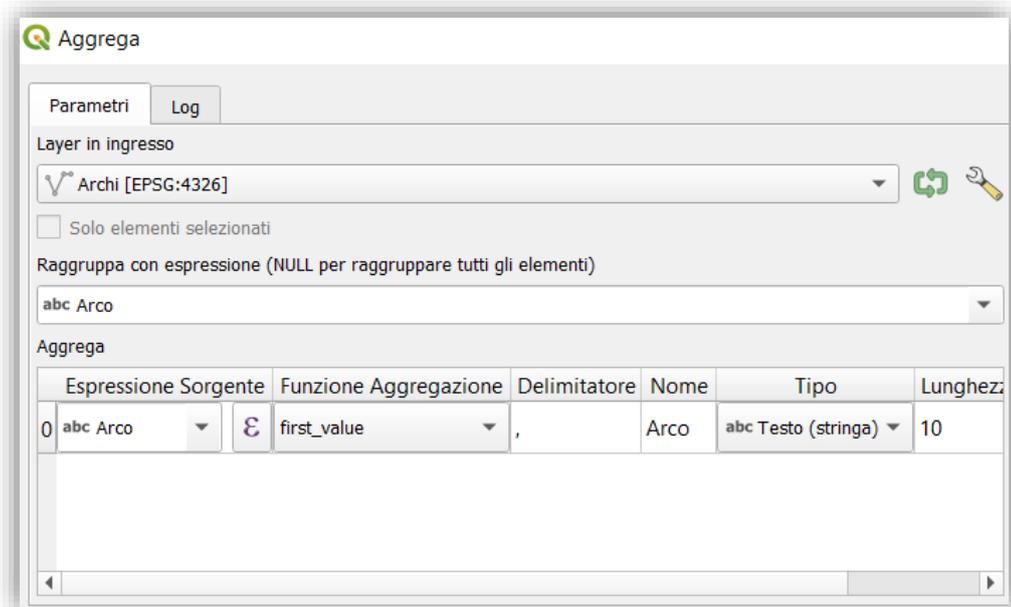


Figura 5-54 Aggregazione dei segmenti stradali contenuti sul layer *Archi* secondo l'attributo *Arco*

Il vettore *Aggregato*, così ottenuto e sistemato, può quindi essere esportato sul file *Archi.shp* selezionando l'opzione "Sovrascrivi File".

Il risultato di questa aggregazione preliminare sarà, dunque, il vettore *Archi* contenente 7450 elementi.

5.2.6.2 Aggregazione aggiuntiva degli elementi loop

Con questa procedura aggiuntiva si vanno a ricercare gli elementi ulteriormente aggregabili, al fine di migliorare la sovrapposibilità delle geometrie risultanti con gli archi del grafo OSM.

Si osserva, in particolare, la presenza di alcuni elementi ad anello, generalmente rotonde o piazze, che, non presentando una corrispondenza sulla rete OSM, generano discrepanze ed accentuano la frammentazione dei tracciati, Figura 5-55.

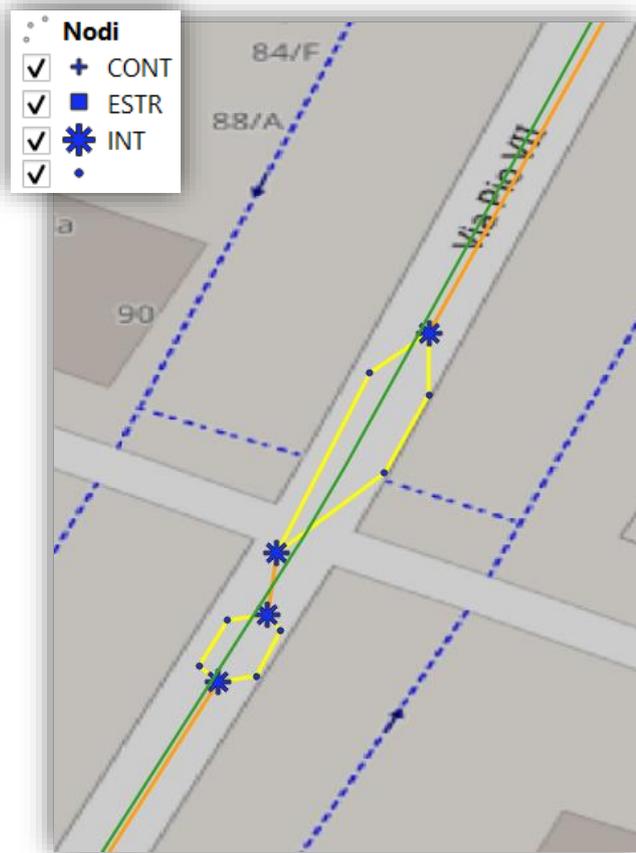


Figura 5-55 Esempio di elementi BDTRE ad anello senza una corrispondenza OSM

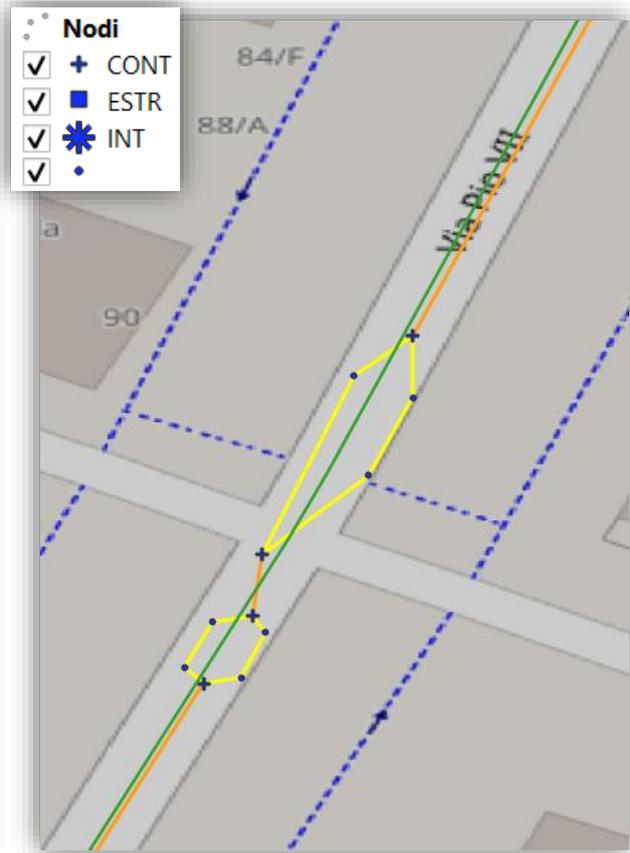


Figura 5-56 Nodi risultanti a seguito dell'aggregazione degli archi BDTRE costituenti un anello

Nell'esempio in Figura 5-55 si individuano due loop (elementi evidenziati in giallo) che non presentano una corrispondenza sul grafo OSM (arco riportato in verde). Questa discrepanza comporta che al singolo arco OSM corrispondano ben 7 archi BDTRE, intervallati da 4 nodi di intersezione non presenti sulla prima rappresentazione.

Aggregando gli archi che compongono ciascun anello, i vertici alle loro estremità non risulterebbero più dei punti d'intersezione (INT), ma dei punti di congiunzione tra il loop stesso e l'elemento adiacente (CONT), come in Figura 5-56. A seguito di una correzione di questo tipo sarebbe, quindi, possibile aggregare ulteriormente le geometrie in un unico elemento che, infine, corrisponderebbe all'arco OSM.

La correzione descritta nell'esempio può essere effettuata sull'intera rete procedendo come segue:

1. Occorre, innanzitutto, individuare gli elementi che costituiscono un anello chiuso interposto tra due segmenti di rettilineo.

Questa ricerca può essere svolta ragionando sull'identificativo spaziale (GeoID) dei nodi di estremità di ciascun elemento:

- A. Due o più elementi costituiscono un loop solo se le loro estremità coincidono. In altre parole, due segmenti formeranno un anello se, pur seguendo percorsi differenti, avranno stesso punto iniziale e finale.
- B. Non è, tuttavia, detto che questi elementi abbiano lo stesso orientamento ed immaginando una circolazione rotatoria è, anzi, probabile il contrario. Se così fosse, un arco partirebbe dal punto finale e terminerebbe nel punto iniziale del suo complementare.

Dopo aver ridefinito gli identificativi delle estremità del vettore *Archi* (GeoID_i e GeoID_f), si potrà generare un campo di unione attraverso la formulazione mostrata in Tabella 5-60, che metterà in pratica l'osservazione A, risolvendo l'incertezza espressa al punto B.

Tabella 5-60 Generazione del campo di unione degli elementi BDTR che costituiscono un anello

Archi – Calcolatore di Campi	
Nome campo	Unione
Tipo campo	String(30)
Formula	if("GeoID_i" < "GeoID_f", concat("GeoID_i", '-', "GeoID_f"), concat("GeoID_f", '-', "GeoID_i"))

- È possibile, conseguentemente, aggregare le geometrie sulla base del campo Unione, come mostrato in Figura 5-57.

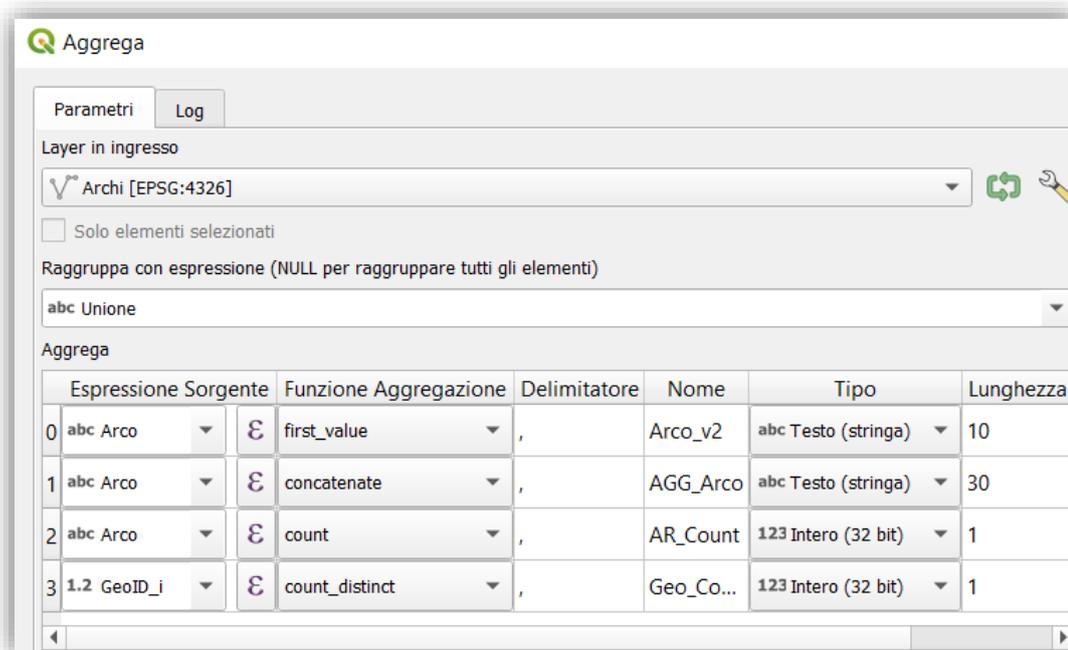


Figura 5-57 Aggregazione degli elementi BDTR costituenti un anello, attraverso il campo Unione

- Il campo AR_Count è stato introdotto per conteggiare gli elementi uniti. Le geometrie che non compongono un loop non verranno aggregate e, quindi, saranno contraddistinte da AR_Count = 1. Selezionando e rimuovendo dal layer *Aggregato* tutti gli elementi con AR_Count pari ad 1 verranno, dunque, conservati solo 138 geometrie chiuse ad anello.
- A questo punto è necessario supervisionare gli elementi residui e, dal confronto con gli archi OSM, stabilirne o meno la necessità di aggregazione. Dalla disamina dei 138 elementi del vettore *Aggregato* si determinano i seguenti risultati:
 - 41 anelli non hanno un corrispettivo OSM e la loro aggregazione si rende, dunque, necessaria;
 - 97 loop trovano, invece, effettiva corrispondenza sul grafo OSM e vengono, quindi, rimossi dal layer *Aggregato*.

5. Per unire i valori ottenuti alle geometrie contenute sul layer *EL_Corretti_v1*, si suggerisce di fare ricorso allo strumento “Unisci attributi per posizione”, come mostrato in Figura 5-58.

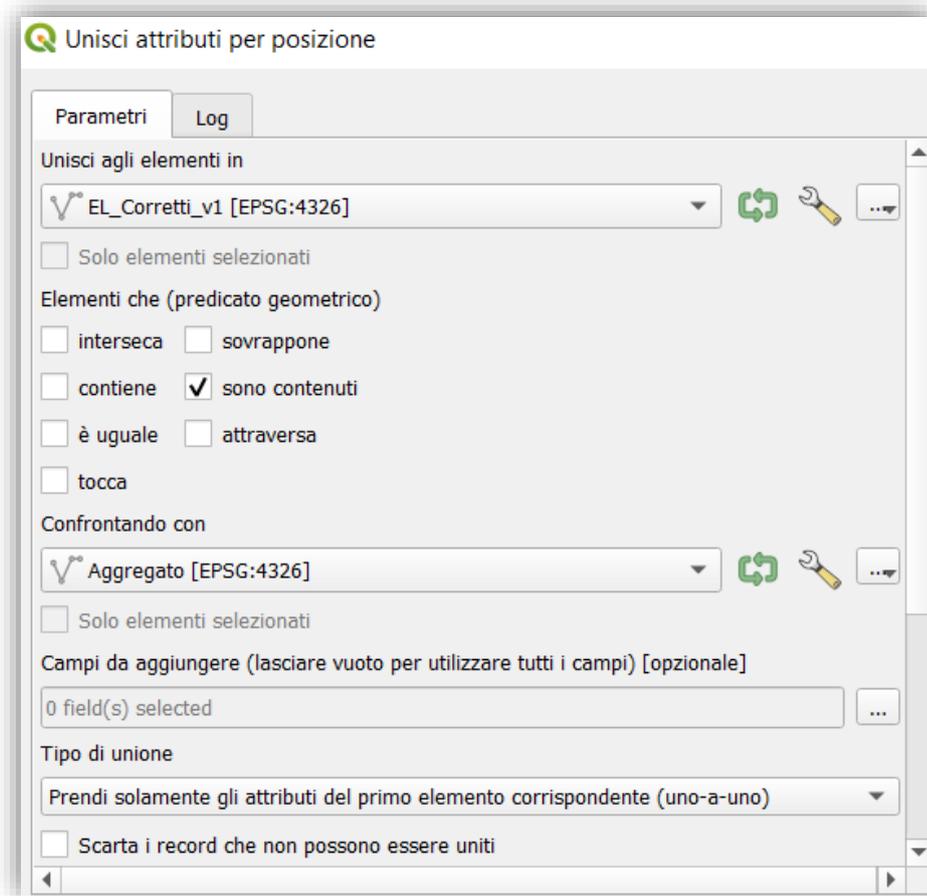


Figura 5-58 Unione degli attributi dal layer Aggregato con le geometrie del vettore *EL_Corretti_v1*

Il layer *Vettore unito*, così ottenuto, può essere esportato sul file *EL_Corretti_v1.shp* selezionando l'opzione “Sovrascrivi File”.

6. Il campo *Geo_Count*, previsto in fase di aggregazione (Figura 5-57), serve per valutare se l'estremità iniziale degli elementi aggregati è la stessa. Quando il *Geo_Count* è pari ad 1 significa, infatti, che le geometrie hanno origine nello stesso punto e, quindi, che sono tutte orientate allo stesso modo.

È indispensabile che gli elementi aggregati in un loop abbiano stessa direzione perché, viceversa, la geometria risultante avrebbe le estremità iniziale e finale coincidenti ($GeoID_i = GeoID_f$). Si rende, dunque, necessario invertire il verso degli elementi il cui complementare ha orientamento opposto.

Questa operazione può essere eseguita come segue:

- Si devono, innanzitutto, scegliere gli elementi da invertire presenti sul layer *EL_Corretti_v1*.

Come anticipato, i loop costituiti da geometrie con verso discorde sono contraddistinti da un valore di *Geo_Count* > 1, ma adottando questo unico criterio di selezione verrebbero coinvolti sia gli elementi da invertire che i loro rispettivi complementari. Non è rilevante quale degli

elementi dell'anello venga scelto ma è chiaro che, per ottenere un orientamento concorde, si debba eseguire l'inversione solo di una delle parti complementari.

Per far fronte a questo inconveniente è possibile ragionare sull'attributo Arco_v2, introdotto in fase di aggregazione (punto 2, Figura 5-57), in cui viene riportato l'identificativo del primo elemento aggregato. Sul layer *EL_Corretti_v1*, dunque, si potrà selezionare solo il primo elemento costitutivo di ciascun loop (Arco = Arco_v2) contenente una geometria dal verso discorde (Geo_Count > 1), come indicato in Tabella 5-61.

Tabella 5-61 Selezione degli elementi di loop da invertire

EL_Corretti_v1 – Seleziona con Espressione	
Formula	"Arco" = "Arco_v2" and "Geo_Count" > 1

- Si può, quindi, utilizzare lo strumento "Inverti verso linea" sulla selezione effettuata;
 - Si sostituiscono, infine, le geometrie del vettore *Invertito* sul layer *EL_Corretti_v1*.
7. È opportuno, a questo punto, completare il campo Arco_v2 del vettore *EL_Corretti_v1*, per riportare anche gli identificativi degli archi non coinvolti nell'aggregazione addizionale, Tabella 5-62.

Tabella 5-62 Aggiornamento dell'identificativo Arco_v2 derivante dall'aggregazione addizionale degli elementi BDTRE

EL_Corretti_v1 – Calcolatore di Campi	
Aggiorna campo esistente	Arco_v2
Tipo campo	String(10)
Formula	if("Arco_v2" is null, "Arco", "Arco_v2")

8. Occorre, successivamente, intervenire sull'ordine di aggregazione per evitare che una nuova classificazione dei nodi porti alla luce la presenza di errori. La soluzione più semplice consiste nel modificare l'attributo Order dei soli elementi complementari appartenenti ad un loop.

Si noti, innanzitutto, che nel caso in esame, le singole geometrie che costituiscono un anello non sono mai più di 9. Con la soluzione seguente si riesce, dunque, a correggere la sequenza di unione (Order) dei segmenti che costituiscono il primo arco di un loop, senza generare conflitti con l'ordine di aggregazione degli elementi del suo complementare:

- Per gli elementi che compongono il primo arco di un loop con versi concordi (Arco = Arco_v2 e Geo_Count = 1) si incrementa di 10 l'attributo Order. In questo modo verranno aggregati con lo stesso ordine originale, ma solo dopo i segmenti che compongono l'arco complementare.
- Per gli elementi che compongono il primo arco di un loop con versi discordi (Arco = Arco_v2 e Geo_Count > 1), invece, si sottrae a 20 il valore di Order. Così facendo verranno aggregati con ordine inverso rispetto all'originale, ma solo dopo i segmenti che compongono l'arco complementare.
- In tutti i casi rimanenti l'attributo Order non necessita variazioni.

Si introduce, quindi, il nuovo campo Order_v2, Tabella 5-63.

Tabella 5-63 Generazione del campo Order_v2 per il layer EL_Corretti_v1

EL_Corretti_v1 – Calcolatore di Campi	
Nome campo	Order_v2
Tipo campo	Integer(2)
Formula	if("Arco" = "Arco_v2" and "Geo_Count" = 1, 10 + "Order", if("Arco" = "Arco_v2" and "Geo_Count" > 1, 20 - "Order", "Order"))

In seguito, si utilizza il comando “Ordina con espressione” per ordinare le geometrie di *EL_Corretti_v1* secondo l’attributo Order_v2. Il layer *Ordinato* può essere esportato sovrascrivendo il file *EL_Corretti_v1.shp*.

- Si aggregano, a questo punto, gli elementi del layer *EL_Corretti_v1* secondo l’attributo Arco_v2, Figura 5-59.

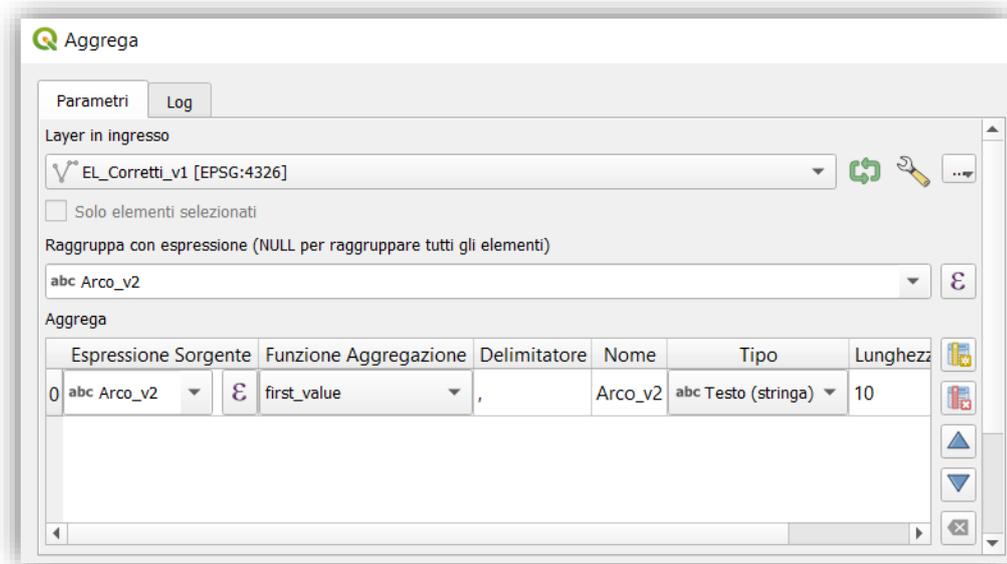


Figura 5-59 Aggregazione delle geometrie del vettore *EL_Corretti_v1* secondo l’attributo *Arco_v2*

Il vettore *Aggregato*, contenente 7409 archi, può essere esportato come *AGG_Archi*.

- Si ridefiniscono, quindi, i campi GeoID_i, GeoID_f e si aggiorna la classificazione dei nodi del vettore *AGG_Archi*, ripetendo gli step esposti al paragrafo 5.2.4.1 e salvando i risultati su un nuovo file *Nodi_AGG.shp*. Da quest’operazione si ottengono i seguenti risultati:

- 4672 nodi INT;
- 97 nodi ESTR;
- 77 nodi CONT;
- 31279 vertici interni (null).

La presenza residua di nodi CONT indica la possibilità di aggregare ulteriormente le geometrie, operazione che verrà svolta nel paragrafo seguente.

5.2.6.3 Aggregazione definitiva

L'aggregazione finale del vettore *AGG_Archi*, ottenuto nel paragrafo precedente (5.2.6.2), segue, nuovamente, la procedura già illustrata al paragrafo 5.1.4.6 (pag. 90).

Di seguito si riportano i risultati principali e le maggiori variazioni rispetto alla procedura standard:

- A. Non occorre eseguire il punto 1 poiché la sola lunghezza di interesse è quella degli elementi disaggregati appartenenti al layer *EL_Corretti_v1*, già ricavata durante la prima aggregazione (5.2.6.1);
- B. Il vettore dei nodi da utilizzare al punto 2 è *Nodi_AGG*, ottenuto alla fine del paragrafo precedente (5.2.6.2);
- C. I loop individuati al punto 3 vengono corretti agendo sulla classificazione dei vertici di estremità del vettore *AGG_Archi* (Nodo_i e Nodo_f). Nello specifico si individuano 3 elementi ad anello posti all'estremità di un percorso, di cui:
 - 2 trovano corrispondenza sul grafo OSM e non necessitano di aggregazione. La correzione consiste nel cambiare le estremità dei loop e dei percorsi ad essi interconnessi da "CONT" ad "ESTR";
 - 1 va aggregata per garantire una migliore compatibilità con il relativo arco OSM. In questo caso, si modifica in "ESTR" solo l'estremo finale (Nodo_f) del loop, così da scongiurare la comparsa di errori nella fase di aggregazione condotta su Excel.
- D. Nel corso del punto 4, l'identificativo degli archi completi viene memorizzato sul campo *Arco_Def*, per non sovrascrivere i risultati parziali riportati in *Arco*.

In questa fase si ottengono:

- 7308 archi già formati, di cui 4 derivanti dalla correzione dei 2 loop vista al punto precedente;
 - 101 archi da aggregare esportati sul file *Archi_Incompleti.shp*.
- E. Di seguito si riportano gli accorgimenti necessari per portare a termine le elaborazioni condotte su Excel (punto 5):
- Foglio *Archi_Incompleti*: in colonna D si inserisce l'attributo *Arco_v2* al posto di *EL_ID* (fare riferimento alla Tabella 5-23);
 - Foglio *Archi_Incompleti*: poiché l'orientamento delle geometrie non è noto se ne stabilisce la loro bidirezionalità, inserendo il valore "B" nella colonna A (fare riferimento alla Tabella 5-23);
 - Foglio *Unione*: poiché gli archi completi sono 7308, il valore da inserire in A2 è, in questo caso, 7309. Per maggior coerenza con i punti precedenti si cambia l'intestazione della colonna A in "Arco_Def" (fare riferimento alla Tabella 5-24).
 - Foglio *Unione*: gli elementi incompleti sono 101, quindi, occorre aggiornare gli intervalli presenti nelle formule contenute nel range B2:H3, sostituendo all'ultima riga il valore 102, tramite lo strumento "Trova e sostituisci" (fare riferimento alla Tabella 5-24).
- Esempio: *Archi_Incompleti!*\$A\$1:\$G\$ultima_riga → *Archi_Incompleti!*\$A\$1:\$G\$102;
- Al termine della procedura la numerazione dell'ultimo arco risulta pari a 7334.

F. In questa fase, analogamente a quanto svolto al punto 6, viene mostrato come riportare correttamente gli attributi presenti sul file testuale *Archi.csv*, ricavati durante la procedura su Excel:

- Si effettua l'unione del layer testuale *Archi* con il vettore *EL_Corretti_v1*, selezionando *Arco_v2* per i campi di unione e destinazione, Figura 5-60.

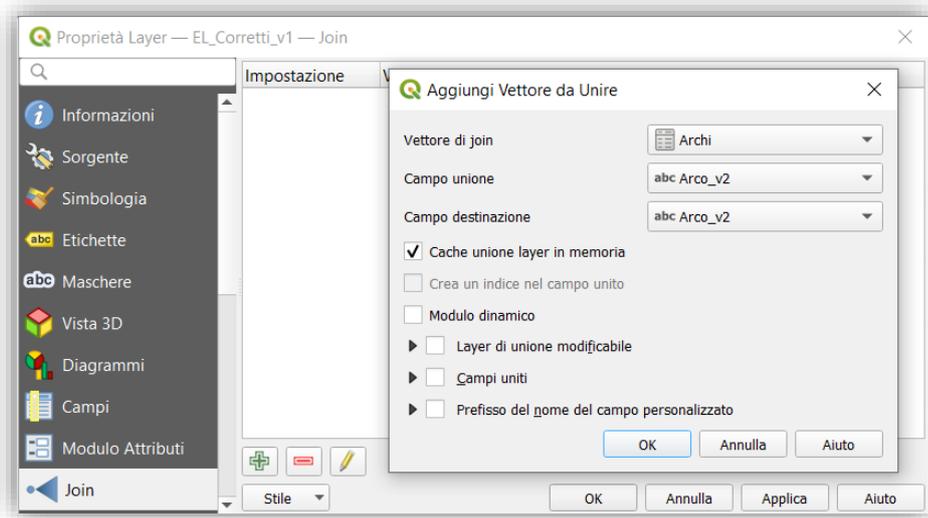


Figura 5-60 join di *EL_Corretti_v1* con *Archi.csv* attraverso l'attributo *Arco_v2*

- Una volta eseguito il join il trasferimento può essere effettuato tramite il calcolatore di campi, Tabella 5-64.

Tabella 5-64 Trasferimento dei risultati contenuti in *Archi.csv* al vettore *EL_Corretti_v1*

EL_Corretti_v1 – Calcolatore di Campi	
Aggiorna campo esistente	Arco_Def
Tipo campo	String(10)
Formula	if("Archi_Arco_Def" is null, "Arco_Def", "Archi_Arco_Def")

EL_Corretti_v1 – Calcolatore di Campi	
Aggiorna campo esistente	INV
Tipo campo	String(1)
Formula	if("Archi_inv" = 'VERO', 'T', 'F')

EL_Corretti_v1 – Calcolatore di Campi	
Nome campo	Order_v3
Tipo campo	Integer(4)
Formula	if("Archi_Order" is null, 0,"Archi_Order" * 100) + if("Archi_INV" = 'VERO', 20 - "Order_v2", "Order_v2")

Per comprendere il significato della formula relativa ad *Order_v3*, mostrata in Tabella 5-64, si forniscono i seguenti chiarimenti:

- L'attributo Archi_Order (campo Order contenuto sul file Archi) descrive la sequenza di aggregazione degli archi all'interno dell'arco definitivo;
- Ciascun arco è stato ottenuto a sua volta aggregando preventivamente gli elementi secondo Order_v2;
- La formula relativa ad Order_v3 descrive, infine, l'ordinamento finale con cui i singoli elementi dovranno essere uniti per ottenere direttamente l'arco definitivo.

In pratica, gli elementi verranno ordinati, innanzitutto, secondo la successione degli archi a cui appartengono (Archi_Order) e, successivamente, secondo il proprio ordinamento all'interno dell'arco stesso (Order_v2), eventualmente invertito dove l'orientamento viene scambiato ($20 - \text{Order}_v2$).

Nella seguente Figura 5-61 si riporta un esempio del risultato ottenuto dal calcolo di Order_v3.



Figura 5-61 Esempio relativo alla sequenza di aggregazione definitiva degli elementi, impartita dall'attributo Order_v3

Nell'esempio illustrato in Figura 5-61 si evidenzia un percorso contenente un loop ed il relativo ordine di aggregazione definitivo (Order_v3).

Si può, innanzitutto, constatare che l'arco definitivo è costituito da 9 elementi che verranno uniti secondo la sequenza impartita da Order_v3: 101, 102, 103, 104, 201, 202, 211, 212, 301.

Osservando l'ultima cifra della numerazione si può intuire che durante l'aggregazione preliminare gli elementi erano stati uniti in 4 archi con l'ordine seguente:

- Arco 1. 1, 2, 3, 4;
- Arco 2. 1, 2;
- Arco 3. 1, 2;
- Arco 4. 1.

Osservando, invece, le ultime 2 cifre si può ricostruire l'aggregazione addizionale dell'anello centrale, in seguito alla quale gli elementi venivano uniti in 3 archi con l'ordine seguente:

- Arco 1. 1, 2, 3, 4;
- Arco 2. 1, 2, 11, 12;
- Arco 3. 1.

Comprendendo, in definitiva, che non è rilevante che i numeri siano consecutivi ma che è sufficiente che siano in ordine crescente, l'aggregazione potrà avvenire correttamente seguendo la sequenza dettata da Order_v3.

- G. Sulla base degli attributi INV e Order_v3 si possono, dunque, correggere l'orientamento e la sequenza di aggregazione delle geometrie contenute in *Elementi_Corretti_v1*, procedendo come mostrato nei punti 7 ed 8.
- H. Si predispone, successivamente, il file *Archi_Def.shp* su cui eseguire l'aggregazione finale, analogamente a quanto esposto al punto 9. In questo caso, però, per eseguire il concatenamento degli attributi EL_ID, L [m], TGM, C, Vf, V occorre convertire in stringa i relativi campi, come riportato in Tabella 5-67.

Tabella 5-65 Conversione dei campi numerici in stringhe e sistemazione del vettore Archi_Def

Archi_Def – Calcolatore di Campi	
Nome campo	AGG_EL_ID
Tipo campo	String(10)
Formula	"EL_ID"

Archi_Def – Calcolatore di Campi	
Nome campo	AGG_L [m]
Tipo campo	String(10)
Formula	round("L [m]", 2)

Archi_Def – Calcolatore di Campi	
Nome campo	AGG_TGM
Tipo campo	String(5)
Formula	"TGM"

Archi_Def – Calcolatore di Campi	
Nome campo	AGG_C
Tipo campo	String(5)
Formula	"C"

Archi_Def – Calcolatore di Campi	
Nome campo	AGG_Vf
Tipo campo	String(6)
Formula	"Vf"

Archi_Def – Calcolatore di Campi	
Nome campo	AGG_V
Tipo campo	String(6)
Formula	"V"

- I. L'aggregazione definitiva viene effettuata attraverso il comando "Aggrega", come nel punto 10, selezionando, però, Arco_Def come espressione di aggregazione ed impostando i campi di output come mostrato in Figura 5-62.

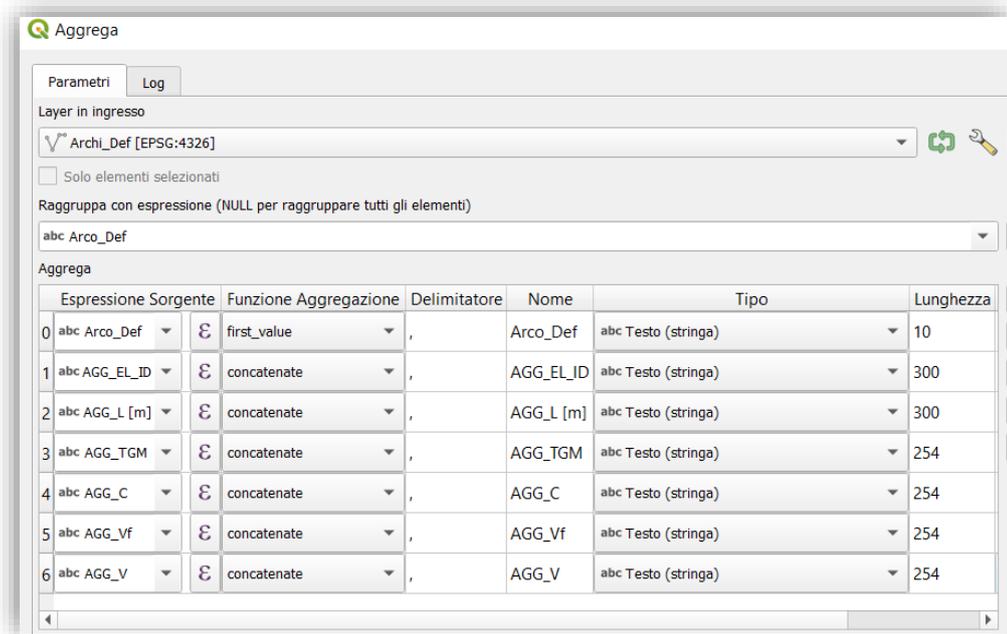


Figura 5-62 Aggregazione dei segmenti stradali contenuti sul layer Archi_Def secondo l'attributo Arco_Def

Come si può osservare dalla Figura 5-62, i campi AGG_EL_ID ed AGG_L [m] superano il limite dei 254 caratteri e devono essere, quindi, ripartiti su due colonne ciascuno, Tabella 5-66 e Tabella 5-67.

Tabella 5-66 Ripartizione del campo AGG_EL_ID in 2 colonne di lunghezza inferiore a 254 caratteri

Aggregato – Calcolatore di Campi	
Nome campo	AGG_EL_ID1
Tipo campo	String(254)
Formula	if(length("AGG_EL_ID") <= 254, "AGG_EL_ID", array_to_string(array_slice(string_to_array("AGG_EL_ID", ','), 0, floor(array_length(string_to_array("AGG_EL_ID", ','))/2))))

Aggregato – Calcolatore di Campi	
Nome campo	AGG_EL_ID2
Tipo campo	String(254)
Formula	if(length("AGG_EL_ID") <= 254, null , array_to_string(array_slice(string_to_array("AGG_EL_ID", ','), floor(array_length(string_to_array("AGG_EL_ID", ','))/2 + 1), -1))

Tabella 5-67 Ripartizione del campo AGG_L [m] in 2 colonne di lunghezza inferiore a 254 caratteri

Aggregato – Calcolatore di Campi	
Nome campo	AGG_L1
Tipo campo	String(254)
Formula	if(length("AGG_L [m]") <= 254, "AGG_L [m]", array_to_string(array_slice(string_to_array("AGG_L [m]", ','), 0, floor(array_length(string_to_array("AGG_L [m]", ','))/2))))

Aggregato – Calcolatore di Campi	
Nome campo	AGG_L2
Tipo campo	String(254)
Formula	if(length("AGG_L [m]") <= 254, null , array_to_string(array_slice(string_to_array("AGG_L [m]", ','), floor(array_length(string_to_array("AGG_L [m]", ','))/2 + 1), -1)))

Il layer *Aggregato*, così ottenuto, può essere esportato, infine, come *Archi_Def.shp*, sovrascrivendo il file esistente.

5.2.6.4 Definizione delle proprietà globali degli archi

Nei paragrafi precedenti si è visto come portare a termine l'aggregazione delle geometrie tenendo traccia delle proprietà dei singoli elementi. A tal proposito, al termine del paragrafo 5.2.6.3 (punto I), viene mostrato come concatenare correttamente gli attributi di interesse per non perdere alcuna informazione.

A ciascun arco ottenuto sino a questo punto, risultano, quindi, associati tutti gli attributi delle singole geometrie costituenti, memorizzati come stringa all'interno dei campi seguenti: AGG_EL_ID1, AGG_EL_ID2, AGG_L1, AGG_L2, AGG_TGM, AGG_C, AGG_Vf, AGG_V.

In questa fase verranno, dunque, definiti i criteri per ottenere le proprietà globali di ciascun arco, sulla base degli attributi relativi agli elementi disaggregati.

1. Definizione dell'attributo globale TGM:

Si è deciso di stimare il parametro TGM come media dei valori puntuali AGG_TGM pesata sulle distanze contenute nei campi AGG_L1 ed AGG_L2, applicando la Formula 5-14.

Formula 5-14 TGM stimato come media pesata sulle lunghezze

$$TGM_{Arco} = \frac{\sum_i^n TGM_i \cdot L_i}{L_{Arco}} = \frac{\sum_i^n TGM_i \cdot L_i}{\sum_i^n L_i}$$

- $n = n^\circ$ totale di elementi aggregati nell'arco;
- $i =$ valore corrispondente all' i -esimo elemento concatenato.

Tale scelta è funzionale allo scopo per il quale il grafo è costruito (paragonare flussi misurati con i dati da telefonia). Per altri scopi, ad esempio analisi di congestione, sarebbe stato preferibile considerare il TGM massimo fra i valori puntuali. Ricordando che il campo contenente le lunghezze è stato ripartito su due colonne, la Formula 5-14 può essere implementata in Q-GIS come mostrato in Tabella 5-68.

Tabella 5-68 Implementazione in Q-GIS del calcolo di TGM, stimato come media pesata sulle lunghezze

Archi_Def – Calcolatore di Campi	
Nome campo	TGM
Tipo campo	Integer(5)
Formula	<pre>array_sum(array_foreach(generate_series(0, array_length(string_to_array("AGG_TGM", ',')) -1), array_get(string_to_array("AGG_TGM", ','), @element) * array_get(array_cat(string_to_array("AGG_L1", ','), if("AGG_L2" is null, array(), string_to_array("AGG_L2", ','))), @element))) / array_sum(array_foreach(array_cat(string_to_array("AGG_L1", ','), if("AGG_L2" is null, array(), string_to_array("AGG_L2", ','))), to_real(@element)))</pre>

Le funzioni utilizzate in Tabella 5-68 sono sufficientemente auto esplicative e si rimanda al manuale di Q-GIS per eventuali chiarimenti.

Di seguito si riportano, dunque, solo gli espedienti escogitati per un uso ottimale delle funzioni:

- Il modo più rapido per ottenere il prodotto dell'i-esimo valore di AGG_TGM con la relativa lunghezza AGG_L consisterebbe nell'effettuare un ciclo tra gli elementi dei due vettori e moltiplicare ad ogni iterazione gli elementi con stesso indice. Questa operazione sarebbe facilmente eseguibile attraverso un ciclo FOR, ma questa opzione non è presente sul Calcolatore di Campi.

L'unico modo per ottenere il risultato desiderato consiste, dunque, nel costruire la funzione FOR attraverso l'utilizzo combinato delle funzioni *array_foreach*, *generate_series* ed *array_get*:

Con la funzione *generate_series* si genera un vettore contenente una successione di numeri interi che, in questo caso, sarà ordinata da 0 ad n - 1, con n corrispondente al numero di elementi concatenati (*array_length*). Questa sequenza fornisce gli indici corrispondenti alla posizione di ciascun elemento all'interno del vettore. Si fa presente che avendo valorizzato tutti gli attributi mancanti, paragrafo 5.2.5, le stringhe contenute nei campi denotati con "AGG" rappresentano dei vettori (*string_to_array*) con lo stesso numero di elementi (*array_length*).

Passando, successivamente, *generate_series* come argomento di *array_foreach*, si effettua un ciclo in cui ad ogni iterazione il valore *@element* corrisponde all'indice corrente dell'elemento.

Si potranno, infine, selezionare gli elementi in base alla loro posizione all'interno del vettore, utilizzando *array_get* per estrarre le entità con indice pari ad *@element*.

- Quando l'array AGG_L2 è vuoto, il concatenamento, *array_cat*, dei due campi complementari (AGG_L1, AGG_L2) produce un errore che restituisce il valore null. Per evitare l'inconveniente è sufficiente sostituire ad AGG_L2 un vettore vuoto(*array()*).
- La somma delle lunghezze presente al denominatore restituisce un errore se non si provvede a convertire gli elementi della sommatoria in numeri decimali. In questo caso si usa la funzione *array_foreach* in maniera tradizionale, per sostituire ogni elemento del vettore con il corrispondente valore numerico (*to_real(@element)*)

2. Per quanto riguarda l'attributo relativo alla capacità C, si prospettano due alternative:

- Valore minimo

Si può adottare per l'intero arco il valore associato al segmento con la capacità minima, immaginando che tale elemento produca l'effetto "collo di bottiglia" in grado di compromettere il deflusso dell'intera tratta, Tabella 5-69.

Tabella 5-69 Implementazione in Q-GIS del calcolo di Cmin, stimata ipotizzando l'effetto "collo di bottiglia"

Archi_Def – Calcolatore di Campi	
Nome campo	Cmin
Tipo campo	Integer(5)
Formula	array_min(array_foreach(string_to_array("AGG_C", ','), to_int(@element)))

- Valore medio

Risulta poco sensato calcolare il valore medio di capacità semplicemente attraverso una media aritmetica. Una soluzione ragionevole si può individuare esplorando la teoria del deflusso ininterrotto e le ipotesi di Greenshields, considerando le formule mostrare in Figura 5-63.

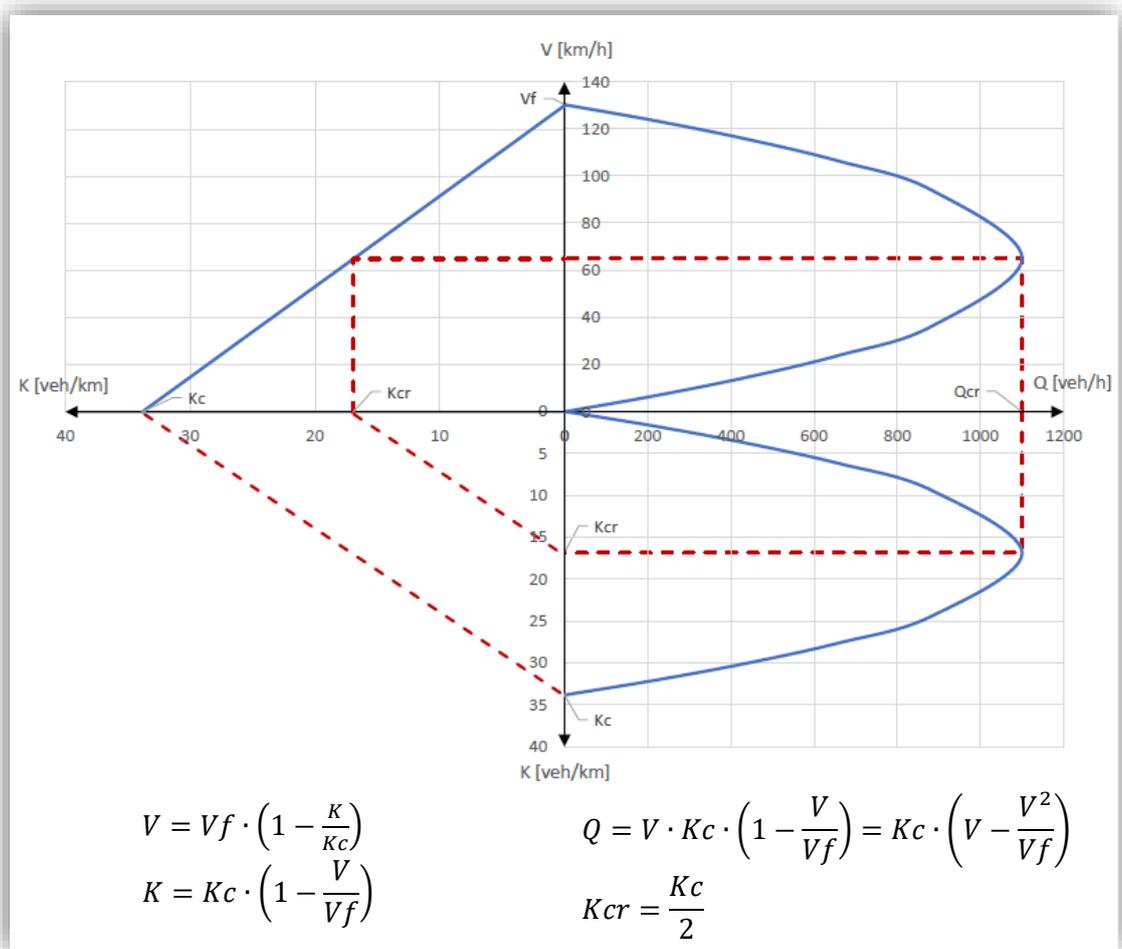


Figura 5-63 Teoria del deflusso ininterrotto - Ipotesi di Greenshields

Dalle ipotesi di Greenshields si ricava la seguente Formula 5-15.

Formula 5-15 Flusso critico Q_{cr} e densità di congestamento K_c

$$Q_{cr} = K_c \cdot \left(V - \frac{V^2}{V_f} \right) = K_c \cdot \left[\frac{V_f}{2} - \frac{\left(\frac{V_f}{2} \right)^2}{V_f} \right] = \frac{1}{4} K_c \cdot V_f \quad K_c = 4 \frac{Q_{cr}}{V_f}$$

Ipotizzando che la capacità del tronco stradale C sia stata progettata per sostenere il flusso critico Q_{cr} si ottiene la Formula 5-16.

Formula 5-16 Densità di congestamento K_c in funzione della capacità C

$$K_c = 4 \frac{C}{V_f}$$

Il valore di densità K_c di un arco, dato dall'aggregazione di più tratte, può essere calcolato come somma del numero di veicoli presenti su ciascun segmento (pari al prodotto $K_{c_i} \cdot L_i$), in condizioni di congestamento, divisa per la lunghezza totale dell'arco, come in Formula 5-17.

Formula 5-17 Densità di congestamento K_c globale di un arco

$$K_{C_{Arco}} = \frac{\sum_i^n K_{c_i} \cdot L_i}{L_{Arco}} = \frac{\sum_i^n K_{c_i} \cdot L_i}{\sum_i^n L_i}$$

Il valore medio di capacità per l'intero arco, quindi, può essere calcolato come in Formula 5-18:

Formula 5-18 Capacità media di un arco

$$C_{Arco} = \frac{1}{4} K_{C_{Arco}} \cdot V_{f_{Arco}} = \frac{1}{4} \frac{\sum_i^n K_{c_i} \cdot L_i}{\sum_i^n L_i} \cdot \frac{\sum_i^n L_i}{\sum_i^n \frac{L_i}{V_i}} = \frac{1}{4} \frac{\sum_i^n K_{c_i} \cdot L_i}{\sum_i^n \frac{L_i}{V_i}} = \frac{\sum_i^n C_i \cdot \frac{L_i}{V_i}}{\sum_i^n \frac{L_i}{V_i}}$$

Implementando la Formula 5-18 nel Calcolatore di Campi, si ricava quanto mostrato in Tabella 5-70.

Tabella 5-70 Implementazione in Q-GIS del calcolo di Cmed, stimata secondo le ipotesi di Greenshields

Archi_Def – Calcolatore di Campi	
Nome campo	Cmed
Tipo campo	Integer(5)
Formula	array_sum(array_foreach(generate_series(0, array_length(string_to_array("AGG_C" ,','))-1, array_get(string_to_array("AGG_C" ,','), @element) * array_get(array_cat(string_to_array("AGG_L1" ,','), if("AGG_L2" is null, array(), string_to_array("AGG_L2" ,','))), @element) /1000 / array_get(string_to_array("AGG_Vf" ,','), @element))) / array_sum(array_foreach(generate_series(0, array_length(string_to_array("AGG_C" ,','))-1, array_get(array_cat(string_to_array("AGG_L1" ,','), if("AGG_L2" is null, array(), string_to_array("AGG_L2" ,','))), @element) /1000 / array_get(string_to_array("AGG_Vf" ,','), @element)))

Chiaramente il caso in esame, riguardante una realtà urbana, presenta una rete stradale costellata da numerose intersezioni ed è, quindi, distante dalle ipotesi di flusso ininterrotto. Considerate, tuttavia, tutte le incertezze e le approssimazioni adottate in questa procedura una ulteriore semplificazione può ritenersi accettabile.

3. Definizione degli attributi globali di velocità Vf e V:

La velocità di flusso libero Vf e la velocità media V di ciascun arco, vengono stimate come la velocità media di percorrenza, secondo quanto mostrato in Formula 5-19.

Formula 5-19 Velocità media di percorrenza

$$V_{Arco} = \frac{\sum_i^n L_i}{\sum_i^n t_i} = \frac{\sum_i^n L_i}{\sum_i^n \frac{L_i}{V_i}}$$

- n = n° totale di elementi aggregati nell'arco;
- i = valore relativo all'i-esimo elemento concatenato.

Di seguito si riportano le rispettive formulazioni, implementate in Q-GIS, Tabella 5-71 e Tabella 5-72.

Tabella 5-71 Implementazione in Q-GIS del calcolo di Vf, stimata come velocità media di percorrenza

Archi_Def – Calcolatore di Campi	
Nome campo	Vf
Tipo campo	Integer(3)
Formula	<pre>array_sum(array_foreach(generate_series(0, array_length(string_to_array("AGG_Vf" ,','))-1, array_get(array_cat(string_to_array("AGG_L1", ','), if("AGG_L2" is null, array(), string_to_array("AGG_L2", ',')) , @element) /1000)) / array_sum(array_foreach(generate_series(0, array_length(string_to_array("AGG_Vf" ,','))-1, array_get(array_cat(string_to_array("AGG_L1", ','), if("AGG_L2" is null, array(), string_to_array("AGG_L2", ',')) , @element) /1000 / array_get(string_to_array("AGG_Vf" ,',') , @element)))</pre>

Tabella 5-72 Implementazione in Q-GIS del calcolo di V, stimata come velocità media di percorrenza

Archi_Def – Calcolatore di Campi	
Nome campo	V
Tipo campo	Integer(3)
Formula	<pre>array_sum(array_foreach(generate_series(0, array_length(string_to_array("AGG_V" ,','))-1, array_get(array_cat(string_to_array("AGG_L1", ','), if("AGG_L2" is null, array(), string_to_array("AGG_L2", ',')) , @element) /1000)) / array_sum(array_foreach(generate_series(0, array_length(string_to_array("AGG_V" ,','))-1, array_get(array_cat(string_to_array("AGG_L1", ','), if("AGG_L2" is null, array(), string_to_array("AGG_L2", ',')) , @element) /1000 / array_get(string_to_array("AGG_V" ,',') , @element)))</pre>

Costruzione del grafo di riferimento

A questo punto, la procedura può dirsi conclusa ed analizzando i risultati ottenuti si ricavano le seguenti osservazioni:

- Si ricorda che i dati di domanda campionati da TIM sono forniti con granularità oraria e verranno, quindi, impiegati per stimare i flussi orari. Per poter confrontare i flussi stimati su base TIM con il traffico in Figura 5-64 occorrerà, preventivamente, convertire il TGM nel flusso orario passando attraverso la distribuzione oraria del traffico.
- Confrontando visivamente C_{min} con C_{med} , rispettivamente in Figura 5-65 e Figura 5-66, si verifica che la teoria di Greenshields conduce a risultati tanto più verosimili quanto più si è prossimi alle ipotesi di flusso ininterrotto. In altre parole, C_{med} appare più adatta nel descrivere le tratte extraurbane ed autostradali, mentre C_{min} è più indicata per il contesto urbano. In entrambi i casi, tuttavia, la capacità appare sensibilmente sovrastimata, con circa il 50% degli archi caratterizzati da valori superiori ai 4000 veicoli/h.
- Analizzando le velocità non si osservano grandi differenze tra la velocità di flusso libero V_f e velocità di percorrenza media giornaliera V , rispettivamente in Figura 5-67 e Figura 5-68. Questo risultato introduce un certo scetticismo sul metodo di stima dell'attributo $aspd_{max}$ da cui si è ricavato V . Si ipotizza che la velocità media di percorrenza sia stata ricavata, piuttosto, come velocità media temporale, osservando le velocità istantanee dei veicoli in transito su una sezione di misura. Una stima di questo tipo spiegherebbe le velocità, relativamente elevate, associate alle tratte urbane che, a causa della presenza di innumerevoli intersezioni, dovrebbero essere affette da significativi rallentamenti. Come auspicabile, la distribuzione spaziale delle velocità risulta, tuttavia, ragionevole, con valori più elevati per le tratte extraurbane e ridotti nei contesti urbani.

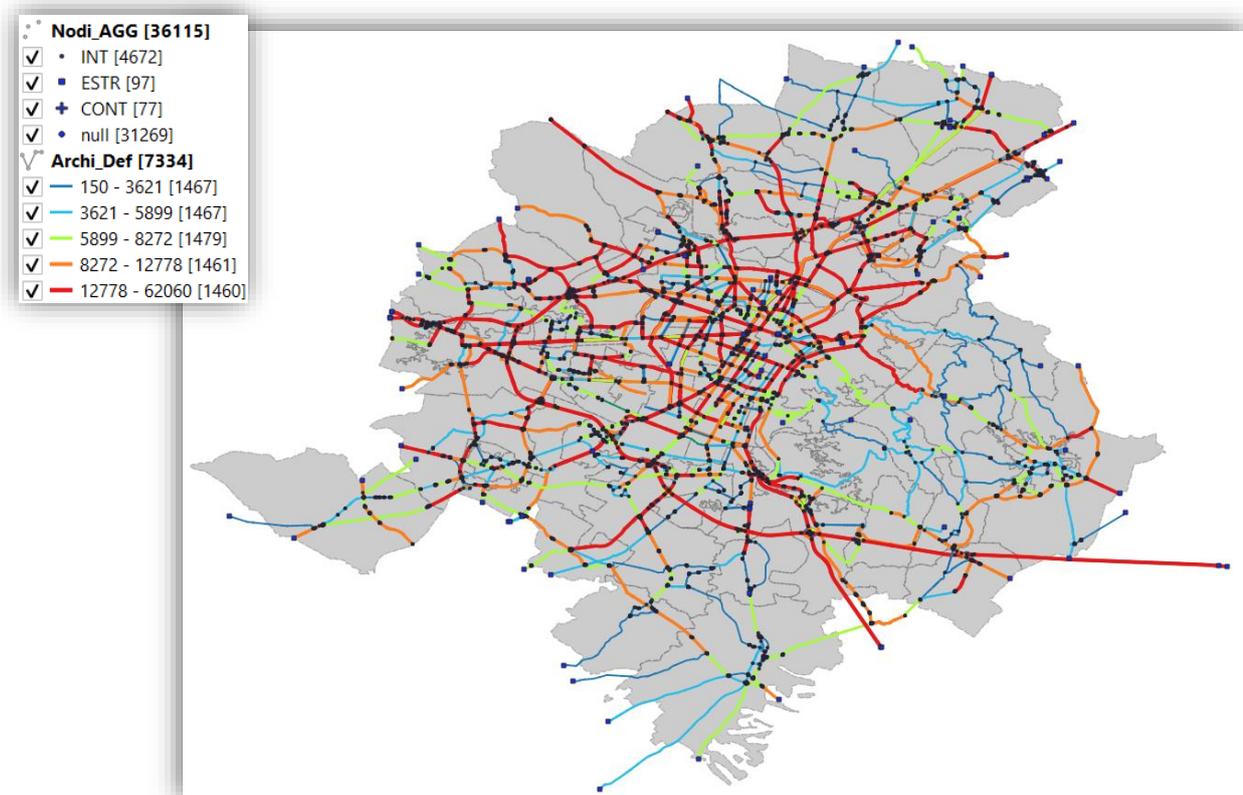


Figura 5-64 Rappresentazione del TGM ricavato per ciascun arco del grafo [veicoli/giorno]

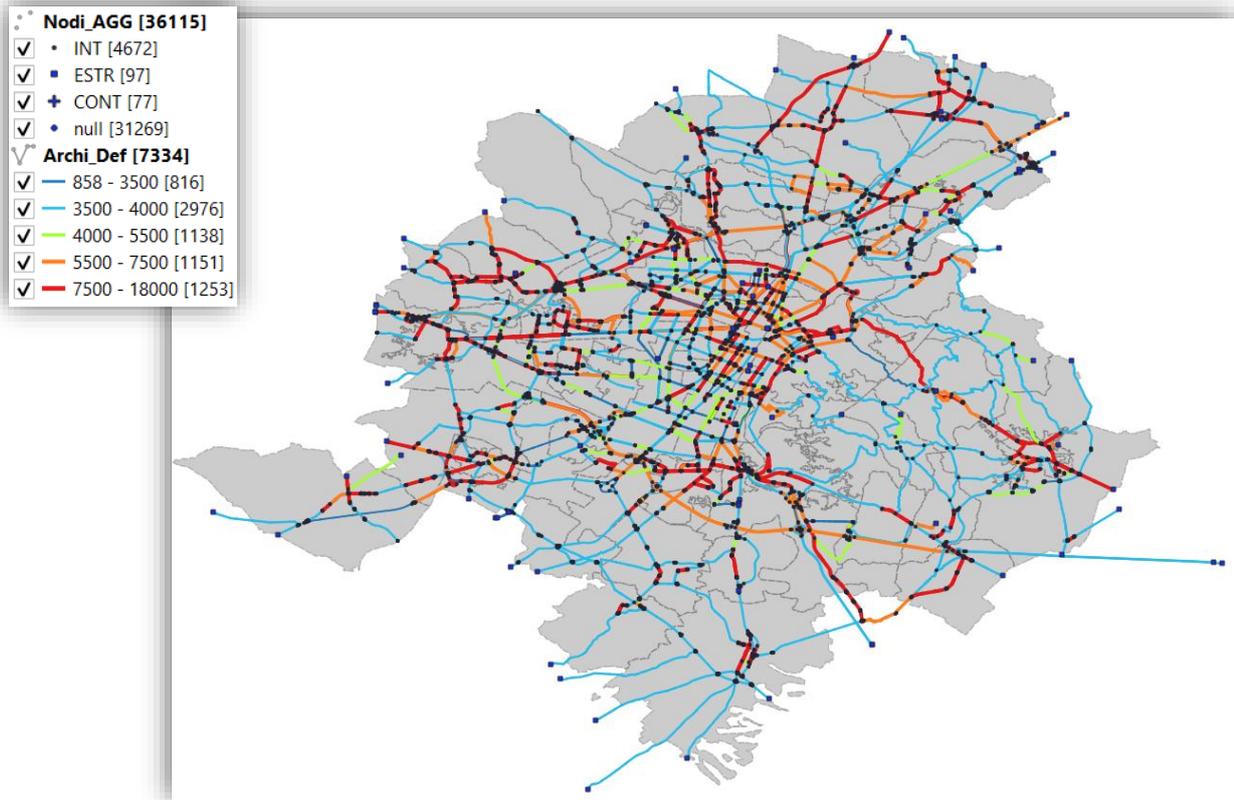


Figura 5-65 Rappresentazione di C_{min} ricavata per ciascun arco del grafo [veicoli/ora]

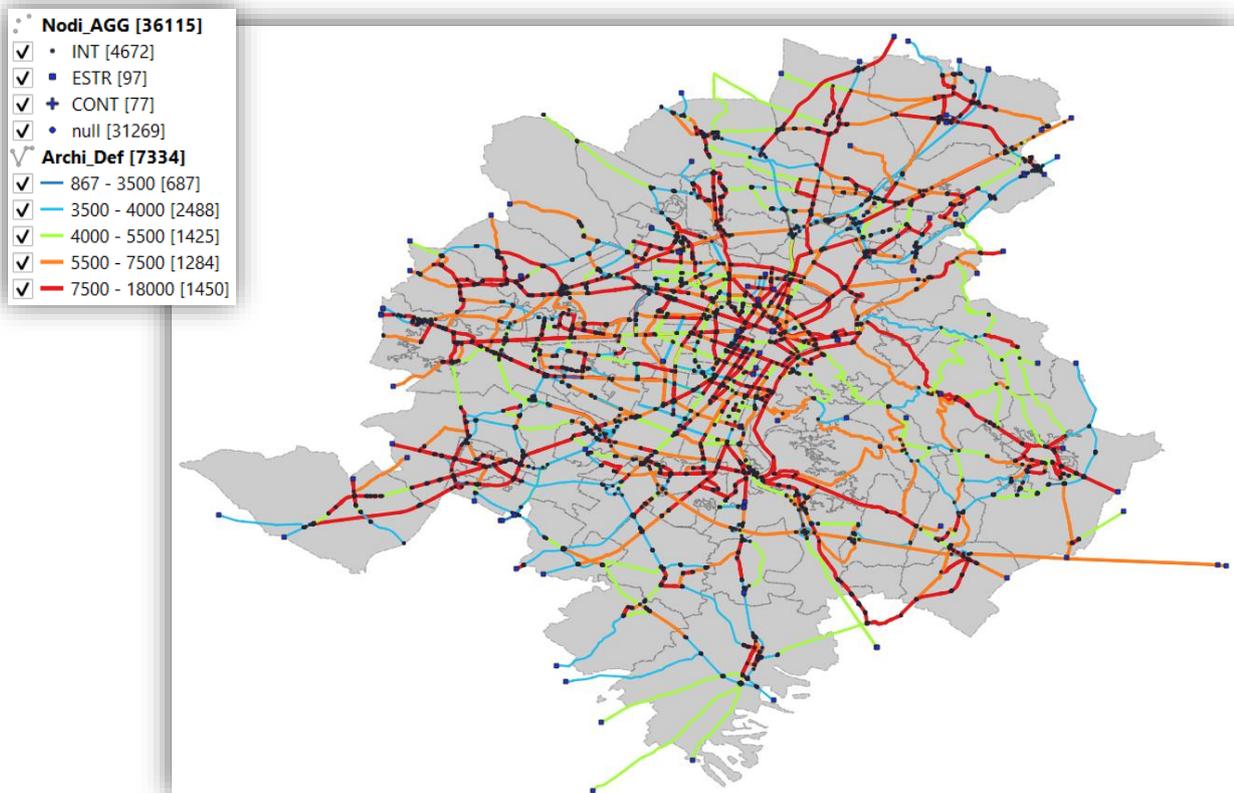


Figura 5-66 Rappresentazione di C_{med} ricavata per ciascun arco del grafo [veicoli/ora]

Costruzione del grafo di riferimento

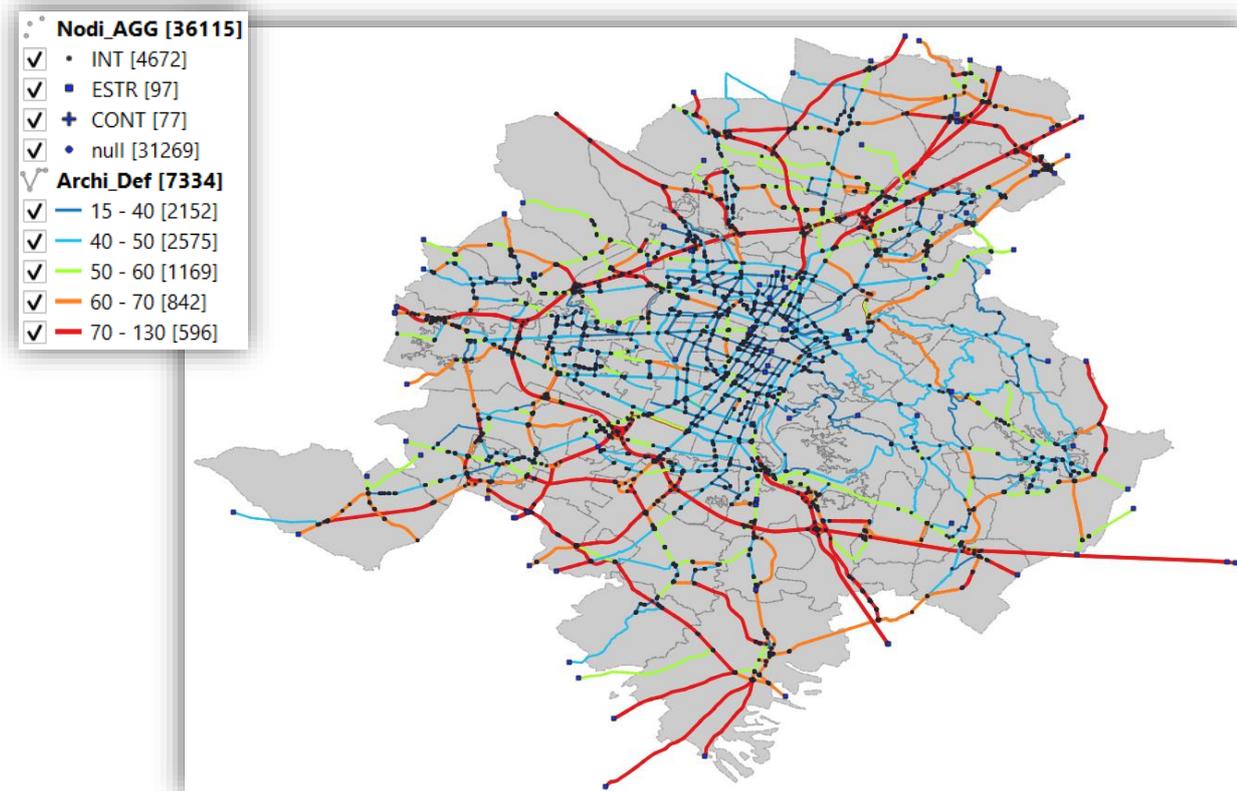


Figura 5-67 Rappresentazione della Vf ricavata per ciascun arco del grafo [km/h]

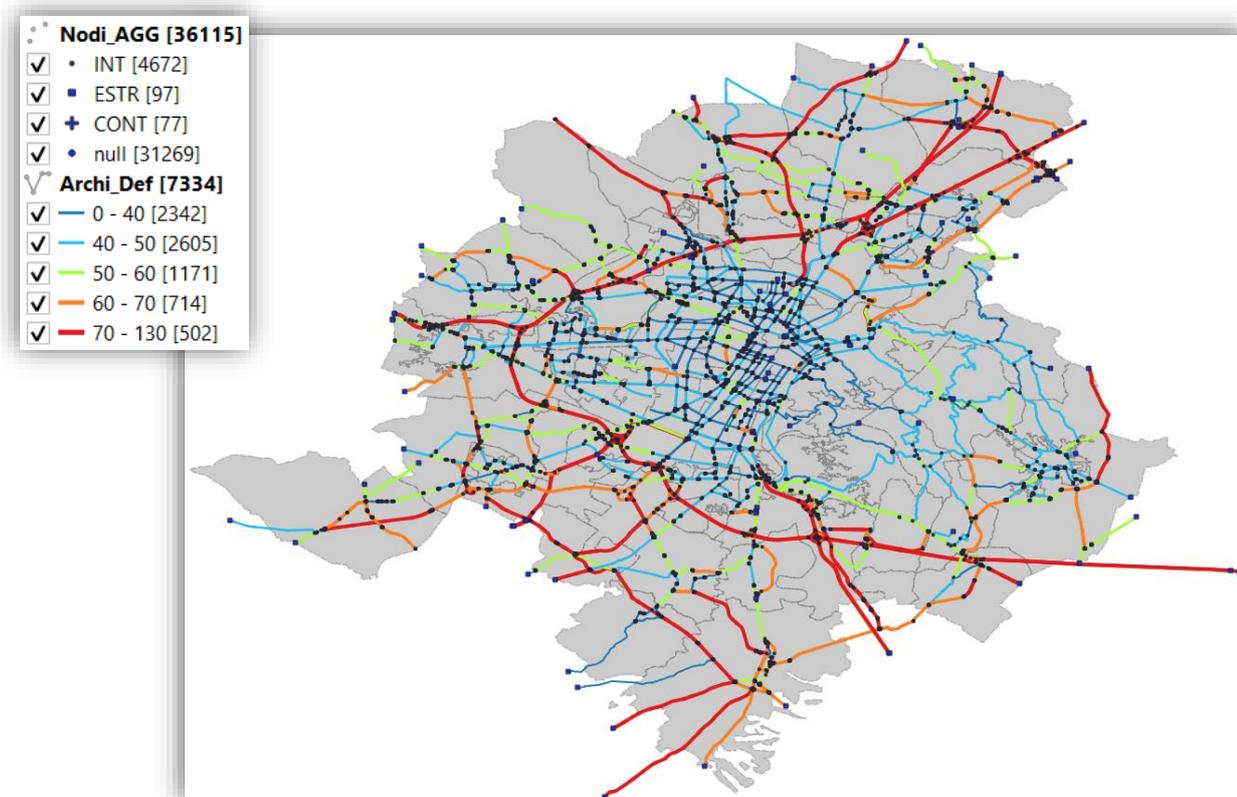


Figura 5-68 Rappresentazione della V ricavata per ciascun arco del grafo [km/h]

5.3. Grafo risultante

Come chiarito nell'incipit del corrente capitolo, lo scopo finale di questa elaborazione consiste nella produzione di un grafo completo di tutti i requisiti necessari. Per raggiungere il risultato desiderato, si è deciso di unire le informazioni di maggior rilievo tratte da due fonti dalle caratteristiche complementari:

- Sulla base dei dati OpenStreetMap, paragrafo 5.1, è stato possibile selezionare la rete principale ed ottenere il grafo orientato di riferimento, rappresentato in Figura 5-36 e in Figura 5-37;
- Dai dati BD TRE, paragrafo 5.2, è stata estratta la rete corrispondente, Figura 5-52, da cui si sono ricavati gli attributi trasportistici principali mostrati in Figura 5-64, Figura 5-65, Figura 5-66, Figura 5-67 e Figura 5-68.

Giunti a questo punto, non rimane altro che unire le informazioni dei due grafi, OSM e BD TRE, esplicitando la mutua corrispondenza tra gli archi.

In un secondo momento si analizzerà il grafo ottenuto per correggere gli eventuali errori residui, valutare la coerenza delle aggregazioni effettuate e rettificare le possibili anomalie presenti sugli attributi risultanti.

5.3.1 Proiezione degli attributi BD TRE sul grafo OSM

Considerando inizialmente il totale di elementi appartenenti ai due grafi, 7551 archi OSM e 7334 archi BD TRE, si può escludere a priori il sussistere di una corrispondenza biunivoca tra i due insiemi di geometrie. Si potrebbe, tutt'al più, ipotizzare una corrispondenza univoca che associ a ciascun elemento OSM un unico arco BD TRE ma non viceversa, come mostrato in Figura 5-69.

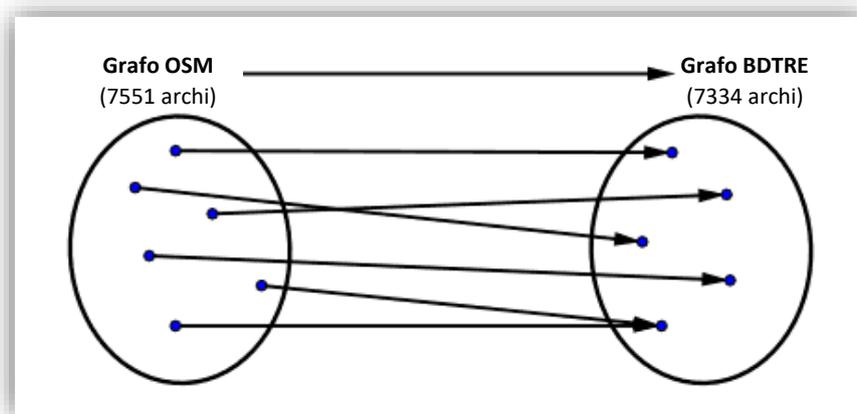


Figura 5-69 Corrispondenza univoca tra i due insiemi di geometrie BD TRE ed OSM

Considerando, però, che le geometrie OSM, dotate di orientamento, sono quelle principali alle quali si assoceranno gli attributi degli elementi BD TRE corrispondenti, si rivela conveniente esplorare la corrispondenza inversa tra i due insiemi. Infatti, associando l'identificativo OSM ai rispettivi elementi BD TRE sarà possibile, successivamente, ottenere gli attributi globali di ciascun arco aggregando le geometrie sulla base dell'identificativo comune. Così facendo, infatti, le geometrie risultanti avranno l'identificativo univoco degli archi OSM e conterranno le proprietà concatenate di tutti gli elementi BD TRE corrispondenti.

5.3.1.1 Associazione per vicinanza

Si procede, innanzitutto, con l'associazione dell'identificativo OSM con le geometrie BDTRE corrispondenti basata sulla mutua distanza:

- In prima approssimazione si ipotizza che l'asse degli archi BDTRE debba, quantomeno, ricadere all'interno dell'ingombro della carreggiata OSM che, scegliendo il caso estremo di una strada con 3 corsie da 3,75 m ed escludendo le banchine, risulta circa di 12 m. Sulla base di questa considerazione si effettua, dunque, un buffer di 6 m degli archi OSM previa proiezione del layer sull'EPSG 3003.
- Poiché, tuttavia, gli assi dei due grafi oltre a non coincidere non sono neanche paralleli tra loro, si ritiene necessario utilizzare un criterio meno rigoroso, che consideri sovrapposte anche le geometrie che intersecano il buffer senza essere interamente contenute. Questa condizione può essere resa utilizzando il comando "Unisci attributi per posizione", configurato come in Figura 5-70.

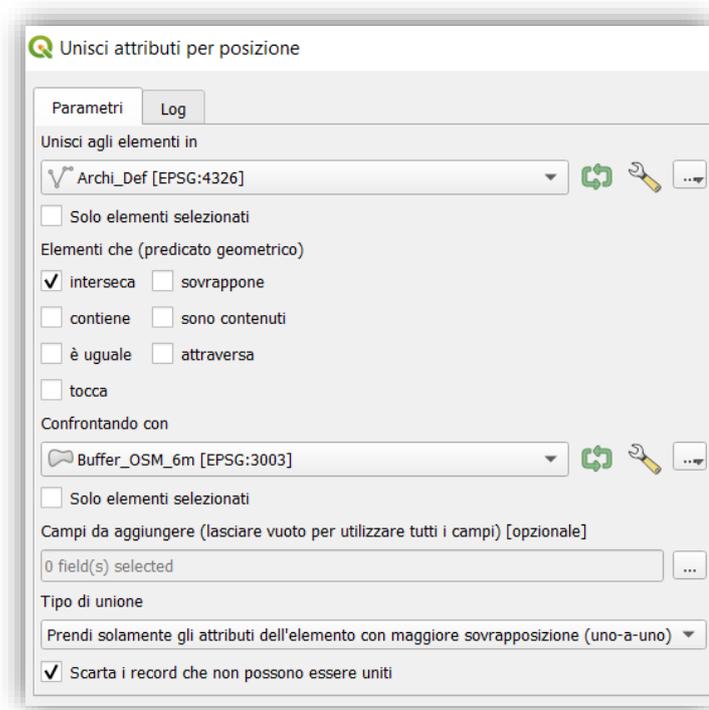


Figura 5-70 Associazione degli elementi del vettore *Archi_Def* che intersecano l'area *Buffer_OSM_6m*

Si esporti, infine, il risultato dell'unione sul file *BDTRE-OSM_v1.shp*.

Dalle operazioni precedenti si verifica che su 7334 elementi di *Archi_Def* ben 7325 risultano intersecanti l'area del vettore *Buffer_OSM_6m*, mostrando una sovrapposizione ottimale con 6356 archi OSM distinti.

Questo risultato suggerisce la presenza di più elementi BDTRE associati ad uno stesso arco OSM, confermando l'insussistenza dell'ipotesi di corrispondenza univoca tra gli insiemi, riportata in Figura 5-69.

Nei paragrafi seguenti verrà illustrata la procedura per verificare e correggere le associazioni così effettuate e completare quelle ancora inesprese non individuate.

5.3.1.2 Correzione delle associazioni 1 a molti

Per una questione di numerosità degli elementi, una verifica puntuale di tutte le associazioni individuate risulterebbe eccessivamente onerosa. Si confida, tuttavia, nel fatto che avendo selezionato con cura gli elementi BDTRE, nel corso del paragrafo 5.2.3, la corrispondenza con gli archi OSM possa essere determinata efficacemente sulla base della distanza reciproca.

Si suggerisce, dunque, di limitare l'analisi ai soli archi che presentano una corrispondenza con molteplici elementi BDTRE, seguendo le operazioni descritte nel seguito:

- Per velocizzare l'individuazione delle geometrie con associazioni multiple, si possono, innanzitutto, aggregare le geometrie presenti sul layer *BDTRE-OSM_v1* secondo l'identificativo degli archi OSM associati (Arco), introducendo il conteggio degli elementi uniti, come mostrato in Figura 5-71.

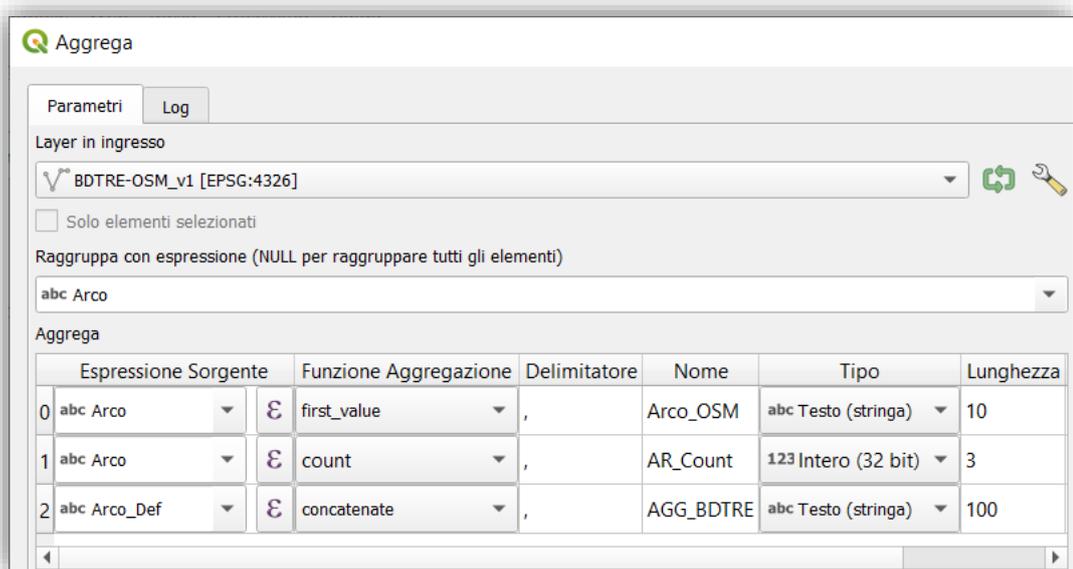


Figura 5-71 Aggregazione degli elementi del vettore *BDTRE-OSM_v1* sulla base dell'attributo *Arco*

Da quest'operazione ne derivano i risultati in Tabella 5-73.

Tabella 5-73 Conteggio degli elementi risultanti dall'aggregazione

N° di corrispondenze BDTRE per arco OSM (AR_Count)	N° di archi OSM associati
10	3
9	1
8	2
7	1
6	1
5	20
4	27
3	190
2	368
1	5743
Tot	6356

- Si può, successivamente, collegare l'attributo AR_Count del vettore *Aggregato* al layer *BDTRE-OSM_v1*, effettuando un join attraverso l'identificativo dell'arco OSM, per poi trascrivere i valori con il Calcolatore di Campi, come illustrato in Figura 5-72 e Tabella 5-74.

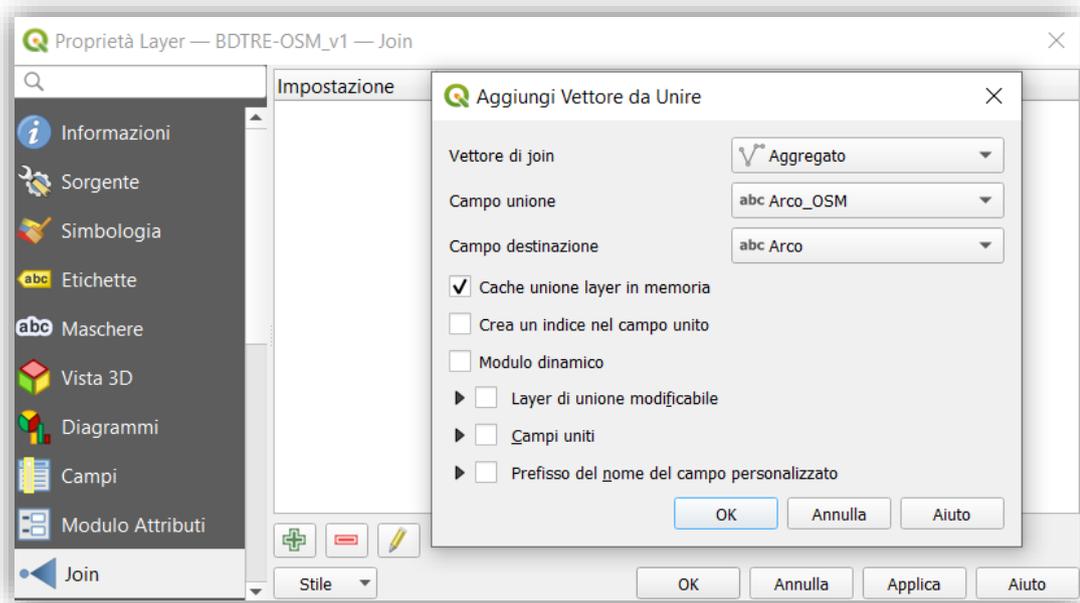


Figura 5-72 join del layer *BDTRE-OSM_v1* con il vettore *Aggregato*, sulla base dell'identificativo dell'arco

Tabella 5-74 Trascrizione del campo *AR_Count* sul vettore *BDTRE-OSM_v1*

BDTRE-OSM_v1 – Calcolatore di Campi	
Nome campo	AR_Count
Tipo campo	Integer(2)
Formula	"Aggregato_AR_Count"

- Per agevolare la supervisione delle corrispondenze multiple, è consigliabile mantenere parallelamente attivi il vettore *BDTRE-OSM_v1*, contenente gli elementi *BDTRE* associati, ed il layer *Archi*, comprendente gli archi *OSM*, e modificare gli stili di visualizzazione come segue:
 - Categorizzare gli elementi di *BDTRE-OSM_v1* sulla base di *AR_Count* ed esporne l'identificativo *OSM* come etichetta;
 - Esporre l'etichetta con l'identificativo degli elementi del layer *Archi*.

A questo punto si potrà agire sulla tabella attributi per centrare la vista su ciascun blocco di geometrie da verificare, osservare le etichette esposte per valutare la correttezza delle corrispondenze ed, infine, sostituire gli identificativi associati erroneamente.

Nell'esempio in Figura 5-73, il focus sul blocco di 7 elementi relativi all'arco 6802, porta alla luce una associazione inappropriata: l'elemento selezionato non corrisponde, infatti, all'arco 6802 ma, piuttosto, al semicerchio 7452. Segue, quindi, la sostituzione dell'identificativo errato, presente in tabella attributi, con il valore opportunamente individuato.

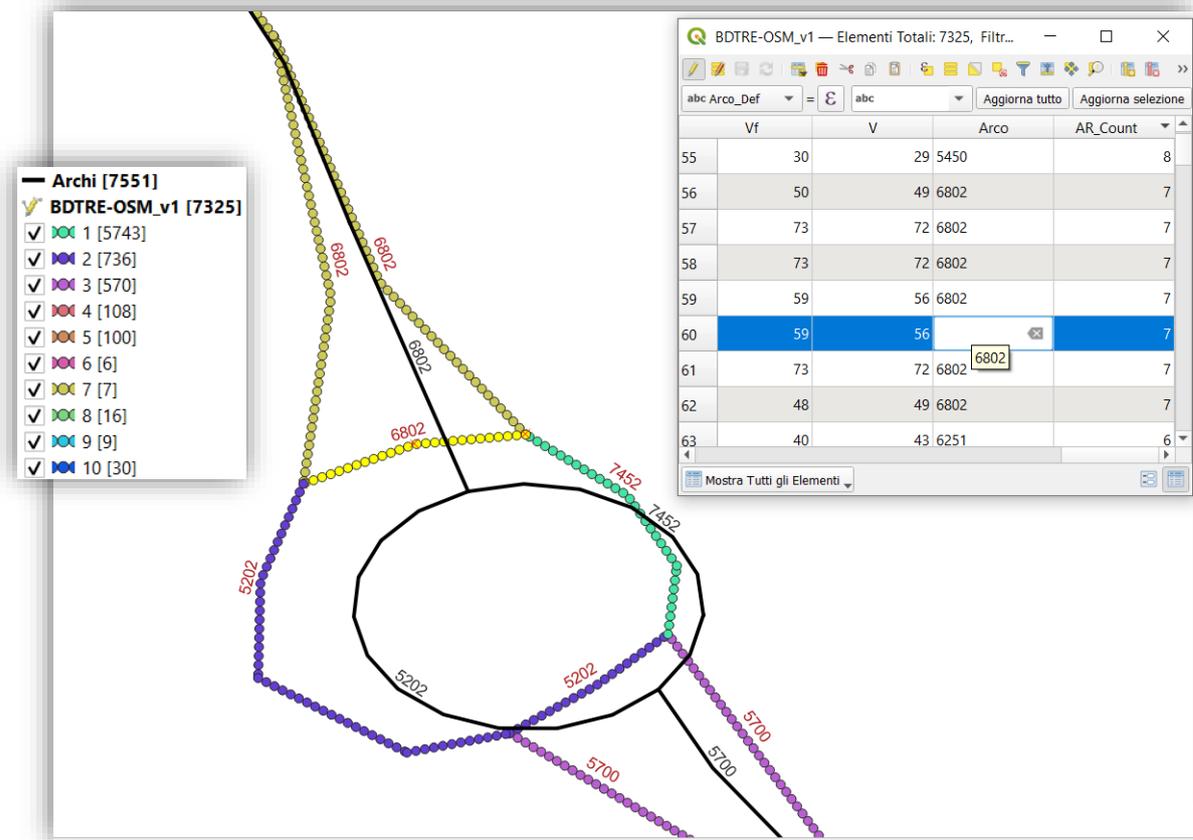


Figura 5-73 Esempio di verifica delle corrispondenze e correzione delle associazioni errate

Nel corso della procedura di verifica sopra esposta, si è riscontrato che la maggior parte degli errori di associazione si localizza nelle intersezioni complesse ed, in particolare, nelle rotatorie, come visto nell'esempio in Figura 5-73.

La sovrapposibilità dei due grafi risulta particolarmente carente in corrispondenza delle rotatorie a causa dei differenti metodi di rappresentazione adottati:

- in molti casi sul grafo BDTRE i bracci di ingresso ed uscita dalle rotatorie vengono distinti, anche se tale distinzione risulta superflua a causa della mancata definizione dei versi di percorrenza;
- sul grafo OSM, invece, solo le rotatorie maggiori presentano distinzione tra bracci in ingresso ed uscita mentre per quelle minori la rappresentazione è semplificata;
- talvolta si presenta la situazione opposta alle precedenti, anche se meno di frequente;
- in altri casi sul grafo BDTRE le rotatorie assumono forme squadrate, a volte collasano in un segmento o addirittura vengono rappresentate come un'intersezione semplice.

A causa di queste incongruenze, si è reso necessario ispezionare tutti gli elementi critici individuati durante la procedura di verifica, costituiti principalmente da rotatorie. Per tale ragione questa fase ha richiesto molto tempo e non è agevolmente ripetibile.

I risultati ottenuti al termine delle correzioni, esposti in Tabella 5-75, possono essere salvati sul file *BDTRE-OSM_v2.shp*.

Tabella 5-75 Conteggio degli elementi risultanti a seguito delle correzioni

N° di corrispondenze BDTRE per arco OSM (AR_Count)	N° di archi OSM associati
10	3
9	1
8	1
5	24
4	6
3	157
2	286
1	6100
Tot	6578

Dal confronto dei nuovi risultati con la precedente Tabella 5-73, si evidenzia la presenza di 222 archi OSM in più, per i quali l'associazione è stata, dunque, completata manualmente durante l'ispezione.

Nonostante, in questa fase, tutti i 7334 archi BDTRE abbiano trovato almeno una corrispondenza, rimangono ancora 973 elementi OSM disassociati.

5.3.1.3 Integrazione delle associazioni incomplete

Giunti a questo punto tutti gli archi BDTRE sono già stati associati ad almeno un elemento OSM ma la relazione inversa non è ancora completa, come visto nel precedente paragrafo 5.3.1.2. Dovranno, dunque, essere presenti degli elementi BDTRE rispondenti a più di un arco OSM e, quindi, la corrispondenza univoca tra i due insiemi non è verificata per nessuna delle due direzioni.

Quanto detto non solo spiega come completare le correlazioni mancanti, ma implica anche che possono essere trovate nuove corrispondenze con gli archi OSM già associati, come nel caso mostrato in Figura 5-74.

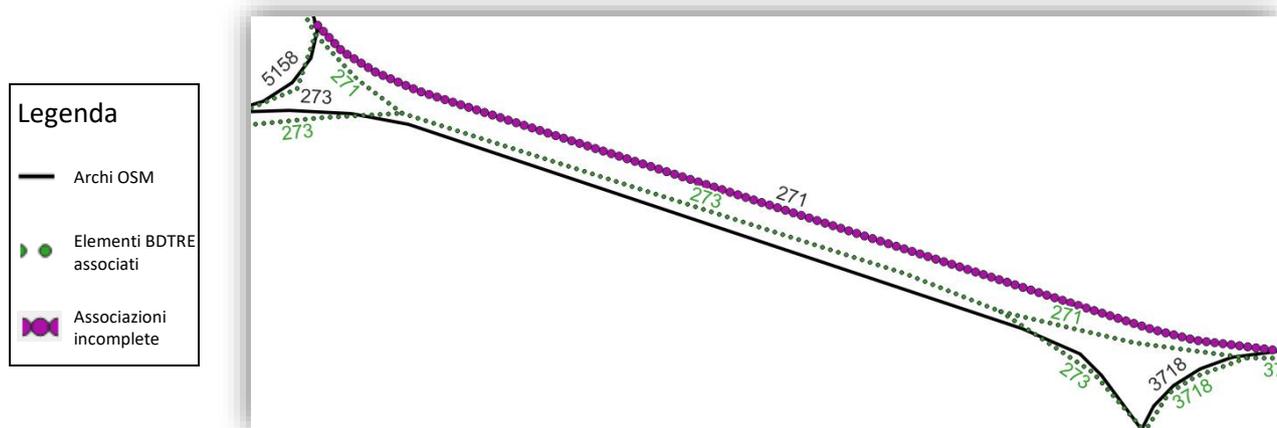


Figura 5-74 Esempio di associazione incompleta

Nell'esempio in Figura 5-74, si osserva la presenza di 2 archi OSM, 271 e 273, entrambi corrispondenti allo stesso elemento BDTRE che, in questo caso, sarà bidirezionale. Come si può vedere, all'arco 273 sono già stati associati i corrispettivi elementi BDTRE, mentre all'arco 271 sono stati collegati solo i segmenti di estremità e manca la tratta centrale.

In questa fase si vogliono, dunque, individuare e correggere le associazioni incomplete, come quella relativa all'arco 271 mostrata in Figura 5-74.

L'individuazione delle associazioni incomplete può essere supportata dalla seguente procedura:

- Si aggregano gli archi del vettore *BDTRE-OSM_v2* sulla base dell'arco OSM associato, analogamente a quanto mostrato in Figura 5-71 (paragrafo 5.3.1.2);
- Si riproietta il layer *Aggregato* sull'EPSG 3003 e si esegue, conseguentemente, un buffer di 0.1 m del vettore *Riproiettato*;
- Si suddivide il risultato dell'operazione di buffer da parti multiple a parti singole, come mostrato in Figura 5-75.

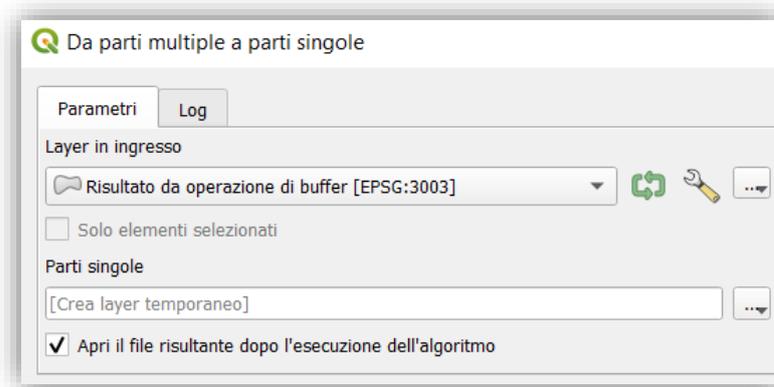


Figura 5-75 Suddivisione in parti singole del vettore Risultato da operazione di buffer

- Si aggregano le parti singole sulla base dell'arco OSM conteggiando gli elementi uniti, Figura 5-76.

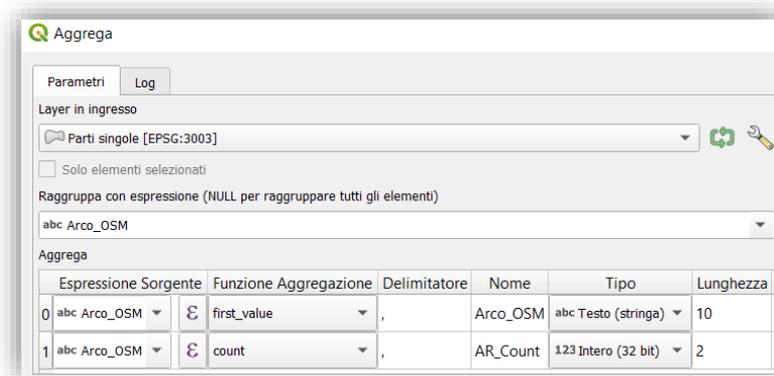


Figura 5-76 Aggregazione del vettore Parti singole secondo l'attributo Arco_OSM

- Si selezionano ed eliminano gli elementi del vettore *Aggregato*, attraverso l'espressione "AR_Count" = 1, ottenendo così 28 elementi residui;
- Si effettua un join del layer contenente gli archi osm con il vettore *Aggregato* e si esportano i 28 elementi uniti come *Associazioni_Incomplete.shp*;

Da questa serie di operazioni si individuano 28 associazioni incomplete, sulle quali è necessario intervenire per colmare le lacune.

Come già detto in precedenza, tutti gli archi BDTRE sul vettore *BDTRE-OSM_v2* hanno già un'associazione e, dunque, non è possibile riportare le integrazioni necessarie sul campo *Arco_OSM* poiché risulta già completo. Occorre, quindi, generare un nuovo campo *Arco_OSM2* su cui si potranno riportare gli identificativi delle associazioni incomplete, in corrispondenza dei relativi elementi BDTRE. Per evitare, infine, che si verifichi una duplicazione degli elementi, occorre rimuovere dalla colonna *Arco_OSM* le associazioni riportate su *Arco_OSM2*.

Facendo riferimento all'esempio in Figura 5-74, le integrazioni possono essere introdotte in tabella attributi come descritto in Tabella 5-76.

Tabella 5-76 Esempio di integrazione delle associazioni incomplete sul layer *BDTRE-OSM_v2* (riferito alla Figura 5-74)

Tabella attributi pre integrazione	Tabella attributi post integrazione		
Arco_OSM	Arco_OSM	Arco_OSM2	
273	273	null	← Elementi BDTRE posti alle estremità dell'arco OSM n° 273
273	273	null	
271	null	271	← Elementi BDTRE posti alle estremità dell'arco OSM n° 271
271	null	271	
273	273	271	← Elemento BDTRE condiviso dagli archi OSM 271 e 273

Al termine di questa procedura si è riscontrato che gli errori di questo tipo sono, nuovamente, attribuibili alla differente rappresentazione delle rotatorie o, in alcuni casi, degli svincoli autostradali.

5.3.1.4 Integrazione delle associazioni mancanti

Nella sezione precedente, paragrafo 5.3.1.3, si sono corrette le associazioni incomplete senza, però, intervenire sui 973 archi OSM disassociati. Raggiunta questa fase dell'elaborazione non rimane altro, dunque, che colmare le lacune residue esplicitando le correlazioni mancanti.

Si procede, innanzitutto, con l'individuazione degli elementi OSM attualmente senza alcuna corrispondenza, attraverso la sequenza di operazioni illustrata nel seguito:

- Si aggiunge, temporaneamente, un nuovo campo sul vettore *BDTRE-OSM_v2* che contenga gli identificativi OSM introdotti sinora, con la formula mostrata in Tabella 5-77:

Tabella 5-77 Introduzione del campo *OSM_Temp* sul vettore *BDTRE-OSM_v2*

BDTRE-OSM_v2 – Calcolatore di Campi	
Nome campo	OSM_Temp
Tipo campo	String(10)
Formula	if("Arco_OSM" is null, "Arco_OSM2", "Arco_OSM")

- Successivamente, si effettua il join del layer contenente gli archi OSM con vettore *BDTRE-OSM_v2*, scegliendo l'identificativo *OSM_Temp* per il campo di unione;
- Si selezionano, quindi, gli elementi OSM per i quali non è ancora stata individuata l'associazione attraverso l'espressione "*BDTRE-OSM_v2_Arco_Def*" is null;
- Gli elementi selezionati possono, infine, essere esportati sul file *Associazioni_Mancanti.shp*.

Prima di procedere oltre, si propone un esempio particolare di mancata associazione, utile per chiarire alcuni concetti, Figura 5-77:

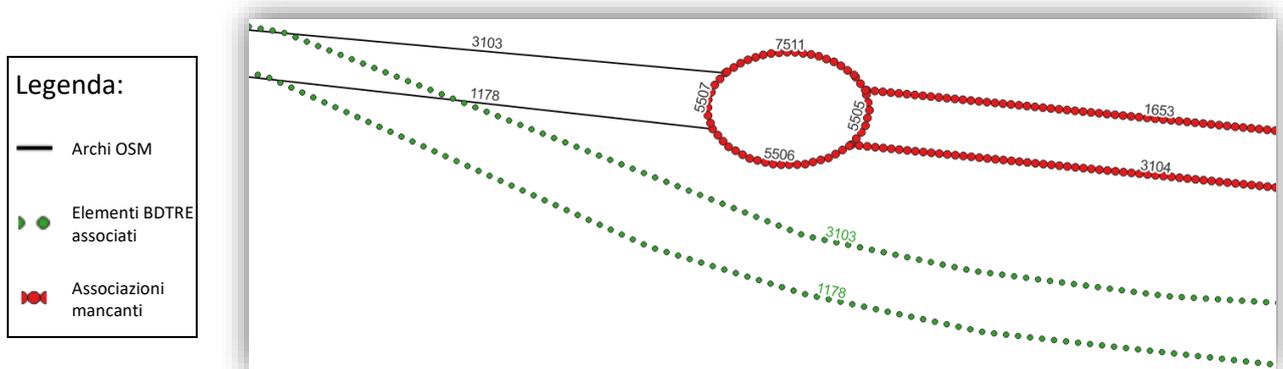


Figura 5-77 Esempio di associazione mancante

Osservando la Figura 5-77 si comprende che gli archi 5505, 5506, 5507, 7511, 1653, 3104 non trovano corrispondenza sul grafo BDTRE poiché gli elementi ad essi associabili sono già stati assegnati agli archi 3103 e 1178.

Il caso singolare, mostrato in Figura 5-77, racchiude le 3 maggiori fonti di incongruenza tra i due grafi:

- A. La prima incongruenza evidente è dovuta al posizionamento reciproco degli assi stradali che, seppur riferito alla medesima tratta stradale, risulta sfalsato di oltre 27 m, Figura 5-78:

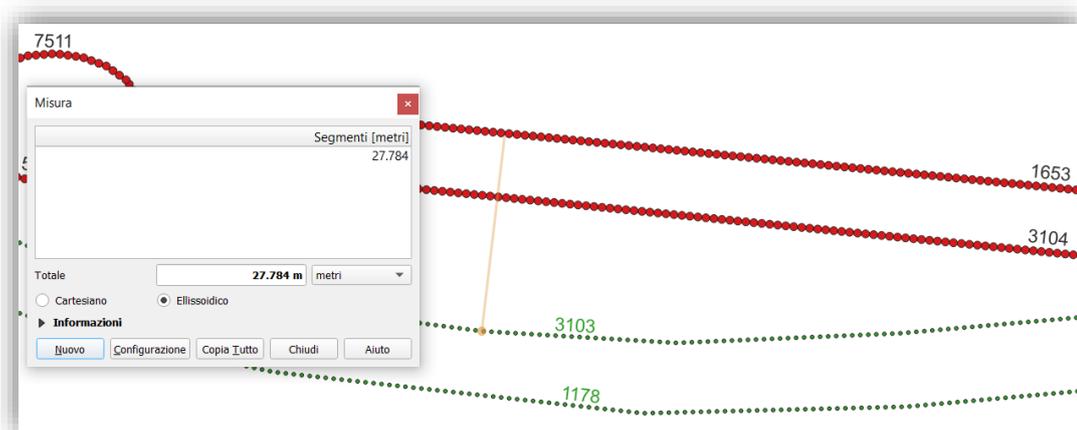


Figura 5-78 Incongruenza dovuta al posizionamento reciproco degli assi (con riferimento all'esempio in Figura 5-77)

A causa della presenza di grosse incongruenze sul posizionamento, non è possibile individuare un criterio di proiezione basato puramente sugli attributi geometrici degli elementi stradali. Se si valutasse, per esempio, la minima distanza reciproca tra i vertici costituenti gli elementi lineari, analogamente alla proiezione condotta per gli attributi SVR sugli elementi BDTRE (paragrafo 5.2.1), le corrispondenze individuate risulterebbero, infatti, errate.

Costruzione del grafo di riferimento

- B. La seconda complicazione è dovuta al differente numero di elementi utilizzati per la rappresentazione dell'arco, che smentisce l'ipotesi di una corrispondenza biunivoca tra i due insiemi. Ciò implica, dunque, che l'individuazione della miglior soluzione, quella valutata sulla minima distanza reciproca, non è sufficiente per completare tutte le associazioni.
- C. La terza problematica sorge quando su una delle rappresentazioni compaiono elementi non presenti sul secondo grafo, come nell'esempio in Figura 5-79.

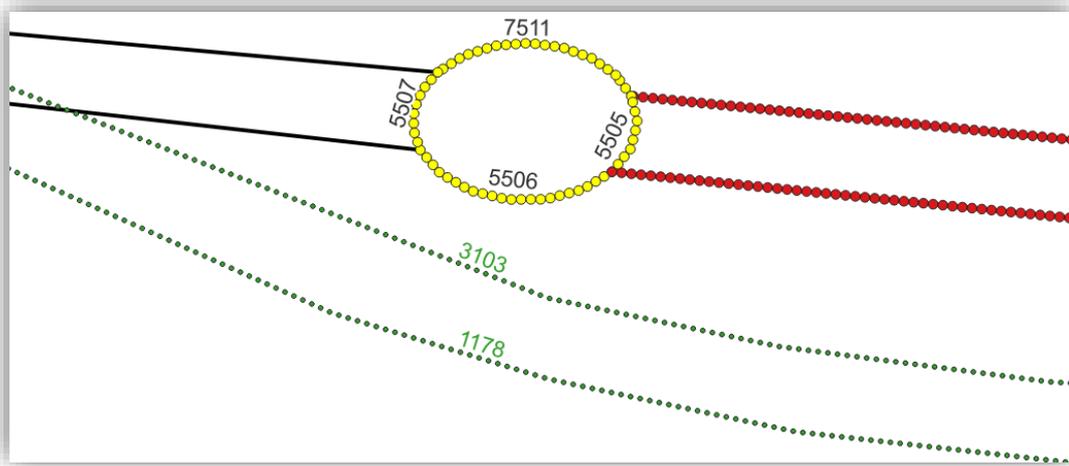


Figura 5-79 Incongruenza dovuta all'assenza di una corrispondenza reale (con riferimento all'esempio in Figura 5-77)

In questo caso non esiste alcuna corrispondenza reale e, dunque, non è possibile ricorrere a funzioni logiche per agevolare l'associazione.

In definitiva, l'unico approccio perseguibile contempla l'associazione ponderata ad hoc per ogni singolo caso, il che comporta, ancora una volta, un processo estremamente laborioso e non agevolmente ripetibile.

Una possibile soluzione, per l'esempio in Figura 5-77, consiste nell'associare gli elementi come mostrato nella seguente Figura 5-80.

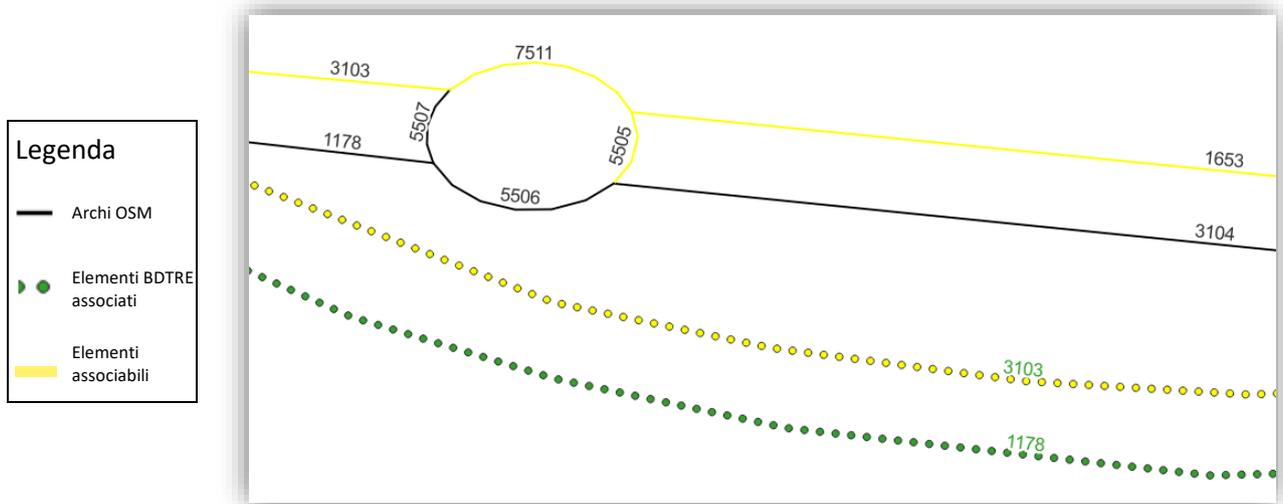


Figura 5-80 Soluzione proposta per il caso proposto come esempio (con riferimento alla Figura 5-77)

L'associazione degli archi di rotatoria con i rettili del grafo BDTRE non può, evidentemente, trovare un reale riscontro e la soluzione proposta in Figura 5-80 costituisce, dunque, una forzatura necessaria.

Si ricorda che lo scopo dell'associazione è quello di trasferire gli attributi presenti sul grafo BDTRE agli archi OSM ed, anche se la corrispondenza tra geometrie non è esatta, è sufficiente che gli elementi si riferiscano complessivamente allo stesso percorso.

Per portare a termine questo processo associativo, è necessario predisporre il layer *BDTRE-OSM_v2* di *n* colonne *Arco_OSM*, in previsione di *n* corrispondenze tra ciascun elemento BDTRE ed i diversi archi OSM.

Nello specifico, si evidenzia il caso estremo riportato in Figura 5-81, in cui ben 13 archi OSM fanno riferimento allo stesso elemento BDTRE.

Arco_Def	Arco_OSM	Arco_OSM2	Arco_OSM3	Arco_OSM4	Arco_OSM5	Arco_OSM6	Arco_OSM7	Arco_OSM8	Arco_OSM9	Arco_OSM10	Arco_OSM11	Arco_OSM12	Arco_OSM13
5217	7056	1010	3020	3021	3022	3023	3264	5437	5438	5439	7055	7057	7504

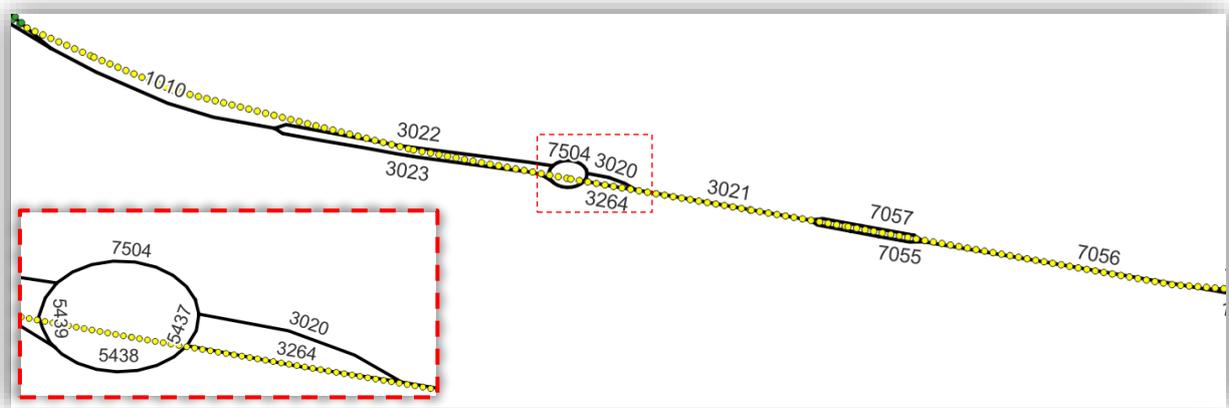


Figura 5-81 Caso estremo di un elemento BDTRE associato con 13 archi OSM

La mutua corrispondenza tra archi, determinata attraverso la disamina di ciascun elemento del vettore *Associazioni_Mancanti*, verrà, dunque, esplicitata all'interno delle 13 colonne *Arco_OSM* predisposte sul layer *BDTRE-OSM_v2*.

La tabella attributi, risultante dalla procedura associativa, fornirà la relazione tra i due insiemi, BDTRE ed OSM, interpretabile secondo le seguenti chiavi di lettura:

- La lettura per riga mostra tutti gli archi OSM associati allo stesso elemento BDTRE (corrispondenza univoca OSM → BDTRE). Questo indica che lo stesso elemento BDTRE inciderà sulle caratteristiche globali di tutti gli archi OSM riportati sulla medesima riga.
- La lettura per colonna, viceversa, mostra tutti gli elementi BDTRE associati a ciascun arco OSM (corrispondenza univoca BDTRE → OSM). In questo caso si comprende che per ciascuna ricorrenza dell'arco OSM, all'interno della generica colonna *Arco_OSM*, verrà individuato un differente elemento BDTRE, che contribuirà alla determinazione delle proprietà globali dell'arco stesso.

Si noti, infine, che è normale che un arco OSM compaia più volte all'interno dello stesso campo *Arco_OSM*, ma che, al contrario, non è consentita la presenza dello stesso identificativo su più colonne differenti.

Nella sezione seguente verrà mostrato, dunque, come ottenere le caratteristiche globali di ciascun arco, sfruttando le corrispondenze determinate nel corso di questa procedura.

5.3.1.5 Determinazione delle proprietà globali

Le proprietà globali di ciascun arco OSM vengono determinate, in questa fase, sulla base dalle caratteristiche di tutti gli elementi BDTRE corrispondenti.

Si procede, in primis, all'aggregazione delle geometrie BDTRE relative allo stesso arco OSM, al fine di raccogliere tutti i contributi elementari. L'operazione consiste nel reiterare, per ciascuna delle 13 colonne Arco_OSM, i 5 passaggi mostrati nel seguito:

1. Si selezionano gli elementi della n-esima colonna del vettore *BDTRE-OSM_v2*, attraverso l'espressione mostrata in Tabella 5-78.

Tabella 5-78 Selezione degli elementi BDTRE associati ad un arco OSM per l'n-esima iterazione

BDTRE-OSM_v2 – Seleziona con Espressione	
Formula	"Arco_OSMn" is not null

2. Si aggrega la selezione come mostrato in Figura 5-82.

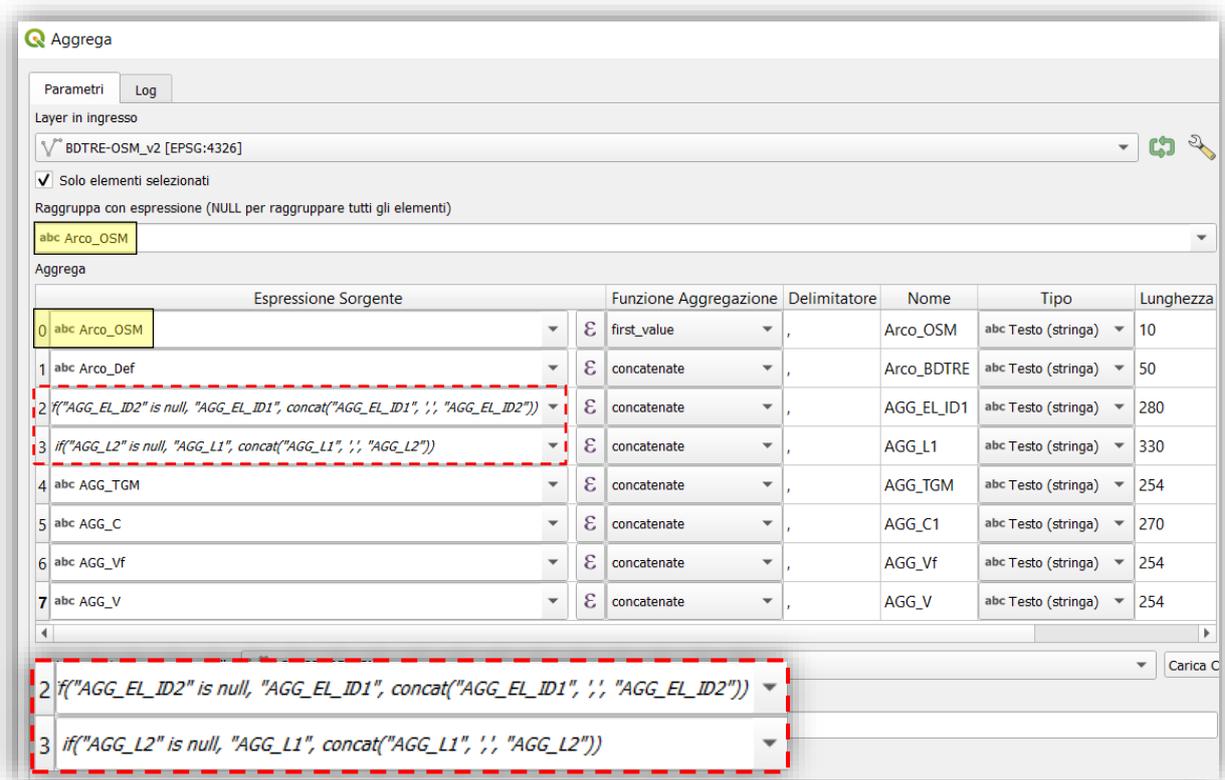


Figura 5-82 Aggregazione degli elementi BDTRE del vettore *BDTRE-OSM_v2* secondo l'Arco_OSM associato

I parametri da modificare nelle iterazioni seguenti sono quelli evidenziati in giallo.

Le "espressioni sorgente" 2 e 3 contengono la formula che produce il concatenamento dei campi che, in precedenza (paragrafo 5.2.6.3), erano stati ripartiti su più colonne per via della loro lunghezza eccessiva.

Impostando le lunghezze dei campi in uscita a 254 caratteri verrà mostrato un messaggio di errore in caso di superamento del limite. Questo torna utile per stabilire quali campi dovranno essere ripartiti nel passaggio successivo. Le lunghezze mostrate in Figura 5-82 sono quelle necessarie affinché l'aggregazione della prima iterazione vada a buon fine.

Al termine dell'aggregazione, si suggerisce di non chiudere la finestra di comando, così da mantenere i settaggi già impostati per le iterazioni successive.

3. A seguito dell'aggregazione è necessario ripartire su due colonne tutti i campi del vettore *Aggregato* che superano la lunghezza limite di 254 caratteri. È noto, nel caso corrente, che i campi che potrebbero eccedere la lunghezza massima sono AGG_EL_ID1, AGG_L1 ed AGG_C1 e, perciò, si predispongono le formulazioni necessarie per la loro eventuale ripartizione, mostrate rispettivamente in Tabella 5-79, Tabella 5-80 e Tabella 5-81.

Tabella 5-79 Ripartizione del campo AGG_EL_ID1 in 2 colonne di lunghezza inferiore a 254 caratteri

Aggregato – Calcolatore di Campi	
Nome campo	AGG_EL_ID2
Tipo campo	String(254)
Formula	if(length("AGG_EL_ID1") <= 254, null , array_to_string(array_slice(string_to_array("AGG_EL_ID1", ','), floor(array_length(string_to_array("AGG_EL_ID1", ','))/2 + 1), -1)))

Aggregato – Calcolatore di Campi	
Aggiorna campo esistente	AGG_EL_ID1
Tipo campo	String(254)
Formula	if(length("AGG_EL_ID1") <= 254, "AGG_EL_ID1", array_to_string(array_slice(string_to_array("AGG_EL_ID1", ','), 0, floor(array_length(string_to_array("AGG_EL_ID1", ','))/2))))

Tabella 5-80 Ripartizione del campo AGG_L1 in 2 colonne di lunghezza inferiore a 254 caratteri

Aggregato – Calcolatore di Campi	
Nome campo	AGG_L2
Tipo campo	String(254)
Formula	if(length("AGG_L1") <= 254, null , array_to_string(array_slice(string_to_array("AGG_L1", ','), floor(array_length(string_to_array("AGG_L1", ','))/2 + 1), -1)))

Aggregato – Calcolatore di Campi	
Aggiorna campo esistente	AGG_L1
Tipo campo	String(254)
Formula	if(length("AGG_L1") <= 254, "AGG_L1", array_to_string(array_slice(string_to_array("AGG_L1", ','), 0, floor(array_length(string_to_array("AGG_L1", ','))/2))))

Tabella 5-81 Ripartizione del campo AGG_C1 in 2 colonne di lunghezza inferiore a 254 caratteri

Aggregato – Calcolatore di Campi	
Nome campo	AGG_C2
Tipo campo	String(254)
Formula	if(length("AGG_C1") <= 254, null , array_to_string(array_slice(string_to_array("AGG_C1", ','), floor(array_length(string_to_array("AGG_C1", ',')) / 2 + 1), -1)))

Aggregato – Calcolatore di Campi	
Aggiorna campo esistente	AGG_C1
Tipo campo	String(254)
Formula	if(length("AGG_C1") <= 254, "AGG_C1", array_to_string(array_slice(string_to_array("AGG_C1", ','), 0, floor(array_length(string_to_array("AGG_C1", ',')) / 2))))

La prima aggregazione è quella che coinvolge il maggior numero di elementi e, quindi, vede ben 3 campi eccedere il limite dei 254 caratteri: AGG_EL_ID1, AGG_L1 ed AGG_C1.

Nelle iterazioni 2 e 3 saranno solo i campi AGG_EL_ID1 ed AGG_L1 a superare il limite, mentre la lunghezza di AGG_C1 potrà essere reimpostata a 254.

Dalla quarta iterazione in poi non è più necessario dividere le colonne e conviene impostare la lunghezza massima di tutti i campi in uscita a 254 caratteri, così che in caso di superamento dei limiti compaia un messaggio d'errore.

4. Si esporta il vettore *Aggregato* sul file *Archi_BDTRE-OSM.shp* scegliendo "Aggiungi al layer" per le iterazioni successive alla prima.
5. Si ripetono i 4 passaggi precedenti per tutte e 13 le colonne *Arco_OSM*, ricordando, in fase di aggregazione (punto 2), di sostituire i parametri, evidenziati in giallo in Figura 5-82, con quelli corrispondenti all'iterazione in corso (*Arco_OSMn*).

Al termine di questo processo iterativo si ottiene il vettore *Archi_BDTRE-OSM* contenente un numero di elementi pari al totale di archi OSM (7551). A ciascun elemento del vettore viene associato l'identificativo univoco *Arco_OSM* ed il concatenamento degli attributi di tutti gli elementi BDTRE aggregati insieme.

Si possono, a questo punto, determinare le proprietà globali di ciascun elemento del vettore *Archi_BDTRE-OSM*, analogamente a quanto visto nel corso del paragrafo 5.2.6.4:

- Per gli attributi TGM, Vf e V si possono utilizzare le stesse esatte formulazioni mostrate al paragrafo 5.2.6.4, rispettivamente al punto 1 ed al punto 3.
- Per quanto riguarda le capacità Cmin e Cmed, le formulazioni proposte al paragrafo 5.2.6.4, punto 2, vanno ricorrette per tener conto del fatto che l'attributo AGG_C è stato, in questo caso, ripartito nei due campi AGG_C1 ed AGG_C2.

Tabella 5-82 Implementazione in Q-GIS del calcolo di Cmin, stimata ipotizzando l'effetto "collo di bottiglia"

Archi_BDTRE-OSM – Calcolatore di Campi	
Nome campo	Cmin
Tipo campo	Integer(5)
Formula	array_min(array_foreach(string_to_array(if("AGG_C2" is null, "AGG_C1", concat("AGG_C1", ',', "AGG_C2")), ','), to_int(@element)))

Tabella 5-83 Implementazione in Q-GIS del calcolo di Cmed, stimata secondo le ipotesi di Greenshields

Archi_BDTRE-OSM – Calcolatore di Campi	
Nome campo	Cmed
Tipo campo	Integer(5)
Formula	array_sum(array_foreach(generate_series(0, array_length(string_to_array(if("AGG_C2" is null, "AGG_C1", concat("AGG_C1", ',', "AGG_C2")), ',') -1), array_get(string_to_array(if("AGG_C2" is null, "AGG_C1", concat("AGG_C1", ',', "AGG_C2")), ','), @element) * array_get(array_cat(string_to_array("AGG_L1", ','), if("AGG_L2" is null, array(), string_to_array("AGG_L2", ','))), @element) /1000 / array_get(string_to_array("AGG_Vf" ,','), @element))) / array_sum(array_foreach(generate_series(0, array_length(string_to_array(if("AGG_C2" is null, "AGG_C1", concat("AGG_C1", ',', "AGG_C2")), ',') -1), array_get(array_cat(string_to_array("AGG_L1", ','), if("AGG_L2" is null, array(), string_to_array("AGG_L2", ','))), @element) /1000 / array_get(string_to_array("AGG_Vf" ,','), @element)))

A questo punto, tutti gli attributi globali ottenuti possono essere trasferiti al grafo OSM semplicemente eseguendo un join del vettore *Archi* con il layer *Archi_BDTRE-OSM*, attraverso l'identificativo *Arco_OSM*.

Con quest'ultima operazione la procedura di proiezione degli attributi BDTRE sugli archi del grafo OSM può dirsi conclusa. Le proprietà globali degli archi risultano distribuite in maniera del tutto analoga a quanto mostrato nel paragrafo 5.2.6.4, con differenze minime dovute alla differente numerosità degli elementi presenti sui due grafi, come mostrato in Tabella 5-84.

Tabella 5-84 Distribuzione degli attributi globali – Confronto tra grafo BDTRE e grafo OSM risultante

Attributo	TGM		Cmin		Cmed		Vf		V	
	BDTRE	OSM								
Intervallo 1	20.0%	20.0%	11.1%	11.7%	9.4%	9.0%	29.3%	28.8%	31.9%	31.2%
Intervallo 2	20.0%	20.2%	40.6%	42.4%	33.9%	33.1%	35.1%	34.9%	35.5%	35.5%
Intervallo 3	20.2%	19.9%	15.5%	15.0%	19.4%	19.4%	15.9%	16.2%	16.0%	16.4%
Intervallo 4	19.9%	19.9%	15.7%	15.0%	17.5%	18.2%	11.5%	11.7%	9.7%	9.7%
Intervallo 5	19.9%	20.0%	17.1%	15.9%	19.8%	20.3%	8.1%	8.5%	6.8%	7.1%
Tot archi	7334	7551	7334	7551	7334	7551	7334	7551	7334	7551

Le proprietà globali, risultanti dal processo di "proiezione geometrica", non si discostano, dunque, da quelle associate agli archi del grafo BDTRE e, pertanto, rimangono valide le stesse osservazioni riportate nel paragrafo 5.2.6.4 a pag. 152.

I risultati ottenuti sono mostrati nelle seguenti Figura 5-83, Figura 5-84, Figura 5-85, Figura 5-86 e Figura 5-87.

Costruzione del grafo di riferimento

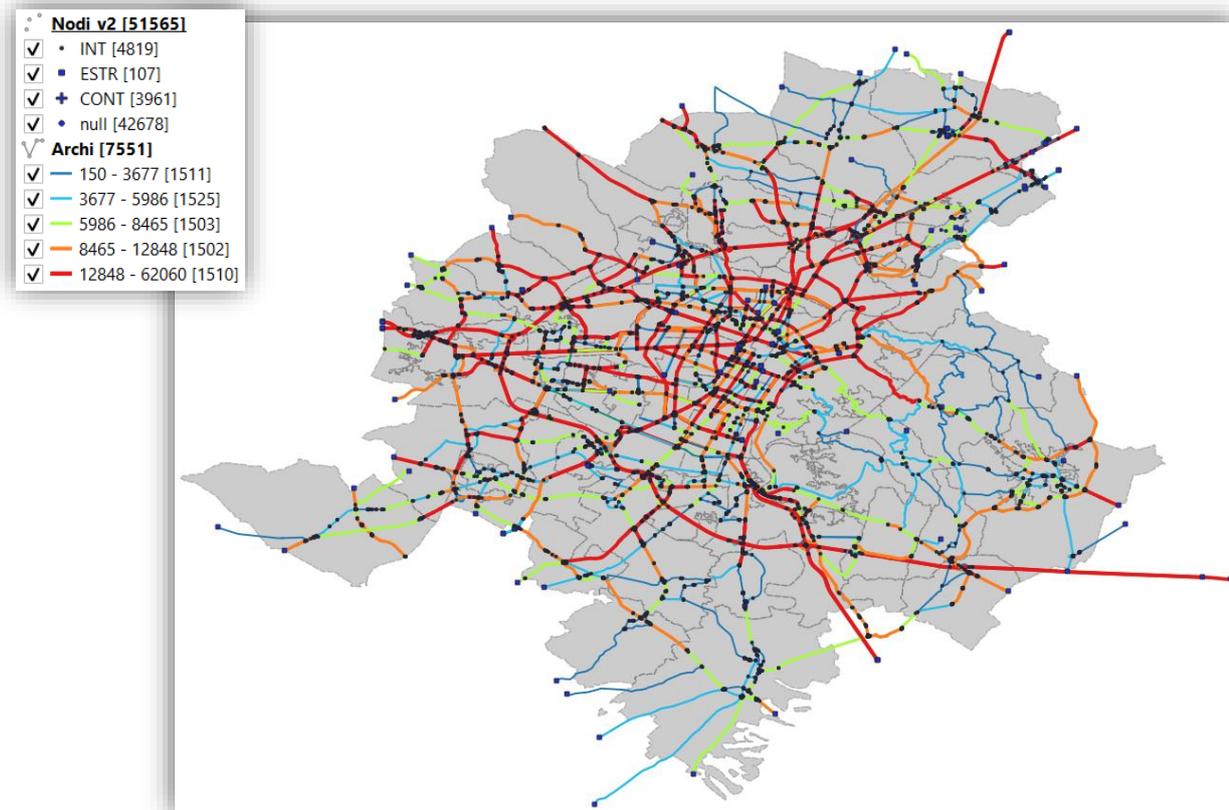


Figura 5-83 Rappresentazione del TGM ricavato per ciascun arco del grafo risultante [veicoli/giorno]

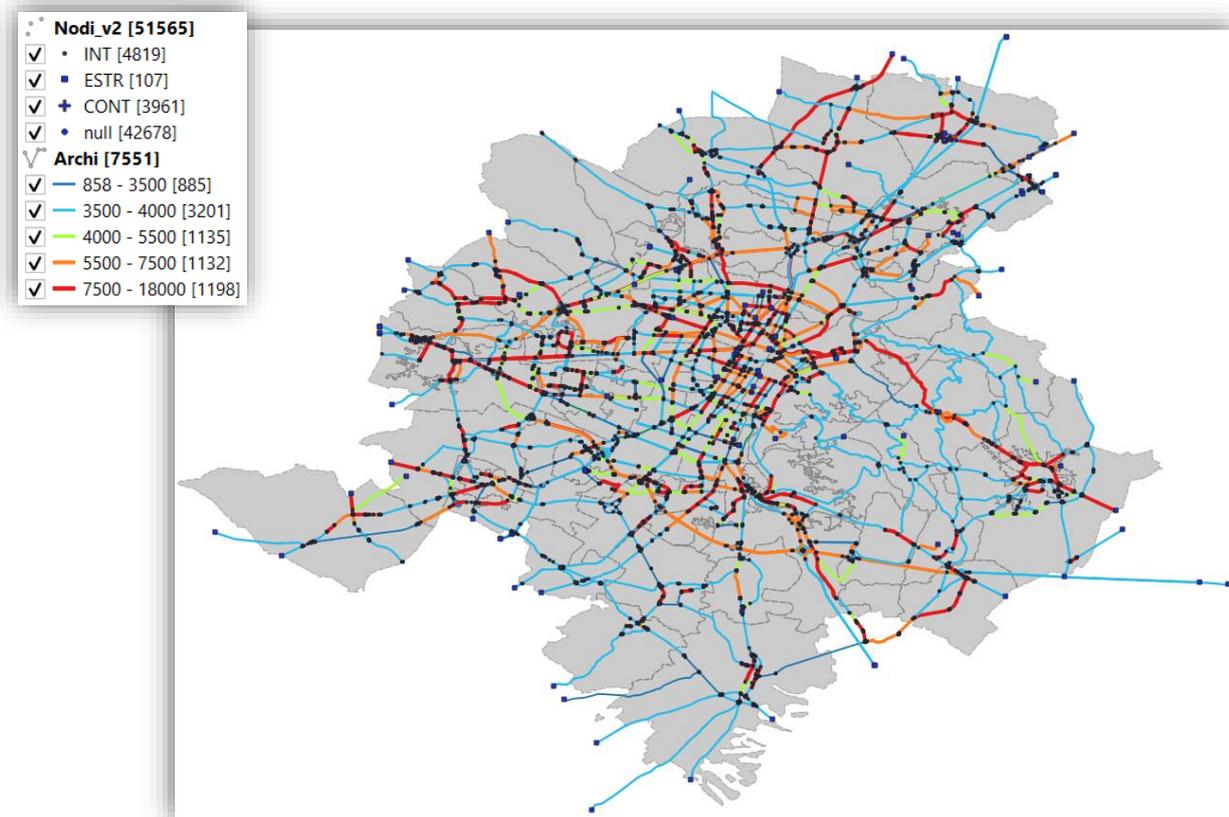


Figura 5-84 Rappresentazione di Cmin ricavata per ciascun arco del grafo risultante [veicoli/ora]

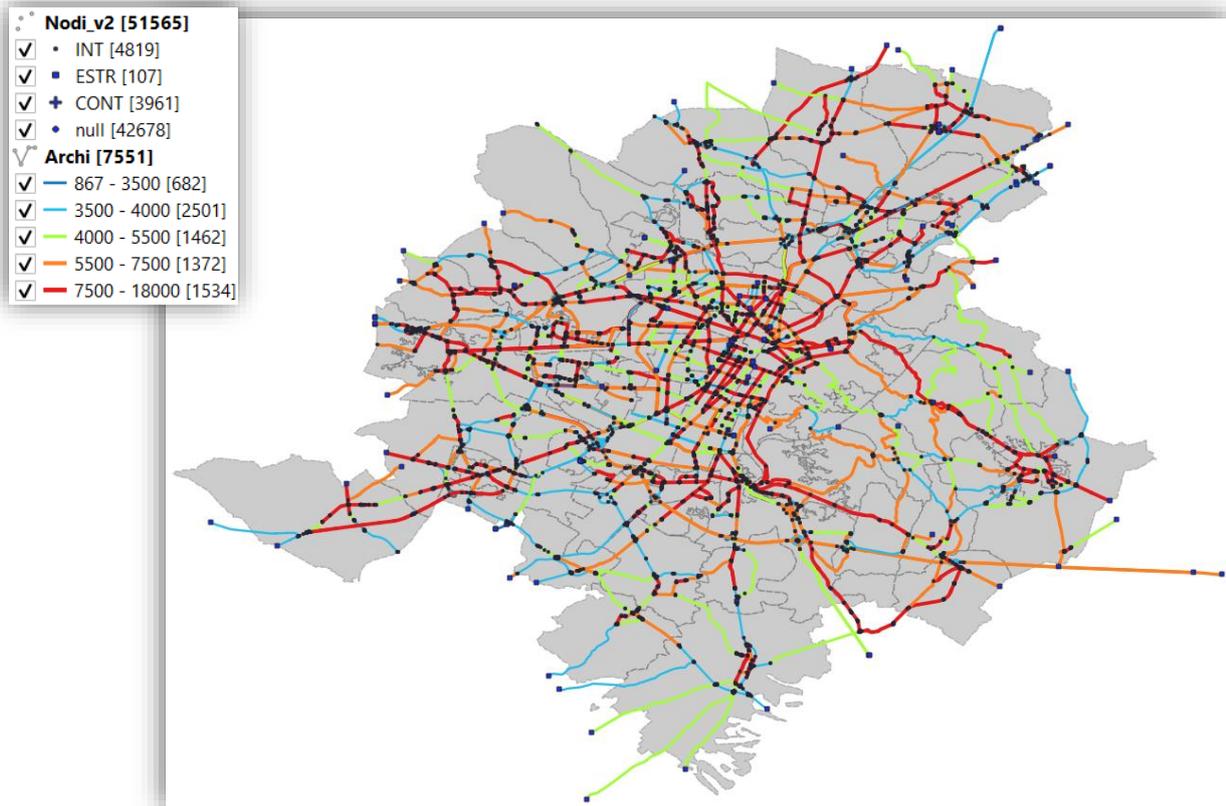


Figura 5-85 Rappresentazione di Cmed ricavata per ciascun arco del grafo risultante [veicoli/ora]

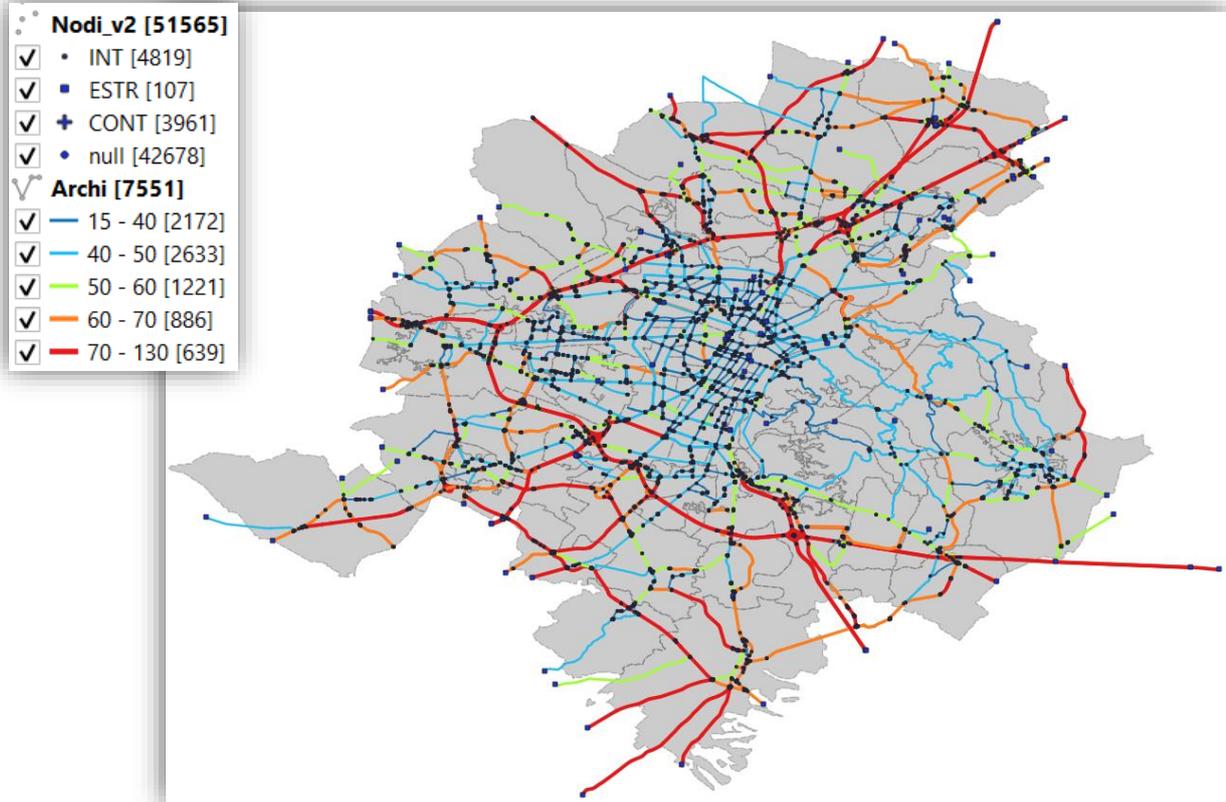


Figura 5-86 Rappresentazione della Vf ricavata per ciascun arco del grafo risultante [km/h]

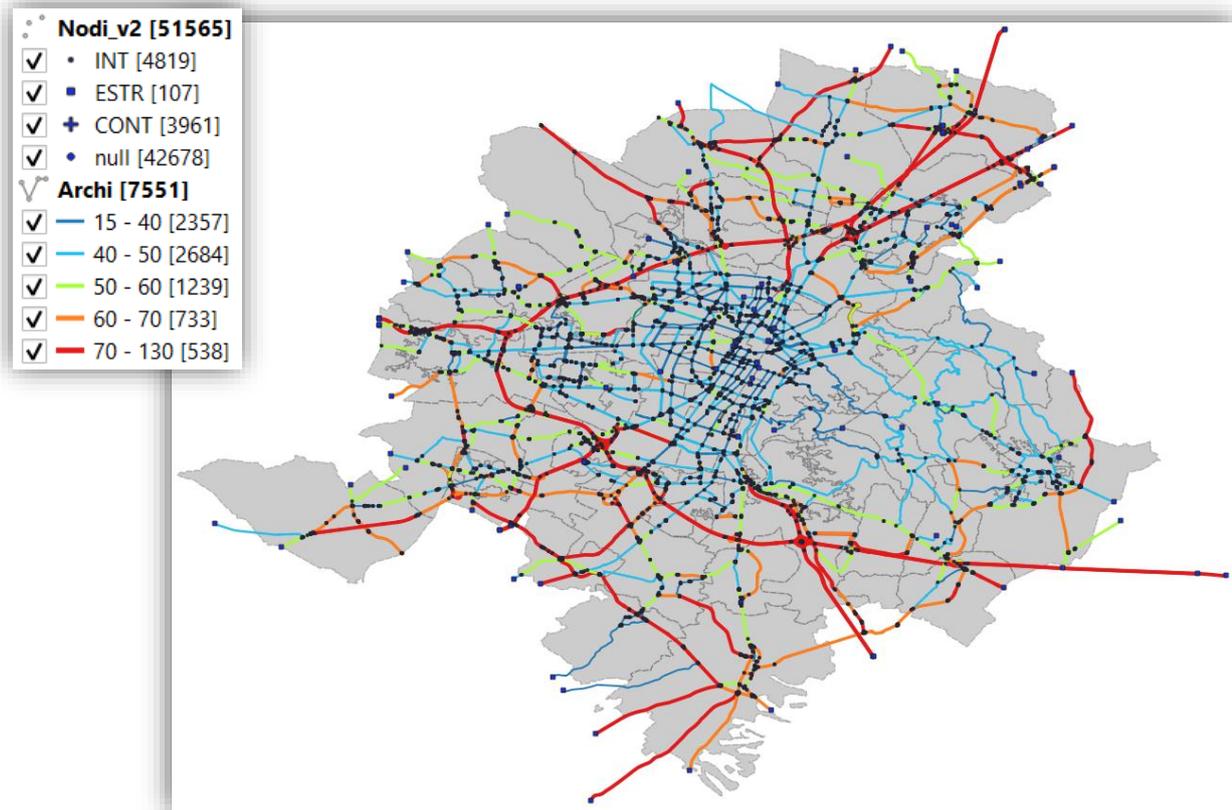


Figura 5-87 Rappresentazione della V ricavata per ciascun arco del grafo risultante [km/h]

5.3.2 Valutazione e correzione degli attributi globali

Nella fase precedente si è conclusa l'operazione di proiezione degli attributi BDTRE sugli archi del grafo OSM che, a questo punto, gode di molti dei requisiti necessari per procedere con l'analisi. Prima di poter impiegare questo strumento per la successiva simulazione dei flussi di traffico, però, si ritiene opportuno convalidarne le proprietà principali ed integrare le ultime informazioni mancanti, anche se di rilevanza secondaria.

Entrando nello specifico, si reputa necessario eseguire le seguenti verifiche ed integrazioni:

- Avendo riscontrato la presenza di numerose inesattezze in corrispondenza degli elementi di rotatoria, si vuole, quantomeno, garantire che le informazioni sui versi di percorrenza siano corrette;
- Prevedendo, in fase di assegnazione dei flussi, la possibilità di adottare differenti set di coefficienti per la funzione di costo BPR sulla base della tipologia stradale, si rende particolarmente interessante determinare la classe funzionale di ciascun arco;
- Poiché al termine del paragrafo 5.2.6.4 si è sollevata una certa perplessità nei confronti dei valori di capacità ricavati dal grafo BDTRE, ritenuti a prima vista sovrastimati, si rende opportuno un approfondimento in merito che dovrà, necessariamente, passare attraverso la determinazione del numero di corsie.

Per portare a termine le analisi necessarie, ci si servirà, ancora una volta, del programma di calcolo Excel. Poiché le diverse verifiche sono complementari tra loro e si basano sulle stesse informazioni, si mostra, preventivamente, come predisporre il file comune *AttributiGlobali.xlsx*:

1. Foglio EL_OSM

Si selezionano ed importano su Excel i campi del file *EL_Corretti_v1.dbf*, ottenuto al paragrafo 5.1.4.6 e contenente gli elementi OSM disaggregati, come mostrato in Tabella 5-85.

Tabella 5-85 *AttributiGlobali.xlsx - Foglio EL_OSM*

	A	B	C	D	E
1	EL_ID	fclass	L [m]	Arco	fclass_no-link
2	1463	motorway_link	226.67	6118	motorway
3	9036	tertiary	640.33	4069	tertiary
4	3	tertiary	101.03	1	tertiary
5	4	motorway_link	632.67	2	motorway
6	5	motorway_link	680.78	3	motorway
7	6	tertiary	250.34	5693	tertiary
8	9039	motorway	494.75	7249	motorway
9	9040	motorway	732.15	4070	motorway
...

In colonna E si introduce una classificazione stradale in cui gli svincoli, indicati dall'attributo fclass contenente "_link", vengono confusi con la loro macrocategoria di appartenenza, applicando la Formula 5-20.

Formula 5-20 Espressione da inserire nella cella E2 del foglio EL_OSM

=SOSTITUISCI(B2;"_link";"")

Per il completamento della colonna è sufficiente estendere la Formula 5-20, introdotta nella cella E2, sino all'ultima riga del foglio.

2. Foglio EL_BDTRE

Si selezionano ed importano su Excel i campi del file *EL_Corretti_v1.dbf*, ottenuto al paragrafo 5.2.6.3 e contenente gli elementi BDTRE disaggregati, come mostrato in Tabella 5-86.

Tabella 5-86 *AttributiGlobali.xlsx - Foglio EL_BDTRE*

	A	B	C	D	E	F	G
1	EL_ID	el_str_ty	el_str_cf	el_str_nc	L [m]	Arco_Def	Archi_OSM
2	1	di rotonda	strada extraurbana secondaria	2	38.55	1	,3863,
3	2	di rampa/svincolo	strada extraurbana secondaria	2	69.55	2	,819,
4	3	di rotonda	strada extraurbana secondaria	1	9.45	4935	,2755,
5	4	di rampa/svincolo	strada extraurbana principale	2	163.16	3	,307,
6	5	di rampa/svincolo	autostrada	3	14.02	5135	,3846,
7	6	di rampa/svincolo	strada urbana di scorrimento	2	13.37	4	,2589,5543,5544,
8	7	di rotonda	strada extraurbana secondaria	2	26.18	5	,1992,
9	8	di rotonda	strada urbana di quartiere	2	42.76	5901	,5770,
...

Costruzione del grafo di riferimento

Ricordando che sul layer *Archi_BDTRE-OSM*, importato sul foglio *MainAttr* (Tabella 5-88), viene esplicitata la correlazione tra gli archi OSM e BDTRE, in colonna G si sfrutta questa nozione per elencare gli archi OSM a cui appartiene ciascun elemento BDTRE, attraverso la Formula 5-21.

Formula 5-21 Espressione da inserire nella cella G2 del foglio EL_BDTRE

```
=", "&TESTO.UNISCI(", ";VERO;FILTRO(MainAttr!$A$2:$A$7552;SE.ERRORE(TROVA(", "&A2&", ";", "&MainAttr!$C$2:$C$7552&", ");0)>0))&", "
```

Per il completamento della colonna è sufficiente estendere la Formula 5-21, introdotta nella cella G2, sino all'ultima riga del foglio.

3. Foglio *Archi_OSM*

Si selezionano ed importano sul file Excel i campi del file *Archi.dbf*, ottenuto al paragrafo 5.1.4.6 e contenente gli archi OSM completi delle proprietà globali introdotte al paragrafo 5.3.1.5, come mostrato in Tabella 5-87.

Tabella 5-87 AttributiGlobali.xlsx - Foglio Archi_OSM

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Arco	AGG_oneway	Cmin	Rotatoria	CheckDir		Arco_cor	oneway_cor
2	6118	F	3800					
3	4069	B	4000					
4	1	F	2000	VERO				
5	2	F	1600	VERO				
6	3	F	1600	VERO				
7	5693	B	3600					
8	7249	F	6000					
9	4070	F	6000					
...

In colonna D si valuta se il generico arco OSM contiene un elemento BDTRE classificato come “di rotatoria”, sfruttando le informazioni presenti sul foglio *EL_BDTRE*, tramite la Formula 5-22.

Formula 5-22 Espressione da inserire nella cella D2 del foglio Archi_OSM

```
=SE(CONTA.PIÙ.SE(EL_BDTRE!$G$2:$G$16599;"*", "&A2&", "*";EL_BDTRE!$B$2:$B$16599;"di rotatoria")>0;VERO;"")
```

Successivamente, in colonna E, si verifica se gli archi contenenti un elemento di rotatoria sono stati erroneamente classificati come bidirezionali (oneway = B), utilizzando la Formula 5-23.

Formula 5-23 Espressione da inserire nella cella E2 del foglio Archi_OSM

```
=SE(E(B2="B";D2=VERO);"Err";"")
```

Per il completamento delle colonne D ed E, è sufficiente estendere la Formula 5-22 e la Formula 5-23, rispettivamente introdotte nelle celle D2 ed E2, sino all'ultima riga del foglio.

Le colonne G ed H verranno compilate nel corso del paragrafo 5.3.2.1, in seguito alle correzioni introdotte su Q-GIS.

4. Foglio *MainAttr*

Si selezionano ed importano su Excel i campi del file *Archi_BDTRE-OSM*, ottenuto al paragrafo 5.3.1.5 e contenente la corrispondenza tra gli archi OSM e gli archi BDTRE, come mostrato in Tabella 5-88.

Tabella 5-88 *AttributiGlobali.xlsx - Foglio MainAttr (Parte 1)*

	A	B	C
1	Arco_OSM	Arco_BDTRE	EL_ID (BDTRE)
2	7545	7331	16586,16590,16593,16597
3	7551	3339	6431,6403,14162,14197,14802,16584,16585
4	7549	7333	16587,16588,16595
5	7550	7334	16589,16594,16598
6	7552	7330	16591,16596
7	7546	7332	16592
8	3863	1	1
9	819	2	2
...

Per agevolare le fasi successive, in colonna C si riporta l'elenco degli elementi BDTRE appartenenti agli archi BDTRE corrispondenti all'arco OSM, attraverso la Formula 5-24.

Formula 5-24 Espressione da inserire nella cella C2 del foglio *MainAttr*

```
=TESTO.UNISCI("";VERO;FILTRO(EL_BDTRE!$A$2:$A$16599;SE.ERRORE(TROVA(";"&EL_BDTRE!$F$2:$F$16599&"";" "&B2&"";1);0)>0))
```

Anche in questo caso è sufficiente completare la colonna estendendo la Formula 5-24, introdotta nella cella C2, sino all'ultima riga del foglio.

A questo punto sul file *AttributiGlobali.xlsx* sono presenti tutte le informazioni necessarie per procedere con le diverse verifiche illustrate nelle sezioni successive.

5.3.2.1 Correzione orientamento degli elementi di rotatoria

Come si è visto nelle fasi precedenti, gli elementi di rotatoria rappresentano spesso i maggiori punti di criticità. Non è stato possibile, tuttavia, valutare la conformità di tali elementi sul grafo OSM poiché, sinora, non era presente un attributo specifico per la loro identificazione. Solo in seguito all'unione dei due grafi risulta possibile individuare gli archi OSM appartenenti ad una rotatoria, sfruttando l'attributo *el_str_ty* derivante dalle geometrie BDTRE ad essi associate.

Nello specifico, ciò che si vuole verificare è che la caratteristica principale del grafo OSM, ovvero il suo orientamento, sia corretta anche in corrispondenza di questi punti critici.

Attraverso il foglio Excel *Archi_OSM*, predisposto in precedenza e mostrato in Tabella 5-87, è stato possibile individuare gli archi contenenti almeno un elemento di rotatoria e valutarne la proprietà oneway. Osservando i risultati ottenuti si è riscontrata la presenza di ben 1886 archi OSM anomali, poiché presumibilmente appartenenti ad una rotatoria ma caratterizzati da un doppio senso di circolazione.

È necessario, dunque, procedere con un'ispezione visiva, al fine di confermare, innanzitutto, che gli elementi così individuati costituiscano effettivamente una rotonda e, successivamente, correggerne la percorrenza.

Si procede, quindi, con l'esportazione dell'elenco di presunti archi bidirezionali di rotatoria in formato CSV, per poi importare il file ottenuto su Q-GIS e collegare il layer testuale al vettore *Archi*.

Da una disamina dei 1886 archi ritenuti anomali, si può constatare che l'orientamento intrinseco alle geometrie è corretto, il primo e l'ultimo vertice sono, infatti, ordinati in senso antiorario, ma l'attributo oneway presenta il valore errato. Di tutti gli elementi passati in rassegna si individuano 1701 archi effettivamente appartenenti ad una rotatoria, per i quali è stato, dunque, necessario correggere il senso di percorrenza, assegnando oneway = F.

Durante questo processo, si sono, inoltre, identificati e rimossi 51 archi superflui ed i relativi 23 nodi.

Al termine delle correzioni condotte su Q-GIS, è opportuno riportare i risultati aggiornati sul file *AttributiGlobali.xlsx*, copiando il contenuto dei campi Arco e oneway del file *Archi.dbf*, rispettivamente all'interno delle colonne G ed H del foglio *Archi_OSM* (Tabella 5-87).

5.3.2.2 Determinazione della classe funzionale associata a ciascun arco

Come anticipato, attribuendo a ciascun arco una classificazione appropriata, sarebbe possibile, nella futura fase di assegnazione dei flussi, specificare una funzione di costo BPR differenziata in base alla specifica categoria stradale. L'integrazione di questa informazione apporterebbe, inoltre, i seguenti vantaggi:

- A. assegnando stili differenti per ciascuna categoria stradale si otterrebbe, innanzitutto, una maggiore leggibilità della rete nel suo complesso;
- B. applicando una classificazione tecnico-funzionale, sarebbe possibile attribuire i valori caratteristici di capacità e velocità di flusso libero per ciascun arco;
- C. nella valutazione di una classe globalmente valida per ciascun arco, verrà indirettamente fornita una stima della coerenza con cui gli elementi di ciascun percorso sono stati aggregati.

Tra le proprietà sinora collezionate, spiccano due attributi particolarmente adatti per effettuare la suddetta classificazione degli archi:

- la *fclass*, derivante dalle geometrie OSM (paragrafo 5.1.1, Tabella 5-1), fornisce una classificazione molto efficace per l'individuazione delle strade più importanti;
- l'attributo *el_str_cf*, desunto dagli elementi BDTRE (paragrafo 5.2.2, Tabella 5-30), specifica, invece, la classe tecnico-funzionale di ciascun segmento.

Il secondo attributo centra pienamente tutte le finalità prefissate, ma, al fine di verificare anche la coerenza delle aggregazioni effettuate, si è scelto di valutare entrambe le alternative.

Il criterio adottato per la determinazione della classe globale di ciascun arco consiste, dunque, nella selezione dell'attributo, *fclass* o *el_str_cf*, preponderante in termini di lunghezza. In altre parole, ogni classe differente, osservata tra gli elementi eterogenei che compongono l'arco risultante, assumerà un peso pari all'estensione cumulata dei relativi segmenti omogenei. La soluzione migliore sarà, dunque, data dalla caratteristica che presenta il peso maggiore e, quindi, quella più frequente lungo l'estensione dell'arco.

Per determinare la coerenza delle aggregazioni effettuate, si propone, infine, di stimare la percentuale di lunghezza coperta dalla caratteristica preponderante.

Se, per esempio, su un arco di 100 metri si osservasse la presenza di due tratte omogenee di 31 e 20 metri, contraddistinte dalla stessa classe X, allora la caratteristica globale risulterebbe X con una coerenza del 51%.

Questi criteri possono essere applicati attraverso l'utilizzo di Excel, aggiungendo al foglio *MainAttr*, preconfigurato in Tabella 5-88, le colonne mostrate nella seguente Tabella 5-89.

Tabella 5-89 *AttributiGlobali.xlsx - Foglio MainAttr (Parte 2)*

	D	E	F	G
1	fclass	coerenza [%]	el_str_cf	coerenza [%]
2	service	100%	strada extraurbana secondaria	100%
3	unclassified	100%	strada urbana di quartiere	45%
4	service	100%	strada urbana di quartiere	74%
5	service	100%	strada extraurbana secondaria	100%
6	unclassified	100%	strada urbana di quartiere	100%
7	service	100%	strada extraurbana secondaria	100%
8	tertiary	100%	strada extraurbana secondaria	100%
9	primary	100%	strada extraurbana secondaria	100%
...

Le colonne D ed E forniscono la stima della fclass globale e si riferiscono, dunque, ai dati disaggregati OSM presenti sul foglio *EL_OSM* (Tabella 5-85).

Analogamente, le colonne F e G riportano il valore complessivo di *el_str_cf*, in questo caso, calcolato sulla base dei dati elementari BDTRE riportati sul foglio *EL_BDTRE* (Tabella 5-86).

Le formule utilizzate per il computo di questi valori sono riportate nella seguente Tabella 5-90.

Tabella 5-90 *Formule da inserire nell'intervallo D2:G2 del foglio MainAttr*

Cella	Formula
D2	=FILTRO(SE(SOMMA.PIÙ.SE(EL_OSM!\$C\$2:\$C\$11511;EL_OSM!\$D\$2:\$D\$11511;A2;EL_OSM!\$E\$2:\$E\$11511;UNICI(EL_OSM!\$E\$2:\$E\$11511))=MAX(SOMMA.PIÙ.SE(EL_OSM!\$C\$2:\$C\$11511;EL_OSM!\$D\$2:\$D\$11511;A2;EL_OSM!\$E\$2:\$E\$11511;UNICI(EL_OSM!\$E\$2:\$E\$11511)))));UNICI(EL_OSM!\$E\$2:\$E\$11511);"";SE(SOMMA.PIÙ.SE(EL_OSM!\$C\$2:\$C\$11511;EL_OSM!\$D\$2:\$D\$11511;A2;EL_OSM!\$E\$2:\$E\$11511;UNICI(EL_OSM!\$E\$2:\$E\$11511))=MAX(SOMMA.PIÙ.SE(EL_OSM!\$C\$2:\$C\$11511;EL_OSM!\$D\$2:\$D\$11511;A2;EL_OSM!\$E\$2:\$E\$11511;UNICI(EL_OSM!\$E\$2:\$E\$11511)))));UNICI(EL_OSM!\$E\$2:\$E\$11511);""<>""))
E2	=SOMMA.PIÙ.SE(EL_OSM!\$C\$2:\$C\$11511;EL_OSM!\$D\$2:\$D\$11511;A2;EL_OSM!\$E\$2:\$E\$11511;D2)/SOMMA.SE(EL_OSM!\$D\$2:\$D\$11511;A2;EL_OSM!\$C\$2:\$C\$11511)
F2	=FILTRO(SE(SOMMA.PIÙ.SE(EL_BDTRE!\$E\$2:\$E\$16599;EL_BDTRE!\$G\$2:\$G\$16599;"*,"&A2&",";EL_BDTRE!\$C\$2:\$C\$16599;UNICI(EL_BDTRE!\$C\$2:\$C\$16599))=MAX(SOMMA.PIÙ.SE(EL_BDTRE!\$E\$2:\$E\$16599;EL_BDTRE!\$G\$2:\$G\$16599;"*,"&A2&",";EL_BDTRE!\$C\$2:\$C\$16599;UNICI(EL_BDTRE!\$C\$2:\$C\$16599)))));UNICI(EL_BDTRE!\$C\$2:\$C\$16599);"";SE(SOMMA.PIÙ.SE(EL_BDTRE!\$E\$2:\$E\$16599;EL_BDTRE!\$G\$2:\$G\$16599;"*,"&A2&",";EL_BDTRE!\$C\$2:\$C\$16599;UNICI(EL_BDTRE!\$C\$2:\$C\$16599))=MAX(SOMMA.PIÙ.SE(EL_BDTRE!\$E\$2:\$E\$16599;EL_BDTRE!\$G\$2:\$G\$16599;"*,"&A2&",";EL_BDTRE!\$C\$2:\$C\$16599;UNICI(EL_BDTRE!\$C\$2:\$C\$16599)))));UNICI(EL_BDTRE!\$C\$2:\$C\$16599);""<>""))
G2	=SOMMA.PIÙ.SE(EL_BDTRE!\$E\$2:\$E\$16599;EL_BDTRE!\$G\$2:\$G\$16599;"*,"&A2&",";EL_BDTRE!\$C\$2:\$C\$16599;F2)/SOMMA.SE(EL_BDTRE!\$G\$2:\$G\$16599;"*,"&A2&",";EL_BDTRE!\$E\$2:\$E\$16599)

Per completare le colonne è sufficiente estendere le formule mostrate in Tabella 5-90 sino all'ultima riga.

Costruzione del grafo di riferimento

Analizzando i risultati prodotti si osserva quanto segue:

- Ricordando che per la stima della fclass globale gli elementi di raccordo “_link” sono stati assimilati alla macrocategoria di appartenenza, si riscontra un livello di coerenza del 100% per il 99.9% degli archi (7542/7551). Per i 9 elementi rimanenti si è potuta constatare un’incoerenza sempre inferiore al 50%, causata dall’aggregazione di classi disomogenee ma, tuttavia, molto simili (motorway e trunk).
- Valutando l’attributo el_str_ty, invece, si osserva una coerenza del 100% per il 94.6% degli archi (7147/7551). Non si sono ispezionati i 404 elementi rimanenti ma, comunque, l’incoerenza è contenuta al di sotto del 30% per circa il 60% dei casi e solo per 5 archi supera il 50%.

Anche se sul foglio Excel la valutazione procede considerando tutti i 7551 archi originariamente presenti, si rammenta che nel paragrafo precedente ne sono stati rimossi 51 e, dunque, sul grafo risultante ne compariranno solo 7500.

Le classificazioni ottenute possono essere importate in Q-GIS come file CSV e successivamente trasferite al vettore *Archi* attraverso un join. I risultati sono mostrati nelle seguenti Figura 5-88 e Figura 5-89.

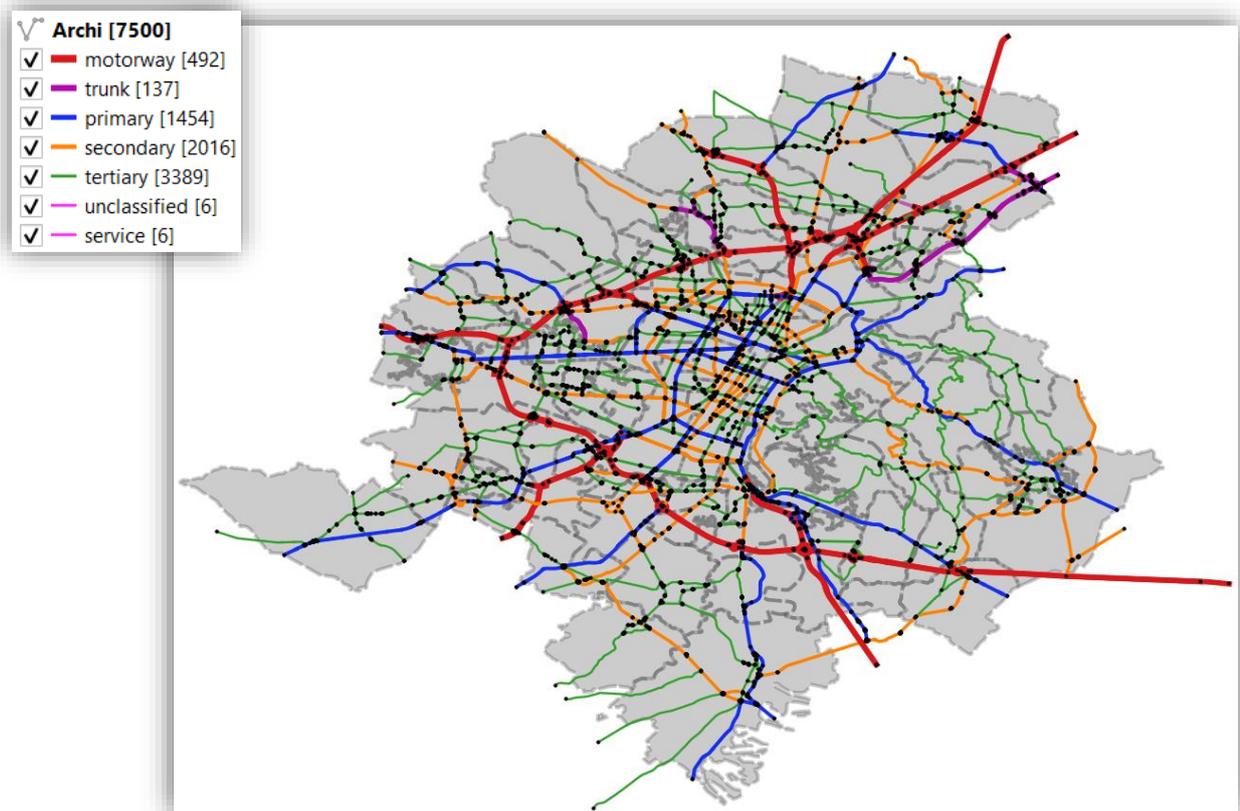


Figura 5-88 Rappresentazione della fclass globale per gli archi del grafo risultante

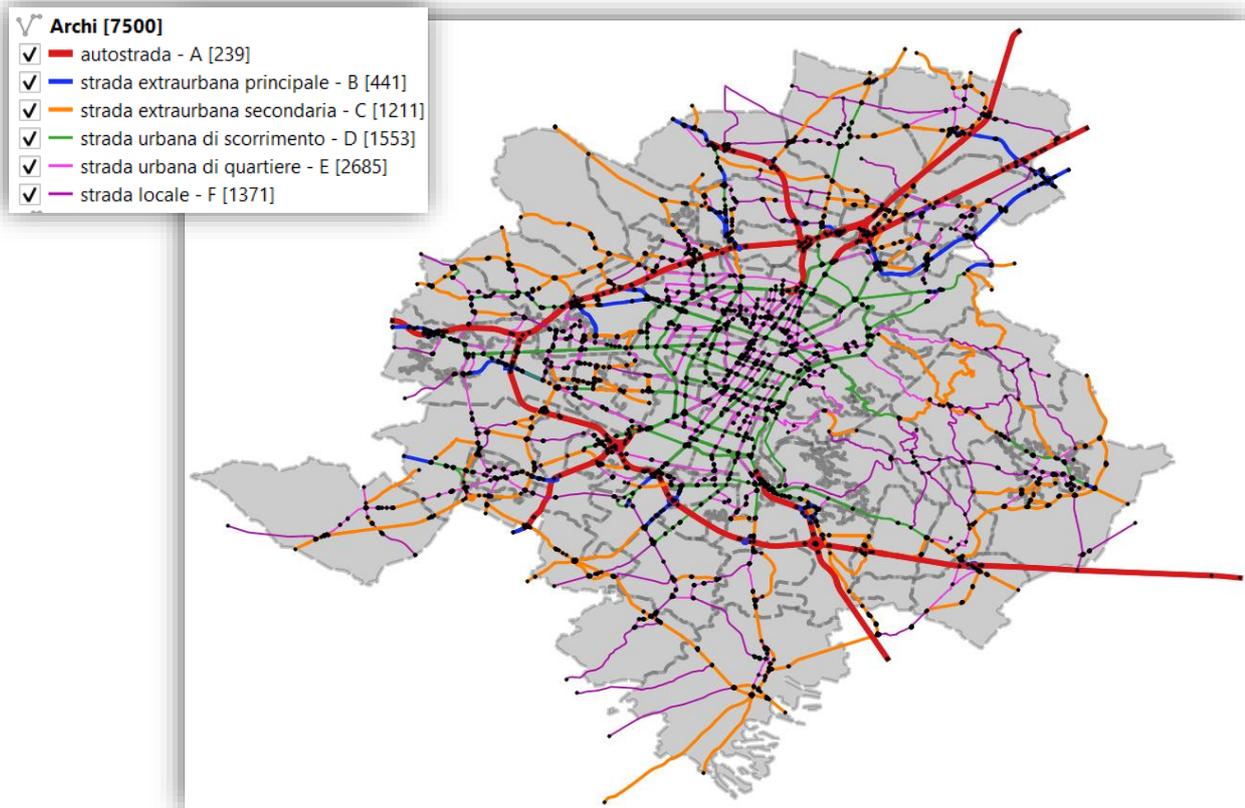


Figura 5-89 Rappresentazione dell'attributo *el_str_cf* globale per gli archi del grafo risultante

5.3.2.3 Determinazione del numero di corsie

La definizione del numero di corsie associate a ciascun arco non costituisce di per sé una nozione fondamentale per questa trattazione ma viene proposta in quanto funzionale alla stima della capacità.

Tra le informazioni presenti sul grafo BDTRE (Tab. 3-3), si individuano due attributi utili a questo scopo:

- *el_str_nc* che indica il numero di corsie per gli archi BDTRE;
- *nlan_svr* che indica, invece, il numero di corsie per gli archi SVR associati al grafo BDTRE.

Siccome la capacità è stata ricavata sulla base dell'attributo *capa_sum*, anch'esso derivato dalla sottorete SVR, sarebbe più appropriato rapportarsi al valore di *nlan_svr*. A seguito di un'analisi preliminare, si è constatato, tuttavia, che questo attributo è valorizzato solo per il 73% degli archi e risulta, comunque, prossimo al valore fornito da *el_str_nc*.

La scelta ricade, dunque, sull'attributo *el_str_nc*, ed è rafforzata dal fatto che tale proprietà deriva direttamente dalle geometrie BDTRE e non è frutto di un'operazione di "proiezione geometrica" affetta da possibili errori.

Analogamente al paragrafo precedente, si sceglie, dunque, di associare agli archi del grafo risultante il valore di *el_str_nc* preponderante in termini di lunghezza e si propone una stima della coerenza di aggregazione. I risultati dell'applicazione di questo criterio sono mostrati nelle colonne H ed I della Tabella 5-91, ottenute attraverso le formule riportate in Tabella 5-92.

Analizzando i valori così ottenuti si riscontra che per il 99.2% degli archi (7493/7551) la coerenza è totale.

Costruzione del grafo di riferimento

A questo punto si ritiene necessario apportare un'ulteriore correzione riguardante il numero di corsie degli archi bidirezionali. È generalmente vero che nelle tratte stradali a doppio senso di percorrenza ci sia un numero di corsie pari, equamente distribuite nelle due direzioni. Nei casi in cui questa ipotesi viene disattesa si interviene, dunque, aggiungendo una corsia, così da pareggiare il valore totale.

Ricordando che nel paragrafo 5.3.2.1 è stata modificata la percorrenza degli elementi di rotatoria ed alcuni archi sono stati rimossi, occorre individuare il valore aggiornato di oneway prima di procedere con la correzione di el_str_nc. L'esito di queste operazioni è mostrato nelle colonne J e K della Tabella 5-91, calcolate attraverso le formule riportate in Tabella 5-92.

Tabella 5-91 AttributiGlobali.xlsx - Foglio MainAttr (Parte 3)

	H	I	J	K
1	el_str_nc	coerenza [%]	oneway_cor	NC_cor
2	2	100%	F	2
3	2	100%	B	2
4	2	100%	F	2
5	2	100%	F	2
6	2	100%	F	2
7	2	100%	F	2
8	2	100%	F	2
9	2	100%	F	2
...

Tabella 5-92 Formule da inserire nell'intervallo H2:K2 del foglio MainAttr

Cella	Formula
H2	=FILTRO(SE(SOMMA.PIÙ.SE(EL_BDTRE!\$E\$2:\$E\$16599;EL_BDTRE!\$G\$2:\$G\$16599;"*,"&A2&","*"; EL_BDTRE!\$D\$2:\$D\$16599;UNICI(EL_BDTRE!\$D\$2:\$D\$16599))=MAX(SOMMA.PIÙ.SE(EL_BDTRE!\$E\$2:\$E\$16599;EL_BDTRE!\$G\$2:\$G\$16599;"*,"&A2&","*";EL_BDTRE!\$D\$2:\$D\$16599;UNICI(EL_BDTRE!\$D\$2:\$D\$16599)));UNICI(EL_BDTRE!\$D\$2:\$D\$16599);""));SE(SOMMA.PIÙ.SE(EL_BDTRE!\$E\$2:\$E\$16599;EL_BDTRE!\$G\$2:\$G\$16599;"*,"&A2&","*";EL_BDTRE!\$D\$2:\$D\$16599;UNICI(EL_BDTRE!\$D\$2:\$D\$16599))=MAX(SOMMA.PIÙ.SE(EL_BDTRE!\$E\$2:\$E\$16599;EL_BDTRE!\$G\$2:\$G\$16599; "*" ,"&A2&","*";EL_BDTRE!\$D\$2:\$D\$16599;UNICI(EL_BDTRE!\$D\$2:\$D\$16599)));UNICI(EL_BDTRE!\$D\$2:\$D\$16599);""))<>"")
I2	=SOMMA.PIÙ.SE(EL_BDTRE!\$E\$2:\$E\$16599;EL_BDTRE!\$G\$2:\$G\$16599;"*,"&A2&","*"; EL_BDTRE!\$D\$2:\$D\$16599;H2)/ SOMMA.SE(EL_BDTRE!\$G\$2:\$G\$16599;"*,"&A2&","*"; EL_BDTRE!\$E\$2:\$E\$16599)
J2	=SE.ERRORE(INDICE(Archi_OSM!\$H\$2:\$H\$7501;CONFRONTA(NUMERO.VALORE(A2); Archi_OSM!\$G\$2:\$G\$7501;0));INDICE(Archi_OSM!\$B\$2:\$B\$7552;CONFRONTA(A2; Archi_OSM!\$A\$2:\$A\$7552;0)))
K2	=SE(E(J2="B";TRONCA(H2/2;0)<>H2/2)=VERO;H2+1;H2)

Per completare le colonne è sufficiente estendere le formule mostrate in Tabella 5-92 sino all'ultima riga.

Una volta corretto il numero di corsie per direzione di ogni arco, si possono importare i risultati su Q-GIS come file CSV, per trasferirli, successivamente, in un nuovo campo LanesDir del vettore *Archi*, eseguendo un'operazione di join.

5.3.2.4 Correzione della capacità degli archi

Lo scopo di quest'ultima verifica consiste nella validazione dei valori di capacità degli archi che, come descritto nella fase conclusiva del paragrafo 5.2.6.4 (pag. 152), risultano, a prima vista, eccessivamente sovrastimate.

Prima di procedere si riportano le seguenti considerazioni:

- Poiché la sovrastima risulta, chiaramente, più accentuata per il valore di C_{med} , per limitare le correzioni e non alterare eccessivamente i dati ricavati dal grafo BDTRE, si è stabilito di considerare esclusivamente la capacità minima C_{min} . Questo spiega perché il foglio *Archi_OSM* è stato predisposto introducendo esclusivamente tale valore, come mostrato in Tabella 5-87.
- Sempre al fine di limitare gli interventi correttivi, si è cercato di fissare una soglia di tolleranza ampia, ricercando per ogni categoria stradale i valori di capacità teorica massimi.
- Si ricorda, inoltre, che la proprietà C_{min} è stata ricavata dall'attributo *capa_sum*, che rappresenta la capacità complessiva, dei valori nelle due direzioni, associata agli archi BDTRE. Di contro, i valori teorici di capacità sono, generalmente, riferiti alla singola corsia, in funzione della categoria stradale.

Sulla base di queste osservazioni, la validazione delle capacità stimate viene eseguita attraverso le seguenti operazioni:

1. Occorre, innanzitutto, introdurre i valori teorici di capacità per corsia sul file *AttributiGlobali.xlsx*, aggiungendo un nuovo foglio denominato *C_Max*, strutturato come nella seguente Tabella 5-93.

Tabella 5-93 *AttributiGlobali.xlsx* - Foglio *C_Max*

	A	B	C	
1	Categoria		C_max [ve/h/lane]	
2	autostrada	A	2400	← Capacità max di una corsia autostradale
3	strada extraurbana principale	B	2000	← Portata di servizio * Q/C orientativo (0.5)
4	strada extraurbana secondaria	C	1600	← Capacità max di una corsia ordinaria
5	strada urbana di scorrimento	D	950	← Portata di servizio
6	strada urbana di quartiere	E	800	← Portata di servizio
7	strada locale	F	800	← Portata di servizio

In questo caso, i valori mostrati in Tabella 5-93, sono stati valutati sulla base della portata di servizio⁴⁵ e di opportune considerazioni estrapolate dal documento *Richiami di Teoria del Traffico.pdf* (Villani, 2015)⁴⁶.

2. A questo punto, è necessario suddividere la capacità complessiva di ciascun arco C_{min} , per il totale di corsie presenti nelle due direzioni "NC_cor", così da poter effettuare il successivo confronto con i valori teorici di capacità, espressi per le singole corsie. La capacità di ogni corsia "C [ve/h/lane]", stimata attraverso il suddetto rapporto, viene riportata nella colonna L della Tabella 5-94.
3. Successivamente, si corregge "C [ve/h/lane]", limitando i valori stimati entro la soglia "C_max [ve/h/lane]", specifica per la categoria stradale di ciascun arco. Da questa rettifica si ottengono i valori di "C_cor [ve/h/lane]", riportati nella colonna M della Tabella 5-94.

⁴⁵ Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade - D.M. n° 6792 del 05/11/2001

⁴⁶ <https://core.ac.uk/download/pdf/55234581.pdf>

Costruzione del grafo di riferimento

Nonostante gli accorgimenti introdotti per non alterare eccessivamente i valori ricavati dal grafo BDTRE, le correzioni apportate sino a questo punto interessano il 90% degli archi (6798/7551).

Il processo di correzione potrebbe dirsi concluso ma, considerando che per l'assegnazione dei flussi, saranno necessari i valori di capacità complessiva per direzione degli archi, si effettua ancora un'ultima operazione:

4. Si moltiplica "C_cor [ve/h/lane]" per il numero di corsie per direzione "NC_cor/dir", introdotto nella colonna N della Tabella 5-94, per ottenere, infine, il valore di capacità complessiva per direzione di ciascun arco "C [ve/h/dir]", riportato nella colonna O della Tabella 5-94.

Tabella 5-94 AttributiGlobali.xlsx - Foglio MainAttr (Parte 4)

	L	M	N	O
1	C [ve/h/lane]	C_cor [ve/h/lane]	NC_cor/dir	C [ve/h/dir]
2	1843	1600	2	3200
3	1958	800	1	800
4	2667	800	2	1600
5	1843	1600	2	3200
6	2000	800	2	1600
7	1843	1600	2	3200
8	2000	1600	2	3200
9	1000	1000	2	2000
...

I valori contenuti all'interno delle colonne in Tabella 5-94, possono essere calcolati inserendo nel range L2:O2 le formule mostrate nella seguente Tabella 5-95, ed estendendo i risultati sino all'ultima riga del foglio.

Tabella 5-95 Formule da inserire nell'intervallo L2:O2 del foglio MainAttr

Cella	Formula
L2	=INDICE(Archi_OSM!\$C\$2:\$C\$7552;CONFRONTA(A2;Archi_OSM!\$A\$2:\$A\$7552;0))/K2
M2	=ARROTONDA(SE(L2>CERCA.VERT(F2;C_Max!\$A\$2:\$C\$7;3;FALSO);CERCA.VERT(F2;C_Max!\$A\$2:\$C\$7;3;FALSO);L2);0)
N2	=SE(J2="B";K2/2;K2)
O2	=N2*M2

I valori di capacità per direzione, così ottenuti, possono essere importati su Q-GIS come file CSV e, successivamente, trasferiti al vettore *Archi* eseguendo un'operazione di join.

Il risultato viene mostrato nella seguente Figura 5-90.

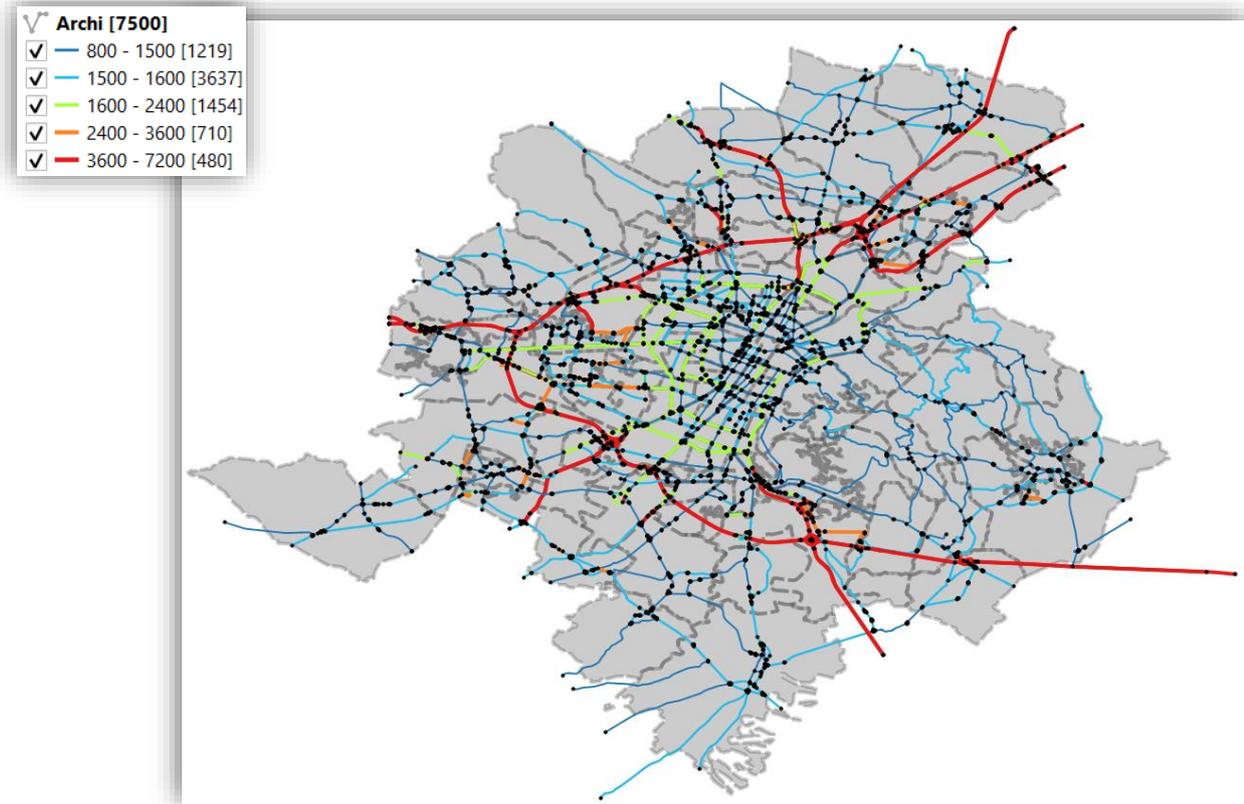


Figura 5-90 Rappresentazione della capacità per direzione di ciascun arco $C[ve/h/d]$ del grafo risultante [veicoli/ora/direzione]

5.4. Sintesi finale

In questa sezione si propone una breve sintesi dei principali risultati ottenuti nel corso di questo capitolo.

Sulla base dei dati OSM, è stato, innanzitutto, costruito il grafo orientato di riferimento, attraverso una serie di procedure standardizzate, finalizzate alla selezione degli elementi, alla classificazione dei nodi ed alla definizione degli archi.

Successivamente, si è effettuata una laboriosa procedura di proiezione degli attributi BDTRE sugli archi del grafo OSM di riferimento. Durante questa procedura, le proprietà derivanti dalla sottorete SVR sono state, preventivamente, completate attraverso un criterio di imputazione statistica.

Al termine del processo di “data-fusion”, si sono ricavati i seguenti attributi globali:

- il TGM, calcolato come media dei valori di $capa_sum$, pesata sulle lunghezze degli elementi associati a ciascun arco;
- La capacità per direzione C di ciascun arco, stimata dal valore minimo di capacità C_{min} , e corretta sulla base dei valori di capacità teorici;
- La velocità di flusso libero V_f , e la velocità media V , calcolate come velocità medie di percorrenza di ciascun arco;
- La classe funzionale ed il N° di corsie, rispettivamente ricavati dagli attributi el_str_cf ed el_str_nc , selezionando il valore preponderante in termini di lunghezza.

Si noti, in conclusione, che il TGM medio potrà essere sfruttato per valutare qualitativamente la verosimiglianza dei flussi stimati ma, non distinguendo le direzioni di percorrenza, non potrà essere impiegato per confronti puntuali.

6. Definizione degli archi fittizi

Giunti in questa fase dell'elaborato, avendo precedentemente definito zonizzazione e centroidi (capitolo 4) ed il grafo stradale a servizio dell'area di studio (capitolo 5), occorre completare il modello d'offerta introducendo gli archi fittizi.

Tali elementi dovranno fungere da connettori tra i centroidi di zona ed i nodi d'accesso alla rete stradale, approssimando i percorsi intrazonali effettivamente intrapresi per gli spostamenti con origine/destinazione in ciascuna zona di traffico. Poiché ciascun centroide, infatti, concentra su di sé la totalità delle origini/destinazioni che sarebbero, in realtà, diffuse all'interno delle relative zone, gli archi connettori non potrebbero mai descrivere la reale dinamica della mobilità interna, ma devono, quantomeno, risultare rappresentativi del costo medio sostenuto, in termini di tempo e distanza di percorrenza, per raggiungere la rete principale.

Per ottenere questi risultati, come verrà meglio descritto nei seguenti paragrafi, verrà adottato un approccio differenziato per le zone interne e quelle esterne all'area di studio. In entrambi i casi, comunque, questi collegamenti virtuali saranno valutati considerando degli elementi stradali non inclusi nella rete principale che, tuttavia, possiederanno delle peculiarità, sostanzialmente, opposte: mentre i connettori interni assolveranno alla funzione di penetrazione ed accesso al territorio, quindi attribuibili a categorie stradali di importanza secondaria, i collegamenti con le zone esterne saranno, invece, costituiti dalle arterie principali, atte a garantire il transito, lo scorrimento e la distribuzione dei flussi relativi alle percorrenze medio/lunghe.

6.1. Archi fittizi relativi ai centroidi interni all'area di studio

In questo caso gli archi fittizi devono, come anticipato, garantire l'accesso e la penetrazione all'interno delle zone ricadenti nell'area di studio e vengono, dunque, valutati su uno schema stradale di maggior dettaglio rispetto al grafo selezionato, includente anche i percorsi di secondaria importanza.

Facendo, ancora una volta, riferimento alla classificazione di OpenStreetMap la rete di dettaglio comprenderà tutte le categorie stradali (fclass) percorribili dai veicoli motorizzati, descritte sinteticamente nell'elenco seguente:

- motorway = autostrade;
 - trunk = superstrade;
 - primary = normalmente SS o SR;
 - secondary = normalmente SP;
 - tertiary = strade locali o comunali;
 - unclassified = livello minimo della rete stradale extraurbana;
 - residential = strade situate in zone residenziali;
- } Fare riferimento al paragrafo 5.1.1 per maggiori dettagli.
- service = strade di accesso o interne ad aree di servizio, complessi industriali, centri commerciali, residenze, posteggi, ecc.;
 - living_street = strade a prevalente uso pedonale dove il limite di velocità è particolarmente basso;
 - track = strade ad uso prevalentemente agricolo o forestale, spesso sconnesse e non pavimentate;
 - unknown = strade la cui classificazione è ignota.

Valutando i percorsi presenti sulla rete di dettaglio, così definita, gli archi connettori vengono, dunque, selezionati adottando i criteri generali di seguito riportati:

- A. ciascun centroide deve connettersi al grafo stradale in corrispondenza di un nodo di intersezione;
- B. per ciascun centroide vengono introdotti da un minimo di uno ad un massimo di quattro archi connettori, con l'intento di garantire le principali opzioni di accesso alla rete, in coerenza con le possibili direzioni intraprese dai flussi entranti/uscenti da ciascuna zona, come mostrato nell'esempio in Figura 6-1;

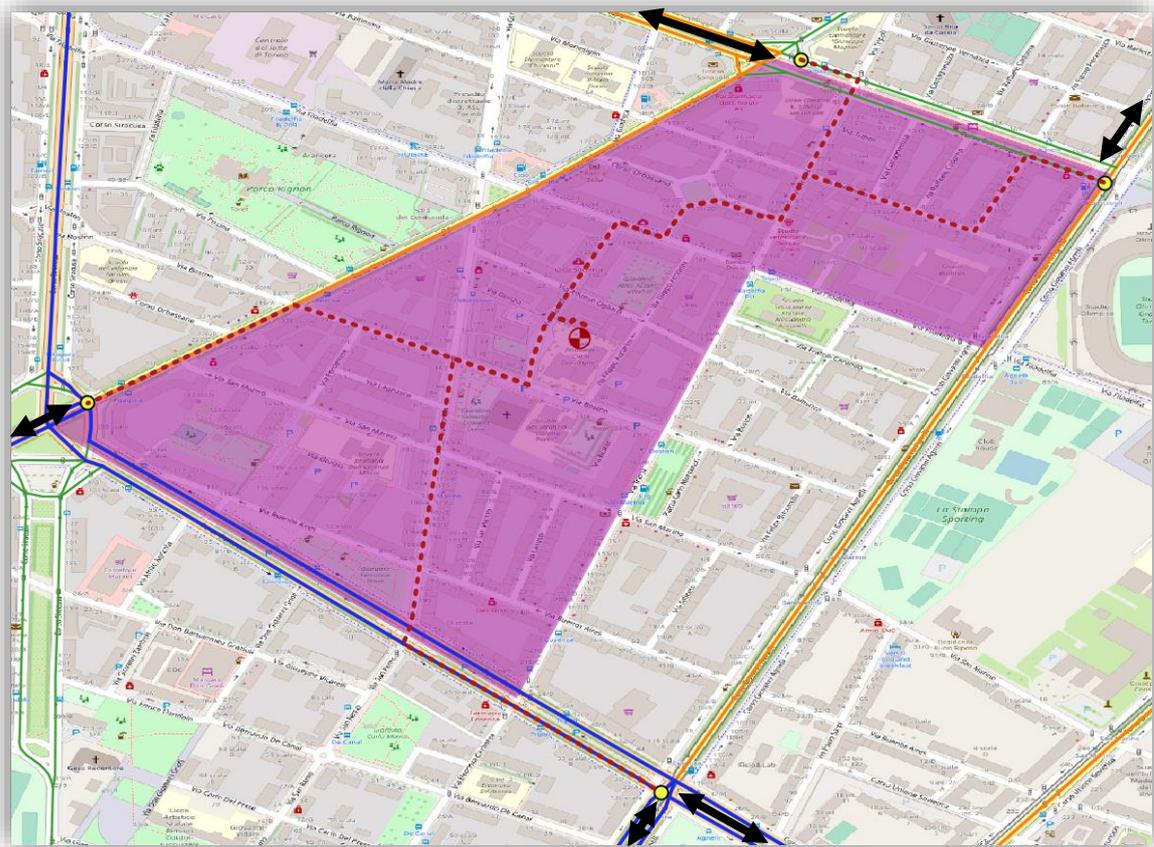


Figura 6-1 Esempio di centroide con quattro archi connettori, uno per ciascuna direzione principale

- C. quando ad un generico centroide vengono assegnati molteplici archi connettori, occorre verificare che ciascuna di queste connessioni rappresenti effettivamente il percorso più rapido per raggiungere il rispettivo nodo di accesso alla rete stradale. Se così non fosse, infatti, durante la fase di assegnazione dei flussi l'arco fittizio caratterizzato dal costo maggiore non verrebbe mai caricato e risulterebbe superfluo. Tale verifica viene eseguita attribuendo agli archi fittizi una velocità di percorrenza di 30 km/h.

Per chiarire meglio questo criterio si propongono i due esempi in Figura 6-2 e Figura 6-3.

Definizione degli archi fittizi



Figura 6-2 Verifica dei tempi di percorrenza per raggiungere il nodo B attribuendo una velocità di 30 km/h agli archi fittizi

Nel primo caso (Figura 6-2) il percorso più rapido per raggiungere il nodo B è costituito dall'arco b (93 secondi), se, infatti, si passasse per gli archi a e d occorrerebbero quattro secondi in più per giungere a destinazione (46 + 51 = 97 secondi).

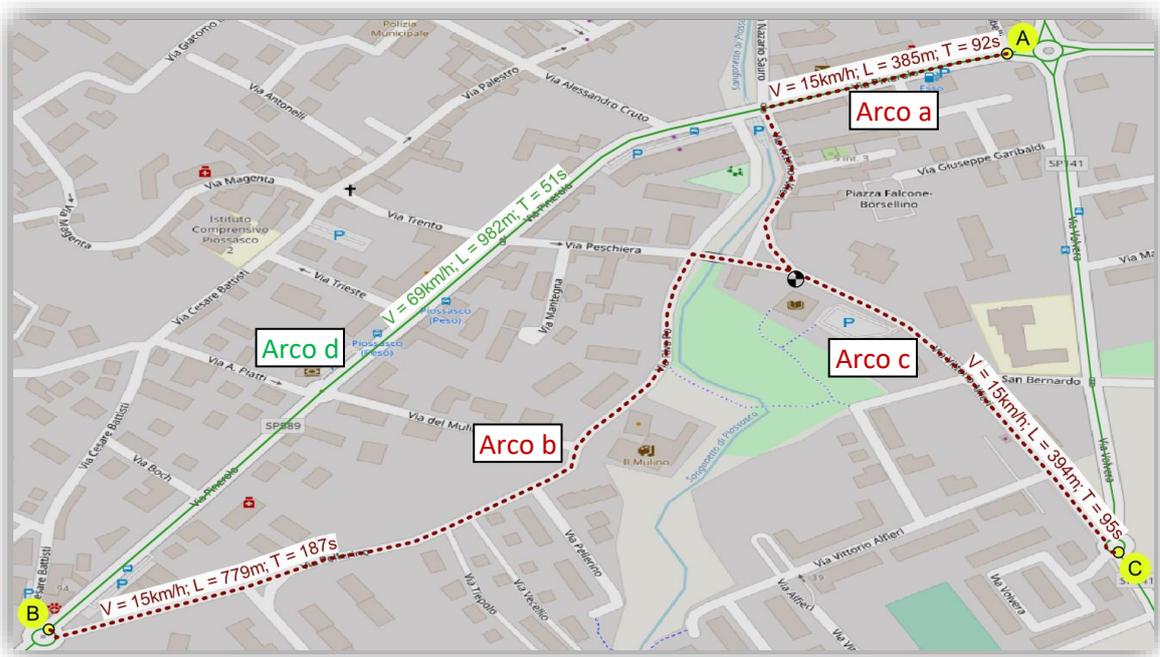


Figura 6-3 Verifica dei tempi di percorrenza per raggiungere il nodo B attribuendo una velocità di 15 km/h agli archi fittizi

Nel secondo caso (Figura 6-3) si mostra, invece, come cambia il risultato percorrendo gli archi fittizi ad una velocità di 15 km/h. L'arco b, pur rimanendo il percorso più corto, richiederebbe 44 secondi in più per raggiungere il nodo B rispetto al tragitto che passa per gli archi a e d. In fase di assegnazione dei flussi, quindi, sia la mobilità diretta verso nord, sia quella diretta verso sud-ovest verrebbero caricate sull'arco a e l'arco b risulterebbe scarico.

Si precisa che in Figura 6-3 si è proposto una modifica della velocità di percorrenza solo a titolo esemplificativo, ma la verifica produrrebbe lo stesso esito anche nel caso di Figura 6-2 se, a parità di velocità (30 km/h), l'arco b fosse 42 metri più lungo ($0.042 / 30 * 3600 = + 5$ secondi).

- D. anche se incluse nella rete di dettaglio, le strade motorway e trunk, vista la loro funzione e le restrizioni d'accesso, non possono essere considerate dei connettori di zona e, inoltre, non possono collegarsi direttamente ad un arco fittizio, a meno che non costituiscano uno svincolo;
- E. per semplificare la selezione degli archi fittizi vengono valutati esclusivamente i percorsi divergenti da ciascun centroide, nel rispetto degli effettivi versi di percorrenza (attributo oneway). L'arco connettore così ottenuto viene però classificato come bidirezionale, ipotizzando che sia sempre possibile individuare un analogo percorso con verso opposto;

Nel rispetto dei criteri sopraesposti, la selezione degli archi fittizi viene, dunque, eseguita per ciascun centroide individuando, caso per caso, i principali nodi d'accesso alla rete e valutando i rispettivi collegamenti più brevi con l'ausilio del comando "Percorso più breve (da punto a punto)", settato come mostrato nella seguente Figura 6-4.

Figura 6-4 Settaggi del comando "Percorso più breve (da punto a punto)"

Definizione degli archi fittizi

Questa procedura serve, essenzialmente, per determinare l'effettiva presenza di un percorso di collegamento centroide/nodo e determinarne la distanza di percorrenza.

Nello schema di rete finale, tuttavia, gli archi connettori, anche se caratterizzati dalla lunghezza associata al rispettivo percorso reale, verranno linearizzati così da riprodurre un output semplificato, come mostrato nell'esempio in Figura 6-5 raffigurante il risultato ottenuto per le zone del comune di Torino.

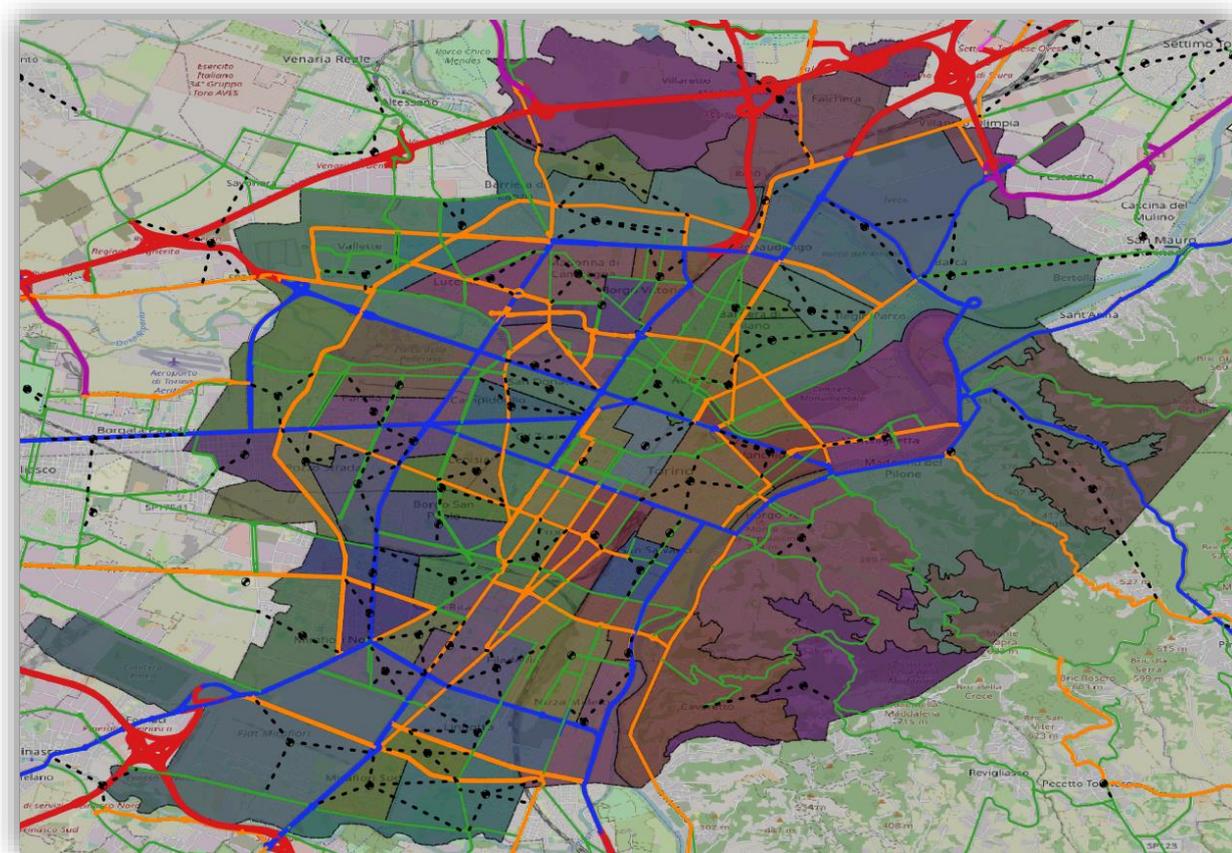


Figura 6-5 Risultato grafico dell'individuazione degli archi fittizi relativi ai centroidi di zona del comune di Torino

Al termine di questa fase vengono selezionati 319 archi fittizi relativi ai 113 centroidi delle zone interne all'area di studio. Ciascun arco connettore risulta, a questo punto, caratterizzato da una velocità di percorrenza di 30 km/h e da una lunghezza pari a quella del rispettivo percorso reale, individuato nel rispetto dei criteri esposti in precedenza.

Ricordando, infine, che non si è interessati alla modellazione del traffico per gli archi connettori, viene ad essi associata una capacità molto elevata, pari a 25000 veh/h per direzione, per scongiurare l'eventuale raggiungimento della saturazione che produrrebbe conseguenti rallentamenti sulla circolazione.

6.2. Archi fittizi relativi alle zone esterne all'area di studio

La definizione degli archi fittizi relativi alle zone esterne all'area di studio, discussa in questa sezione, segue un approccio differente rispetto al caso trattato nel precedente paragrafo.

Questa volta, infatti, gli elementi connettori dovranno descrivere i percorsi preferenziali relativi alla mobilità di medio/lungo raggio, garantendo il transito, lo scorrimento e la distribuzione dei flussi di scambio con le zone esterne all'area di studio.

La rete viaria su cui si basa la selezione degli archi connettori esterni, dunque, include esclusivamente le arterie principali che generalmente assolvono alle funzioni sopracitate, costituite, quindi, da autostrade, superstrade, SS, SR, SP ed alcune strade locali maggiori.

Come già spiegato nel corso del paragrafo 4.3.3, riguardante la zonizzazione esterna, il livello di dettaglio considerato va a ridursi progressivamente con l'aumentare della distanza delle zone esterne rispetto all'area di studio, come descritto sinteticamente nel seguito:

- Per la macroarea relativa alla Città metropolitana di Torino, collocata nell'immediata prossimità dell'area di studio, si vuole garantire il massimo livello di dettaglio, così da cogliere anche i percorsi minori, intrapresi prevalentemente dalla mobilità di medio raggio (fclass = motorway, trunk, primary, secondary e tertiary);
- La rete considerata per la mobilità di scambio con le altre provincie del Piemonte, data la maggiore entità delle percorrenze (raggio medio/lungo), si compone delle sole autostrade, superstrade e strade di importanza statale e regionale (fclass = motorway, trunk e primary);
- Per le lunghe percorrenze, relative agli spostamenti interregionali, infine, lo schema stradale considerato include prevalentemente i percorsi autostradali (motorway), eventualmente completati da brevi tratte di superstrada (trunk) o di strade statali (primary).

Prima di procedere, occorre, inoltre, ricordare che nel corso del paragrafo 4.3.3 i centroidi esterni sono stati temporaneamente collocati lungo il confine dell'area di studio, rimandando la loro eventuale ridefinizione al paragrafo corrente.

Anche se in maniera poco ortodossa, si è, infatti, stabilito di posizionare i centroidi in modo tale da semplificare la definizione degli archi connettori esterni, trascurando l'individuazione degli effettivi poli generatori/attrattori del traffico per favorire, esclusivamente, l'identificazione delle principali direttrici di ingresso/uscita dall'area di studio. In altre parole, dunque, i centroidi esterni non costituiranno il baricentro teorico di origine/destinazione degli spostamenti, ma verranno posizionati in corrispondenza dei nodi di intersezione tra i percorsi principali, ritenuti i maggiori catalizzatori dei flussi di scambio.

Prevedendo per ciascun centroide esterno almeno due archi connettori per verso di percorrenza, provenienti o diretti in zone differenti dell'area di studio, si vuole simulare la reale scelta del percorso ottimale, che in fase di assegnazione sarà valutata sulla base del costo e, quindi, in funzione dell'effettiva origine/destinazione dello spostamento.

Per chiarire meglio i criteri di posizionamento dei centroidi esterni e l'individuazione dei percorsi principali, si propone l'esempio in Figura 6-6.

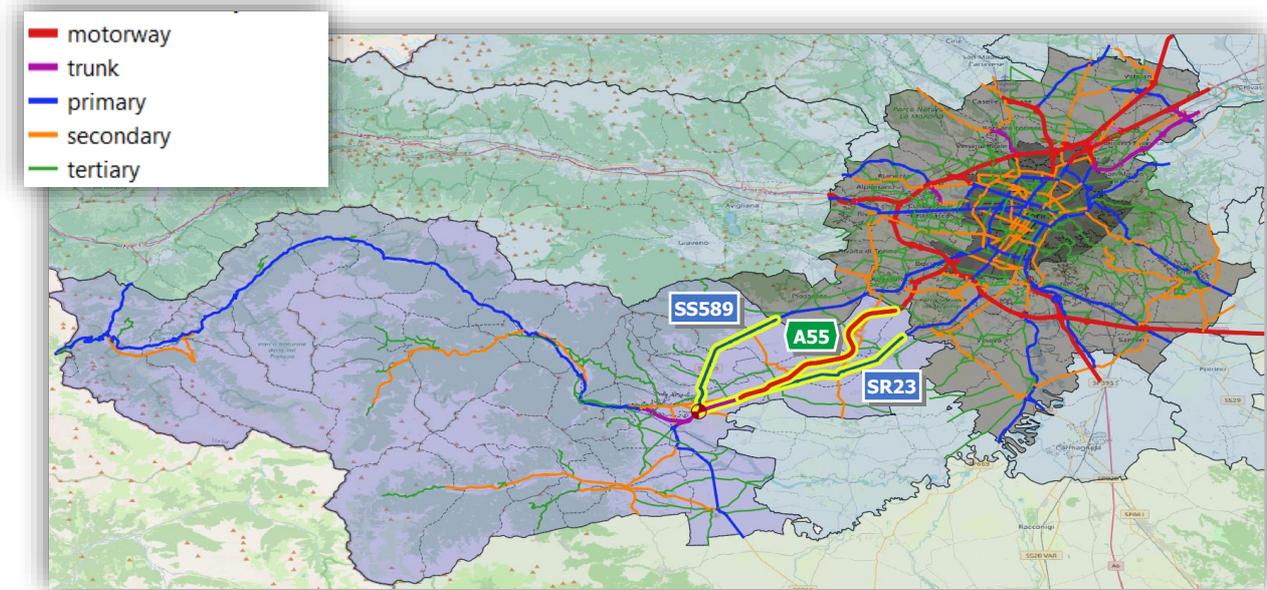


Figura 6-6 Esempio di posizionamento di un centroide esterno all'area di studio

Nell'esempio in Figura 6-6, è possibile osservare come il centroide venga posizionato nel punto di intersezione tra i principali percorsi in ingresso/uscita dall'area di studio, rappresentati, in questo caso, dalla SS589, dalla A55 e dalla SR23.

Gli spostamenti di scambio con il centroide esterno verranno assegnati ad uno dei tre percorsi evidenziati in Figura 6-6, sulla base del rispettivo costo e, quindi, dalla specifica zona interna di origine/destinazione. Valutando i tempi e le distanze di percorrenza si può, dunque, prevedere la seguente casistica:

- le zone posizionate più ad ovest dell'area di studio saranno, probabilmente, associate alla SS589;
- le zone a sud, invece, verranno associate alla SR23;
- le zone rimanenti, infine, saranno associate alla A55 per via della velocità di deflusso più elevata, anche se a costo di una distanza di percorrenza maggiore.

Si noti che i percorsi autostradali sono rappresentati sul grafo con archi monodirezionali e che, quindi, le tre strade evidenziate in Figura 6-6 vengono schematizzate utilizzando quattro archi connettori, uno corrispondente alla SS589, uno alla SR23 e due relativi alle due direzioni della A55.

Il centroide, inoltre, è posizionato in un punto medio della zona esterna, dal quale risulta possibile raggiungere qualunque altra area proseguendo sempre lungo SR23 o, tutt'al più, deviando su qualche sua diramazione maggiore.

Applicando criteri analoghi per tutte le zone esterne, descritte al paragrafo 4.3.3, vengono selezionati tutti i percorsi di scambio tra l'area di studio e la Città Metropolitana, le altre province del Piemonte e le altre regioni d'Italia, mostrati rispettivamente in Figura 6-7, in Figura 6-8 ed in Figura 6-9.

ArchiF_Città Metropolitana

- motorway
- trunk
- primary
- secondary
- tertiary

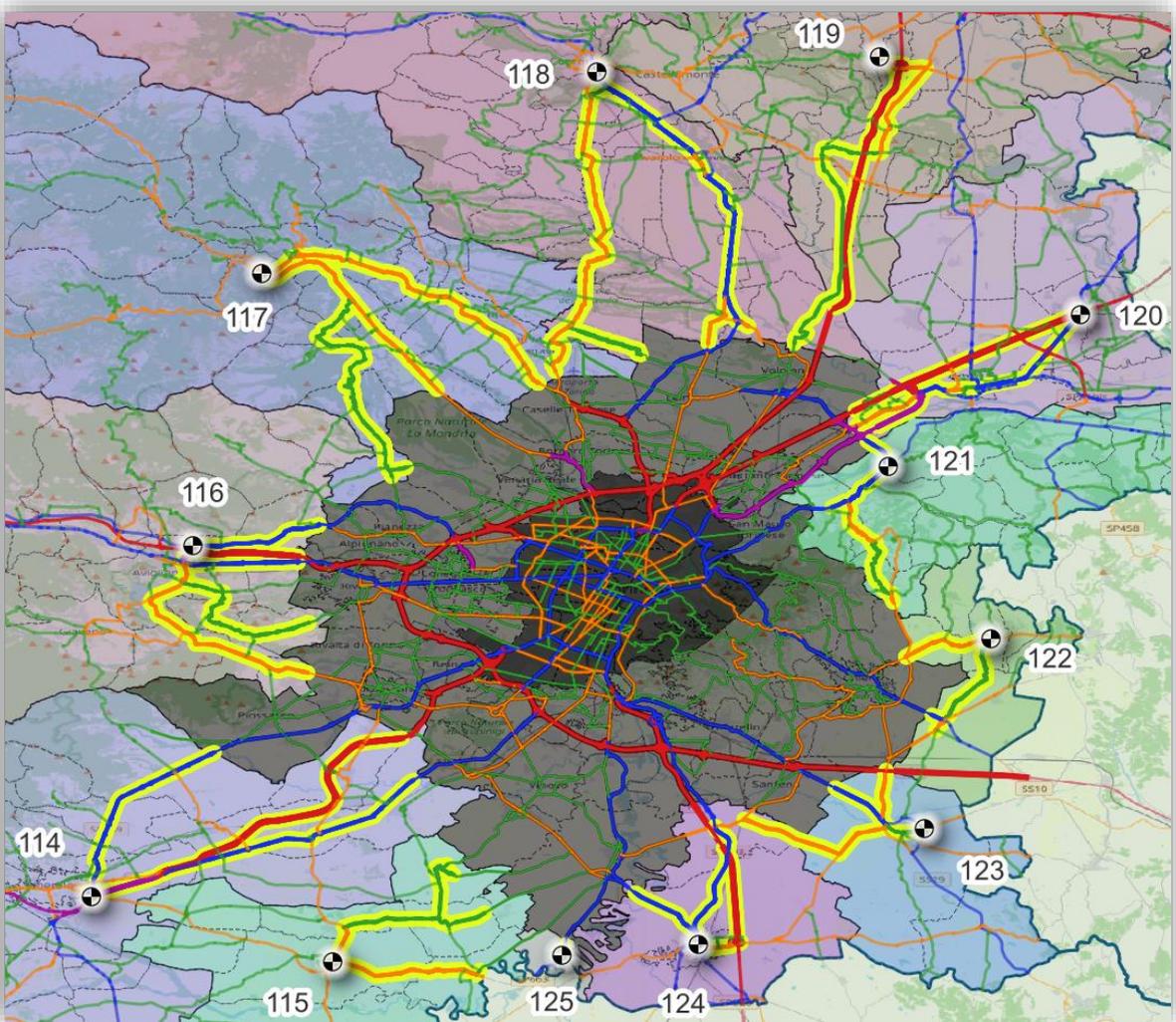
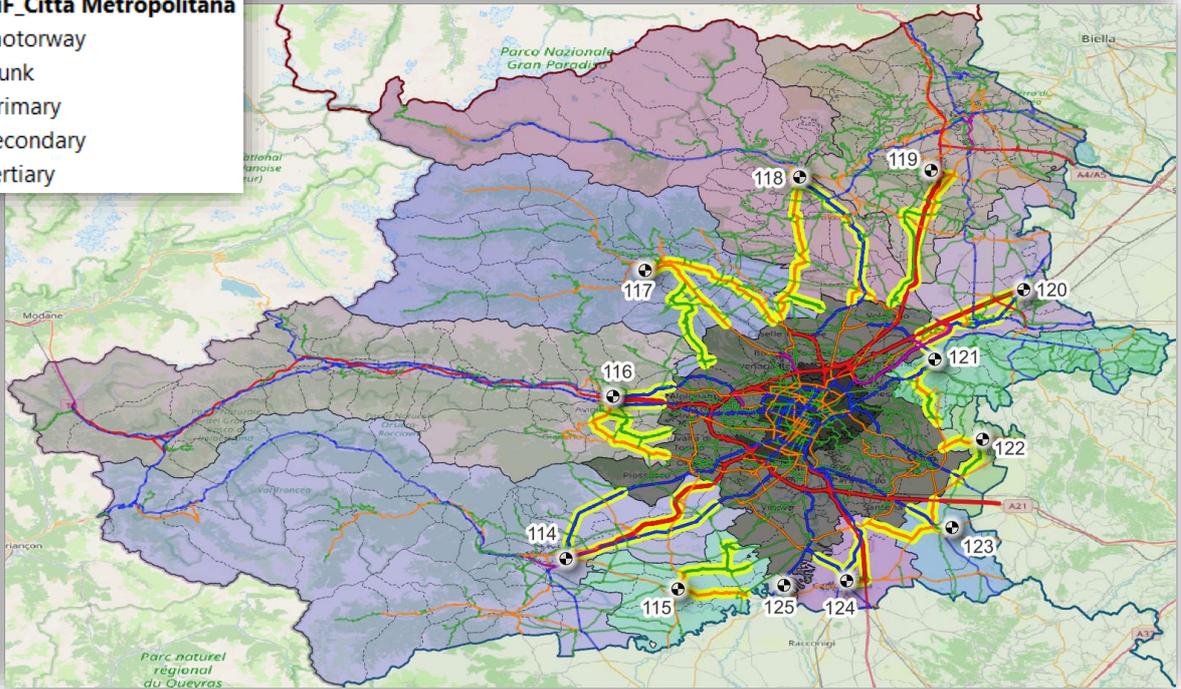


Figura 6-7 Percorsi rappresentativi degli archi connettori relativi ai centroidi esterni ricadenti nell'area della Città Metropolitana

Definizione degli archi fittizi

Come è possibile osservare in Figura 6-7, ad eccezione del centroide 125, vengono individuati almeno due percorsi per ciascuna zona esterna appartenente alla Città Metropolitana.

Tali percorsi andranno, dunque, a descrivere i 46 archi connettori rappresentativi delle relazioni di scambio tra l'area di studio e la Città metropolitana di Torino.

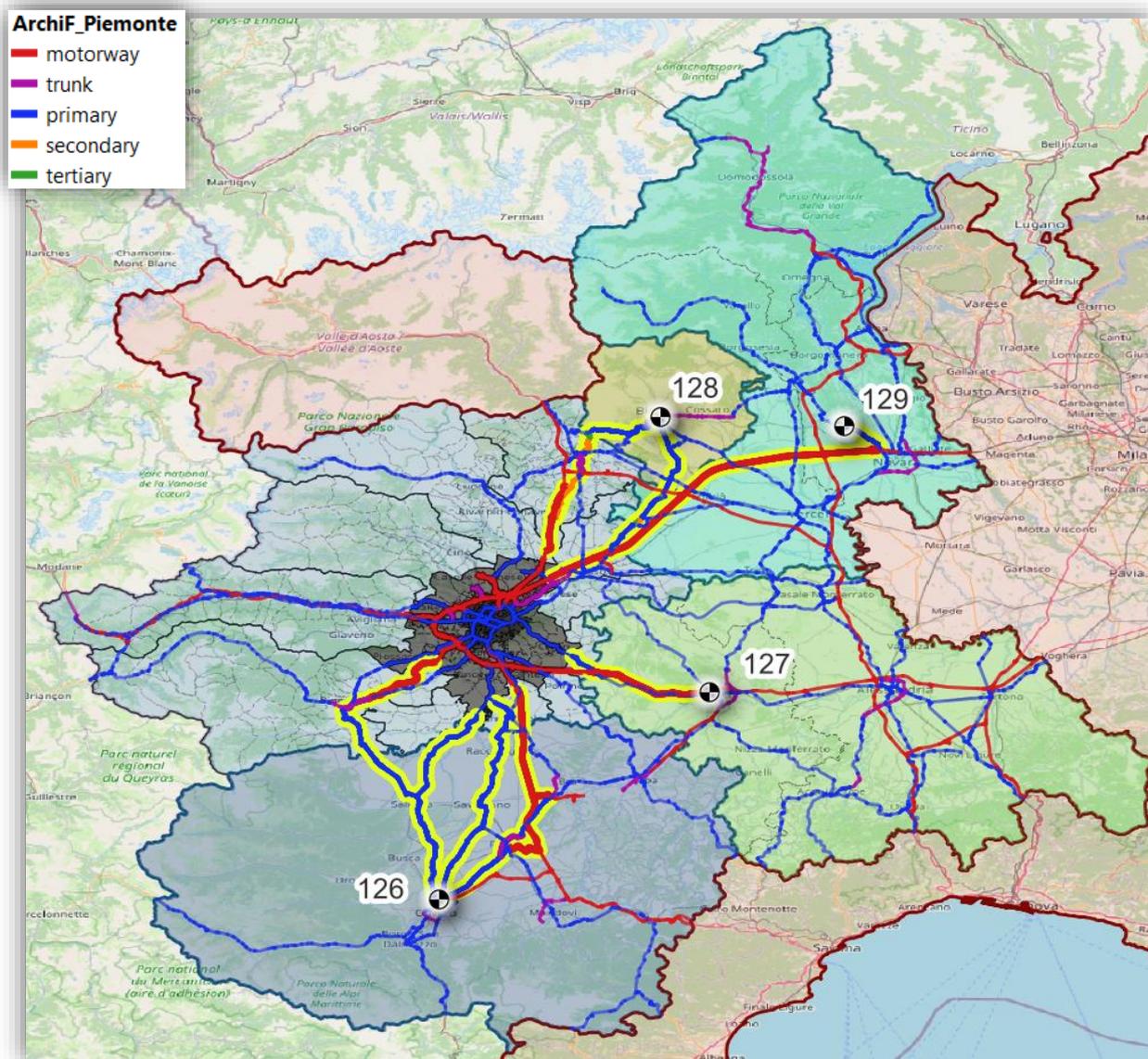


Figura 6-8 Percorsi rappresentativi degli archi connettori relativi ai centroidi esterni ricadenti nelle altre provincie del Piemonte

Osservando, invece, l'output mostrato in Figura 6-8 è possibile notare come per il centroide 129 sia stato selezionato un unico collegamento di scambio con l'area di studio, poiché, in questo caso, sulla rete principale considerata non si individuano altri percorsi alternativi di pari rilevanza.

I due percorsi relativi al centroide 127, evidenziati in Figura 6-8, risultano per buona parte sovrapponibili ma rappresentano, tuttavia, due collegamenti funzionali alla specifica zona interna di origine/destinazione.

I percorsi selezionati in Figura 6-8 andranno, quindi, a costituire i 15 archi fittizi rappresentativi della mobilità di scambio tra l'area di studio e le zone esterne ricadenti nelle altre provincie del Piemonte.

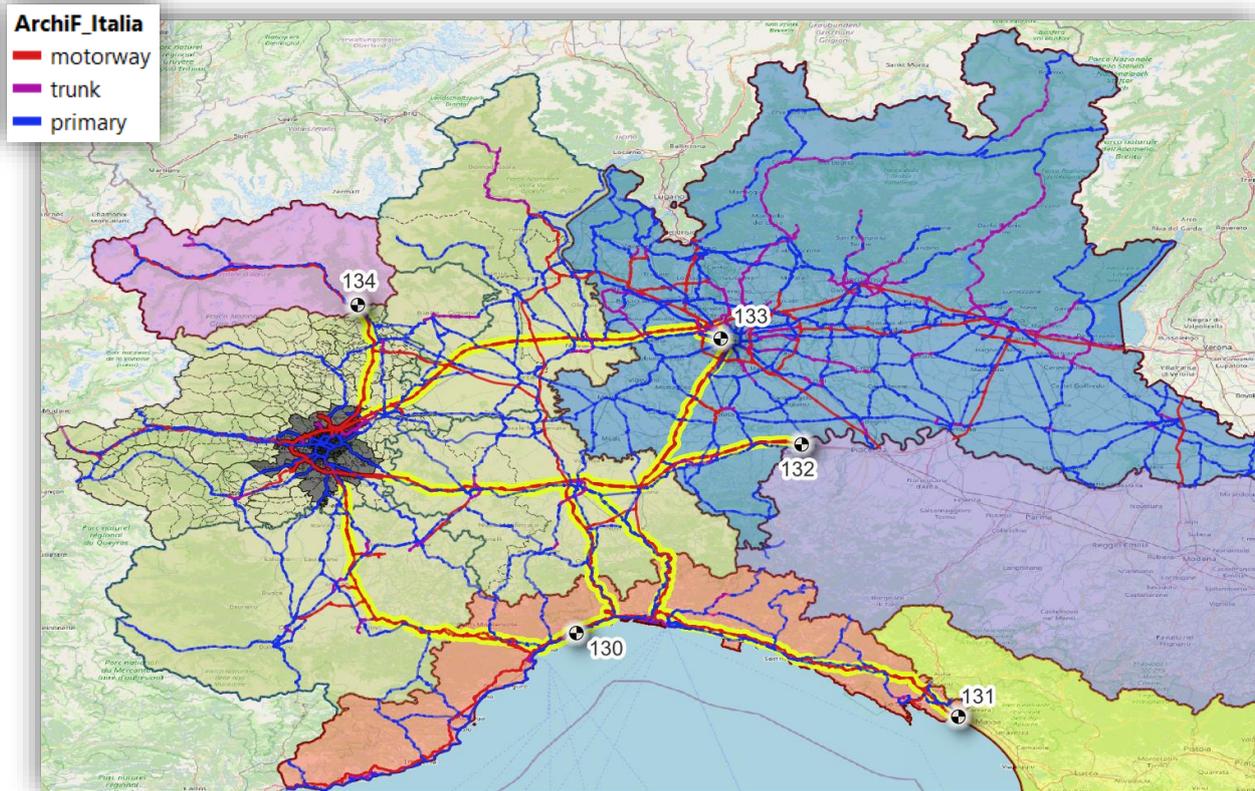


Figura 6-9 Percorsi rappresentativi degli archi connettori relativi ai centroidi esterni ricadenti nelle regioni limitrofe al Piemonte

Osservando, infine, la selezione riportata in Figura 6-9, si riscontra la presenza di tre zone esterne collegate da un unico percorso di scambio con l'area interna, ovvero la Valle d'Aosta (134), l'Emilia-Romagna (132) e la Toscana (131).

I percorsi individuati, in questo caso, sono costituiti in prevalenza da tracciati autostradali, tutt'al più raccordati da brevi tratte di strada statale o provinciale, come, ed esempio, avviene per il collegamento con il centroide 131.

Gli archi fittizi rappresentativi delle relazioni di scambio tra l'area di studio e le regioni limitrofe al Piemonte risultano complessivamente 14.

In totale, dunque, vengono definiti 75 archi connettori relativi alle zone esterne, caratterizzati da una capacità pari a 25000 veh/h per direzione e da una velocità valutata come segue:

La velocità degli archi fittizi esterni viene calcolata come valore medio di velocità (attributo maxspeed) pesata sulle lunghezze dei singoli elementi che compongono il tracciato. Poiché, tuttavia, l'attributo maxspeed non è presente per tutte le geometrie, l'informazione mancante viene colmata imputando un valore di velocità rappresentativo per la categoria (fclass) dell'elemento considerato. Dove, quindi, maxspeed è nullo si assume una velocità pari a 120 km/h per le motorway, 90 km/h per le trunk, 65 km/h per le primary, 40 km/h per le secondary e 30 km/h per le tertiary.

Come nel caso dei connettori interni, infine, gli archi vengono linearizzati ottenendo, così, il risultato riportato in Figura 6-10.

Definizione degli archi fittizi

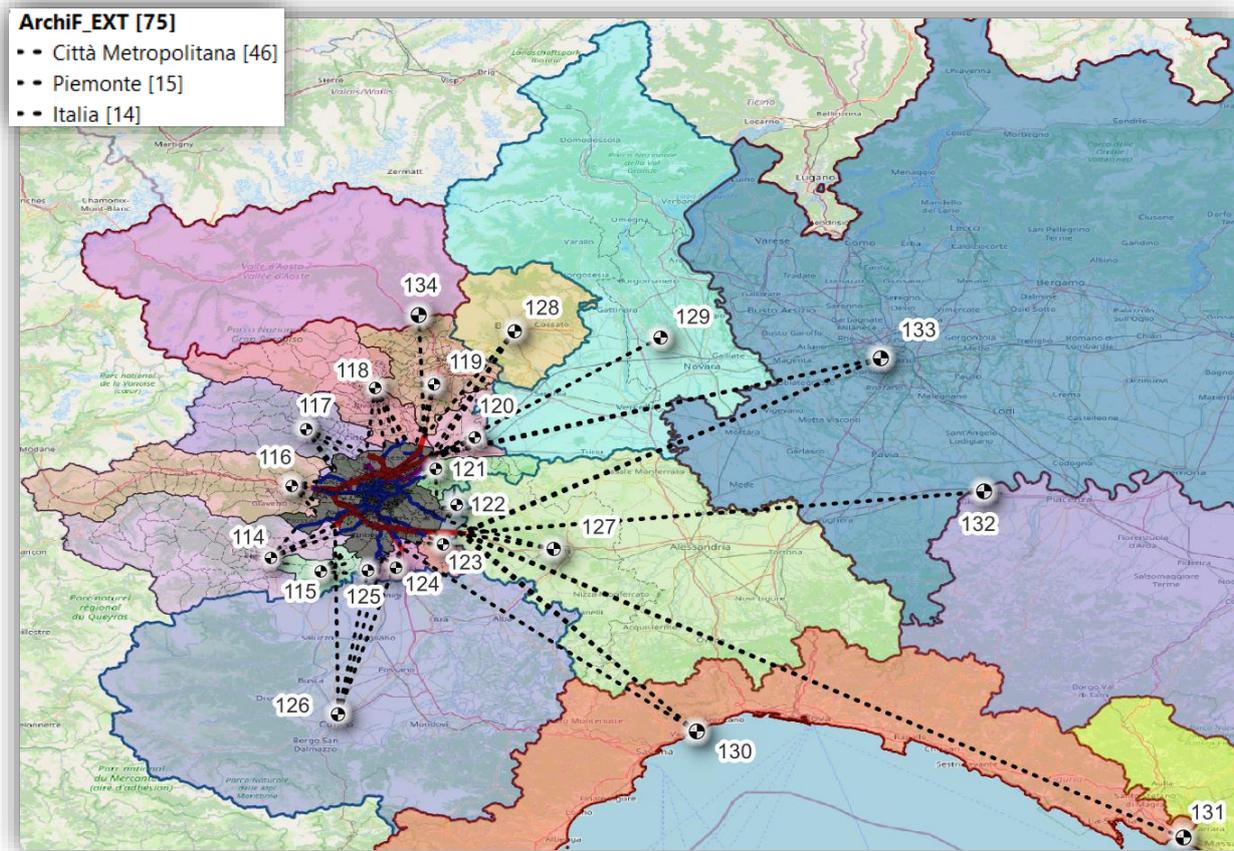


Figura 6-10 Archi connettori relativi alle zone esterne dell'area di studio

Tutti centroidi interni (60 relativi al comune di Torino e 53 alla cintura), definiti nel corso del paragrafo 4.3.2.3, e quelli esterni, riposizionati in questa fase (12 relativi alla Città metropolitana di Torino, 4 alla regione Piemonte e 5 al resto d'Italia), vanno esportati sul vettore *Centroids.shp*.

A questi elementi puntuali va associata la numerazione presente nel campo *CentroidNr* del vettore *Zonizzazione*, eseguendo il comando "Unisci attributi per posizione", come illustrati in Figura 6-11, e, successivamente, applicando la formula mostrata in Tabella 6-1.

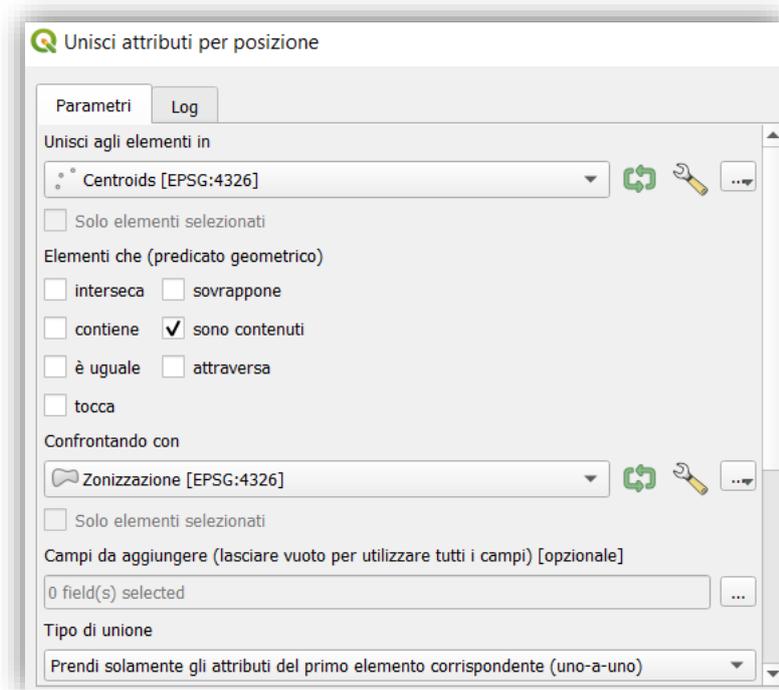


Figura 6-11 Unione degli attributi del layer Zonizzazione con le geometrie del vettore Centroids contenute nelle rispettive aree

Tabella 6-1 Trascrizione dell'identificativo numerico associato alla zonizzazione ai centroidi contenuti sul layer Vettore unito

Vettore unito – Calcolatore di Campi	
Nome campo	CentroidNr
Tipo campo	Integer(3)
Formula	"CentroidNr"

Il layer *Vettore unito*, completo dell'attributo CentroidNr, può, dunque, essere esportato sovrascrivendo il file *Centroids.shp*, che si renderà necessario nel corso del paragrafo 7.1.1.1.

7. Determinazione della matrice oraria relativa alla mobilità motorizzata

L'obiettivo finale dell'intera trattazione consiste nel determinare i flussi veicolari, mentre i dati campionari TIM forniscono il totale degli spostamenti che, senza le opportune considerazioni, sarebbero impossibili da attribuire ad uno specifico mezzo di trasporto.

Si ricorda che durante la caratterizzazione del campione, paragrafo 3.1.2 è stato evidenziato un intervallo di campionamento non del tutto adeguato alla zonizzazione di riferimento, che preclude la possibilità di risalire agli effettivi tempi di viaggio e, conseguentemente, alle velocità di percorrenza.

Durante l'analisi del dataset, paragrafo 2.1.4, sono emerse, invece, diverse incertezze sul metodo di raccolta del dato, che non consentono di stabilire con certezza se i "DestinationData" rappresentino le destinazioni finali o le singole tappe degli spostamenti rilevati.

Ad ogni modo, nel corso del capitolo 3, è stato individuato un probabile errore di sovra-campionamento, che non è stato possibile quantificare, a causa della carenza conoscitiva in merito alla base di campionamento TIM ed all'universo della popolazione insistente nell'area di studio.

La zonizzazione imposta dal dataset TIM fornisce un buon livello di dettaglio ma, a causa delle incertezze sopracitate, non è possibile isolare a priori i soli dati di interesse per questo studio, né, tantomeno, identificare in maniera diretta i percorsi seguiti nelle varie fasi di spostamento.

Ne consegue l'inevitabile assunzione di un'ipotesi azzardata, seppur debitamente giustificata: il dato campionario viene considerato rappresentativo senza l'applicazione di alcun coefficiente di riporto all'universo, e le eventuali sovrastime vengono attribuite ad una errata interpretazione del concetto di spostamento, con ripercussioni particolarmente marcate sui movimenti di prossimità.

La soluzione che viene proposta, consiste, dunque, nel selezionare all'interno del dataset TIM i soli spostamenti associati al trasporto motorizzato, per generare la matrice oraria relativa alla mobilità veicolare e, successivamente, stimare i flussi attraverso un'assegnazione all'equilibrio di tipo deterministico (DUE) che sfrutti la funzione di costo BPR.

In questo capitolo dell'elaborato, ci si concentra sulla determinazione della matrice O/D oraria degli spostamenti con veicolo motorizzato, che verrà elaborata attraverso opportune considerazioni riguardanti la ripartizione modale. Si vuole distinguere, in altre parole, la mobilità motorizzata da quella ciclopedonale, in modo da isolare i soli spostamenti responsabili del traffico che interessa l'area di studio.

Questo processo selettivo si baserà principalmente su due nozioni complementari:

1. la ripartizione modale caratteristica dell'area d'analisi, che rispecchia, indirettamente, le peculiarità dell'offerta di trasporto locale;
2. il raggio di mobilità, poiché la probabilità di scelta di un mezzo motorizzato piuttosto che della mobilità attiva, è strettamente dipendente dalla distanza percorsa durante lo spostamento.

Nei paragrafi seguenti verranno illustrati nel dettaglio tutti i passaggi e le considerazioni necessari per arrivare a definire la matrice oraria della mobilità veicolare motorizzata.

7.1. Definizione dell'albero dei cammini minimi

Per procedere con l'analisi occorre, in primo luogo, associare una distanza agli spostamenti interzonalari descritti dal campione TIM. Come anticipato, il dataset non fornisce, però, i percorsi intrapresi dalla folla in movimento, ma indica, esclusivamente, le destinazioni raggiunte dagli utenti, presenti in ciascuna zona ACE. In altri termini, si conoscono solo le zone di origine e destinazione degli spostamenti, mentre il percorso non potrà che essere ricavato indirettamente sulla base di quest'unica informazione.

In prima approssimazione, dunque, si associa a ciascuna coppia O/D il percorso più breve, individuato tra tutti i possibili tragitti presenti sul grafo stradale ottenuto nel capitolo 5. Si tenga presente, però, che tale soluzione comporta due grandi semplificazioni:

- Il percorso più breve non è sempre il favorito poiché, rispettando i limiti di velocità, è spesso possibile individuare tragitti alternativi più rapidi. La scelta individuale non può, inoltre, essere prevista in maniera deterministica, perché dipende dal costo generalizzato percepito da ciascun utente.

Poiché questa fase ha prevalentemente lo scopo di individuare gli spostamenti ciclo-pedonali, non influenzati dai limiti di velocità e generalmente associati a distanze contenute, l'approssimazione è del tutto accettabile.

- Il grafo stradale è stato modellato sull'offerta infrastrutturale associata alla mobilità motorizzata, trascurando, dunque, i percorsi ciclo-pedonali. Le distanze risulteranno, conseguentemente, sovrastimate per gli utenti della mobilità attiva che, sulla base di questo modello, condivideranno gli stessi tragitti e le stesse restrizioni di percorrenza dei veicoli a motore.

In questo caso, l'approssimazione verrà, in seguito, compensata adottando una maggior tolleranza nella definizione delle distanze che favoriscono gli spostamenti ciclo-pedonali.

In definitiva, questa prima fase consiste nella determinazione dell'albero dei cammini minimi, associato al grafo stradale di riferimento, che verrà eseguita attraverso il software di modellazione trasportistica OmniTRANS⁴⁷, come descritto nei paragrafi seguenti.

7.1.1 Importazione del grafo su OmniTRANS

Il software OmniTRANS è finalizzato alla modellazione di scenari trasportistici e risulta particolarmente adatto allo studio dei contesti urbani. Esso è concepito, prevalentemente, per la modellazione ex novo della rete di trasporto, mentre, in questo caso, si è intenzionati ad utilizzare il modello già ottenuto dalle elaborazioni condotte su Q-GIS.

Benché il software disponga di un wizard specifico per l'importazione degli shapefile, il manuale non fornisce le istruzioni necessarie affinché, tutti gli elementi ed i relativi attributi, vengano interpretati correttamente dal programma. È risultato particolarmente complicato comprendere come importare contemporaneamente archi mono e bidirezionali, associando le proprietà annesse alla direzione corretta, ed ancor più enigmatica, l'individuazione del processo da seguire per la corretta interpretazione degli archi fittizi.

Per tale ragione, si fornisce nei paragrafi successivi, la procedura necessaria per predisporre ed importare i file nel modo corretto.

⁴⁷ Versione utilizzata: 8.0.36

7.1.1.1 Preparazione degli shapefile per l'importazione

Si fa presente, innanzitutto, che gli shapefile da importare devono essere proiettati sull'EPSG 4326, corrispondente al sistema di coordinate WGS84, e che i nomi dei campi in essi contenuti non devono presentare il carattere spazio vuoto.

Si procede, quindi, con la sistemazione in Q-GIS dei quattro layer necessari, seguendo l'ordine dettato nel seguito:

1. *Centroids*, vettore contenente i centroidi, essenziali per la corretta interpretazione degli archi virtuali.

L'unico requisito indispensabile è la numerazione dei 134 centroidi, relativi alle 60 zone del Comune di Torino, 53 zone della cintura e 21 zone esterne, già in trodotta al termine del paragrafo 6.2.

Anche se non è strettamente richiesto, si introducono, inoltre, i campi relativi alle coordinate x ed y, come mostrato nella seguente Tabella 7-1.

Tabella 7-1 Inserimento delle coordinate WGS84 dei centroidi contenuti sul vettore Centroids

Centroids – Calcolatore di Campi	
Nome campo	X_WGS84
Tipo campo	Real(13, 10)
Formula	\$x

Centroids – Calcolatore di Campi	
Nome campo	Y_WGS84
Tipo campo	Real(13, 10)
Formula	\$y

2. *Zones*, vettore contenente la zonizzazione, utile esclusivamente per agevolare l'interpretazione grafica dei risultati.

È suggeribile selezionare le sole zone interne presenti sul vettore *Zonizzazione*, prodotto nel corso del paragrafo 4.3, attraverso la formula mostrata in Tabella 7-2, ed esportare la selezione come *Zones.shp*.

Tabella 7-2 Selezione delle zone interne all'area di studio presenti sul vettore Zonizzazione

Zonizzazione – Selezione con Espressione	
Formula	"MacroArea" = 'Torino' or "MacroArea" = 'Torino_C'

3. *Nodes*, vettore contenente i nodi, indispensabili per definire l'orientamento di ciascun arco.

Si fa notare che durante la costruzione del grafo i nodi sono stati classificati in varie tipologie, utili per individuare eventuali errori (ERR1 ed ERR2) o gli estremi degli elementi da aggregare (CONT). A grafo ultimato, tale classificazione non ha più rilievo, ma può essere sfruttata un'ultima volta per selezionare i nodi da importare su OmniTRANS:

- N_Class = INT → nodo di intersezione, da importare;
- N_Class = ESTR → nodo che indica un'estremità terminale, da importare;
- N_Class = CONT → indica il vertice in cui gli elementi sono stati aggregati per formare un arco, da eliminare;
- N_Class = null → nodo interno all'arco, da eliminare.

In seguito, si osserva che OmniTRANS richiede l'importazione di nodi e centroidi su due layer distinti, ma poi confonde i due elementi. Quando un centroide presenta la stessa numerazione N di un nodo, il software, infatti, collega erroneamente l'arco con estremo nel nodo N al centroide.

Affinché l'importazione avvenga correttamente, è necessario, dunque, che la numerazione dei nodi prosegua dalla numerazione già introdotta per i centroidi, operazione effettuabile come mostrato in Tabella 7-3.

Tabella 7-3 Numerazione dei nodi contenuti sul vettore *Nodes*

Nodes – Calcolatore di Campi	
Nome campo	NodeNr
Tipo campo	Integer(10)
Formula	@row_number + 134

Anche in questo caso, si introducono i campi relativi alle coordinate x ed y, come mostrato nella seguente Tabella 7-4.

Tabella 7-4 Inserimento delle coordinate WGS84 dei nodi contenuti sul vettore *Nodes*

Nodes – Calcolatore di Campi	
Nome campo	X_WGS84
Tipo campo	Real(13, 10)
Formula	\$x

Nodes – Calcolatore di Campi	
Nome campo	Y_WGS84
Tipo campo	Real(13, 10)
Formula	\$y

4. *Links*, vettore degli archi, contenente tutti gli attributi necessari per l'applicazione della funzione di costo BPR.

- I. In primo luogo, occorrerebbe definire la numerazione degli archi che, in questo caso, è già presente all'interno del campo Arco.
- II. Successivamente, è necessario associare alle estremità di ciascun arco, la numerazione dei nodi corrispondenti. Per gli archi fittizi, inoltre, i nodi che coincidono con un centroide devono essere associati al numero del centroide stesso.

Solo adottando una numerazione univoca complessiva per centroidi e nodi, ed associando correttamente tale numerazione ai nodi di estremità degli archi, OmniTRANS acquisirà correttamente tutti gli elementi del grafo, compresi gli archi fittizi (Connector).

L'associazione può essere eseguita come segue:

- Si introducono i campi *GeoID_i* e *GeoID_f* sul vettore *Links*, come mostrato in Tabella 7-5.

Tabella 7-5 Introduzione dei campi *GeoID_i* e *GeoID_f* per le estremità degli archi del vettore *Links*

Links – Calcolatore di Campi	
Nome campo	<i>GeoID_i</i>
Tipo campo	Real(13, 10)
Formula	$(\$x_{at}(0) + \$y_{at}(0)) * \$x_{at}(0)$

Links – Calcolatore di Campi	
Nome campo	<i>GeoID_f</i>
Tipo campo	Real(13, 10)
Formula	$(\$x_{at}(-1) + \$y_{at}(-1)) * \$x_{at}(-1)$

- Poi, si definisce il *GeoID* anche per i layer *Nodes* e *Centroids*, come mostrato in Tabella 7-6.

Tabella 7-6 Introduzione del campo *GeoID* per i nodi del vettore *Nodes* e per i centroidi del vettore *Centroids*

Nodes / Centroids – Calcolatore di Campi	
Nome campo	<i>GeoID</i>
Tipo campo	Real(13, 10)
Formula	$(\$x + \$y) * \$x$

- Quindi si effettuano quattro join del vettore *Links*, prima con *Nodes* e poi con *Centroids*, scegliendo come campo di unione il *GeoID* e come campo di destinazione, una volta *GeoID_i* e la seconda volta *GeoID_f*, come mostrato nell'esempio in Figura 7-1.

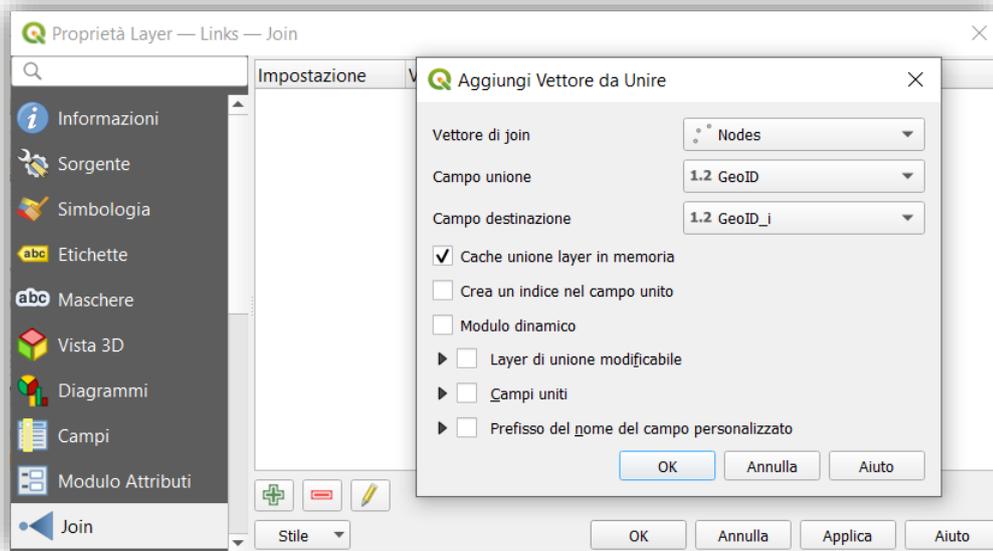


Figura 7-1 Esempio di join del vettore Links con il layer Nodes attraverso il campo GeoID

- Ad ogni join si può riportare l'identificativo del nodo/centroide nel campo Nodo_i se collegato al GeoID_i, o nel campo Nodo_f se collegato al GeoID_f, come mostrato in Tabella 7-7.

Tabella 7-7 Introduzione dei campi Nodo_i e Nodo_f per le estremità degli archi del vettore Links

Links – Calcolatore di Campi	
Nome campo / Aggiorna Campo	Nodo_i
Tipo campo	Integer(10)
Formola (Nodes)	if("Nodo_i" is null, "Nodes_NodeNr", "Nodo_i")
Formola (Centroids)	if("Nodo_i" is null, "Centroids_CentroidNr", "Nodo_i")

Links – Calcolatore di Campi	
Nome campo / Aggiorna Campo	Nodo_f
Tipo campo	Integer(10)
Formola (Nodes)	if("Nodo_f" is null, "Nodes_NodeNr", "Nodo_f")
Formola (Centroids)	if("Nodo_f" is null, "Centroids_CentroidNr", "Nodo_f")

- III. A questo punto bisogna convertire l'attributo oneway nel corrispondente valore numerico, procedendo come mostrato in Tabella 7-8.

Tabella 7-8 Introduzione del campo DIR del vettore Links

Links – Calcolatore di Campi	
Nome campo	DIR
Tipo campo	Integer(1)
Formola	if("oneway" = 'F', 1, 3)

Si ricorda che sul grafo OSM sono stati individuati solo archi orientati in senso positivo, con oneway = F, o archi bidirezionali, con oneway = B.

IV. In seguito, si converte la lunghezza degli archi in km, come mostrato in Tabella 7-9.

Tabella 7-9 Conversione delle lunghezze in km per gli archi contenuti sul vettore Links

Links – Calcolatore di Campi	
Nome campo	L_[km]
Tipo campo	Real(10, 5)
Formula	"L [m]" / 1000

V. Si converte l'attributo el_str_cf nel valore numerico LinkType, come mostrato in Tabella 7-10.

Tabella 7-10 Conversione in valore numerico della classe funzionale el_str_cf associata agli archi del vettore Links

Links – Calcolatore di Campi	
Nome campo	LinkType
Tipo campo	Integer(1)
Formula	if("el_str_cf" = 'Connector', 1, if("el_str_cf" = 'autostrada', 2, if("el_str_cf" = 'strada extraurbana principale', 3, if("el_str_cf" = 'strada extraurbana secondaria', 4, if("el_str_cf" = 'strada urbana di scorrimento', 5, if("el_str_cf" = 'strada urbana di quartiere', 6, if("el_str_cf" = 'strada locale', 7, null))))))

VI. Per il parametro di velocità si sceglie l'attributo Vf, corrispondente alla velocità di flusso libero.

VII. Quindi si ripartiscono su due colonne, in funzione della direzione di percorrenza DIR, gli attributi LinkType, Vf, C[ve/h/d] e LanesDir. Poiché gli archi del vettore Link hanno solo direzione 1 (A→B) o 3 (A←→B), questa operazione può essere svolta come mostrato in Tabella 7-11.

Tabella 7-11 Ripartizione degli attributi LinkType, Vf, C[ve/h/d] e LanesDir per direzione di percorrenza DIR

Links – Calcolatore di Campi	
Nome campo	LinkTypeAB
Tipo campo	Integer(1)
Formula	"LinkType"

Links – Calcolatore di Campi	
Nome campo	LinkTypeBA
Tipo campo	Integer(1)
Formula	if("DIR" = 3, "LinkType", null)

Tabella 7-11 Ripartizione degli attributi LinkType, Vf, C[ve/h/d] e LanesDir per direzione di percorrenza DIR

Links – Calcolatore di Campi	
Nome campo	SpeedAB
Tipo campo	Integer(3)
Formula	"Vf"

Links – Calcolatore di Campi	
Nome campo	SpeedBA
Tipo campo	Integer(3)
Formula	if("DIR" = 3, "Vf", null)

Links – Calcolatore di Campi	
Nome campo	CcapacityAB
Tipo campo	Integer(5)
Formula	"C[ve/h/d]"

Links – Calcolatore di Campi	
Nome campo	CapacityBA
Tipo campo	Integer(5)
Formula	if("DIR" = 3, "C[ve/h/d]", null)

Links – Calcolatore di Campi	
Nome campo	LanesAB
Tipo campo	Integer(1)
Formula	"LanesDir"

Links – Calcolatore di Campi	
Nome campo	LanesBA
Tipo campo	Integer(1)
Formula	if("DIR" = 3, "LanesDir", null)

A questo punto i file sono pronti per la successiva importazione su OmniTRANS.

7.1.1.2 Inizializzazione del progetto OmniTRANS

Per poter effettuare l'importazione dei file, che andranno a definire la zonizzazione dell'area di studio ed il grafo stradale di riferimento, occorre generare un nuovo progetto ed inizializzare le variabili necessarie.

Per il nuovo progetto si è scelto di applicare un metodo di assegnazione statico, in cui è possibile determinare la risposta del modello (costi e flussi) derivante dallo stimolo in ingresso (i flussi di domanda O/D) indipendentemente dalla storia pregressa del sistema.

Si ricorda, inoltre, che, per questo studio, è stata modellata una rete di trasporto riferita, prevalentemente, alla mobilità motorizzata privata, che, quindi, potrà intendersi come unimodale. Il trasporto pubblico, infatti, verrà assimilato a quello privato, attraverso opportuni espedienti ed approssimazioni, ma sortirà un impatto quasi trascurabile sui risultati finali.

Alla luce delle osservazioni sopracitate, si seleziona dunque il template "Static" e la rete "UniModal", come mostrato nella seguente Figura 7-2.

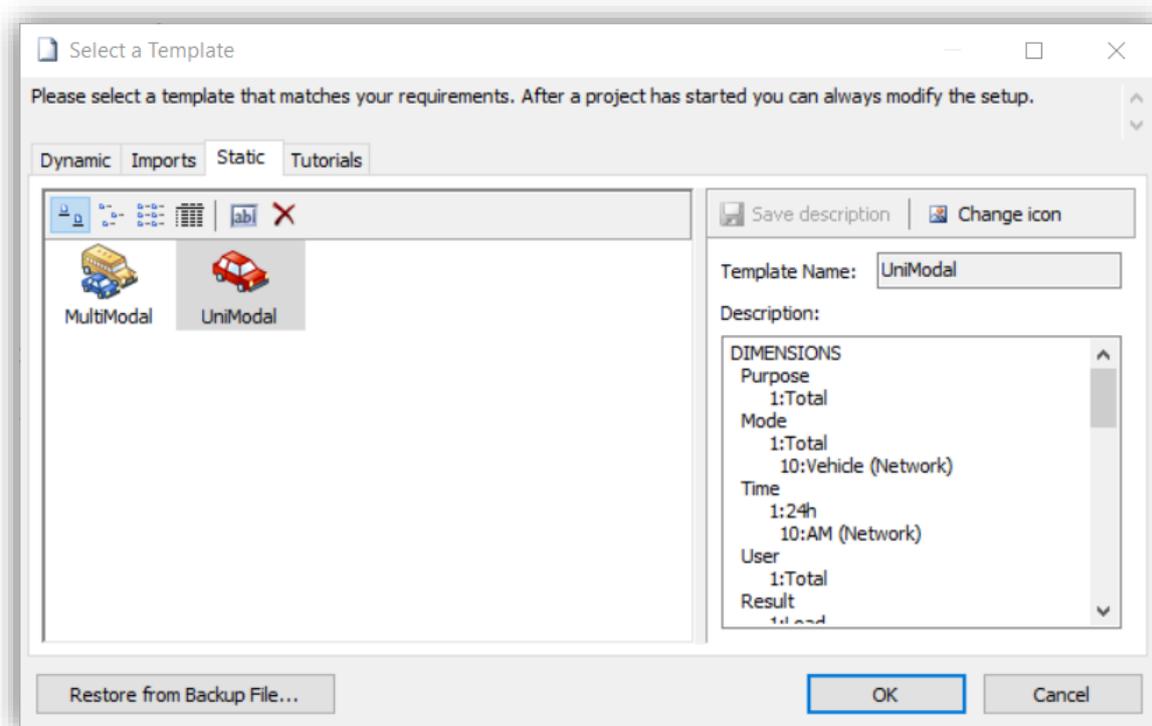


Figura 7-2 Selezione del Template con assegnazione "Static" e rete "UniModal"

Successivamente si impostano, compatibilmente con i dati di input, il sistema di coordinate (WGS84), la proiezione cartografica (Spherical Mercator) e le unità di misura (km), come illustrato in Figura 7-3.

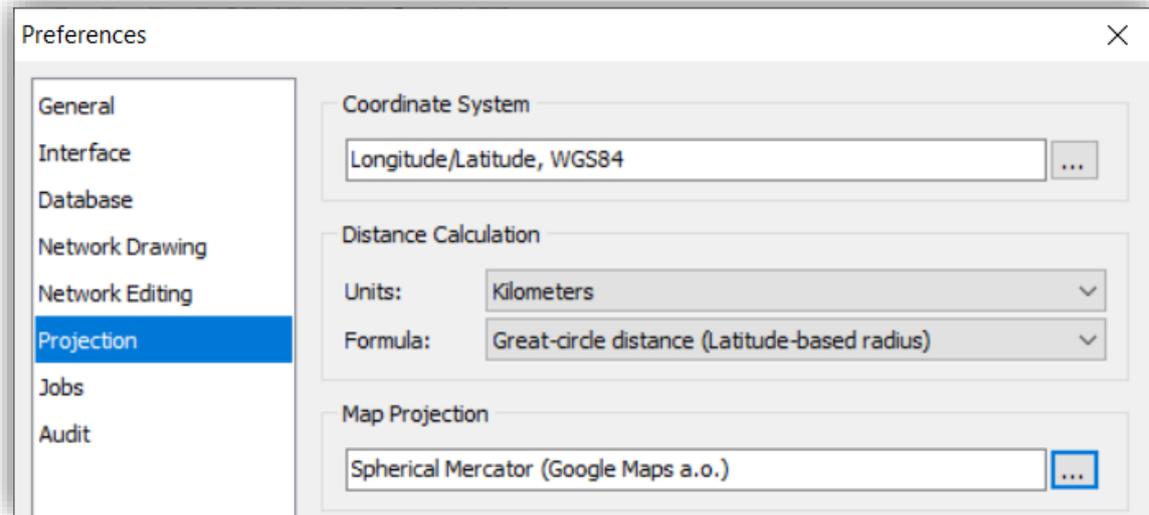


Figura 7-3 Selezione del sistema di coordinate (WGS84), proiezione cartografica (Spherical Mercator) ed unità di misura (km)

Le dimensioni del progetto assumeranno, a questo punto, la struttura mostrata nella seguente Figura 7-4.

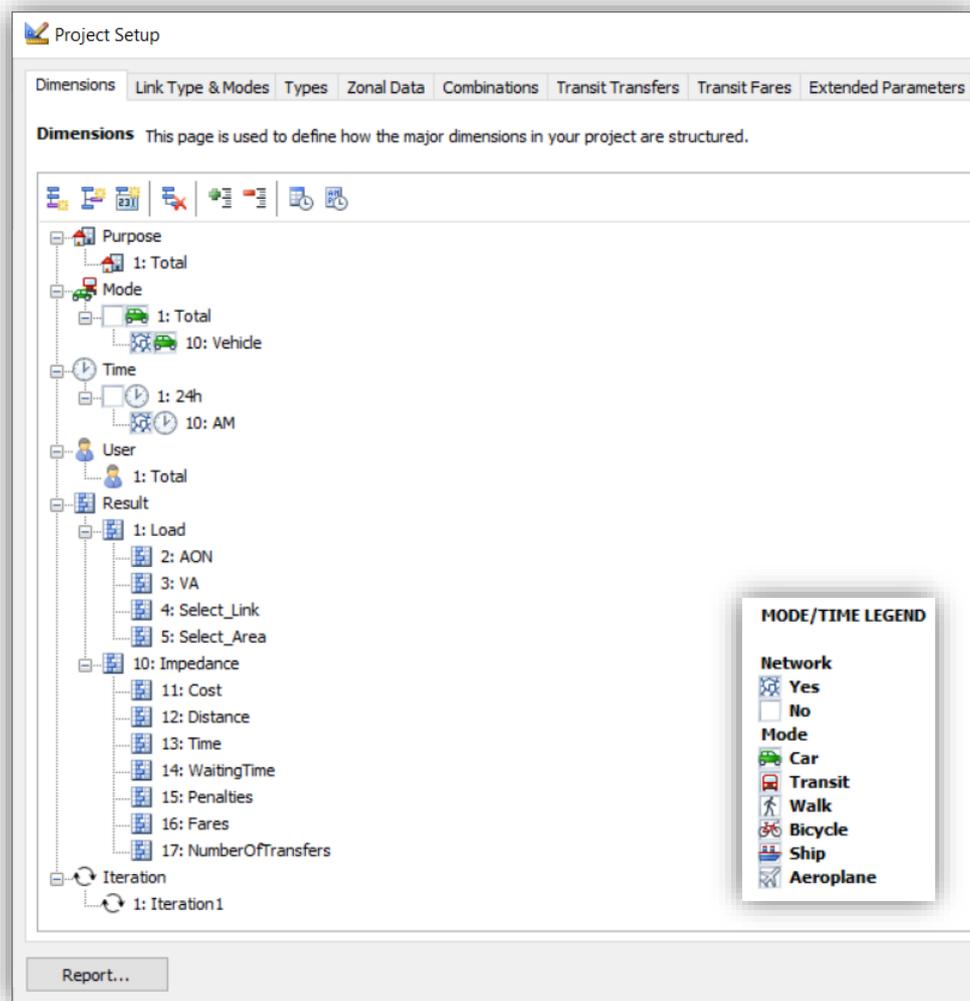


Figura 7-4 Dimensioni del progetto: (Purpose, Mode, Time, User, Result, Iteration) → (P, M, T, U, R, I)

Si configurano, infine, le tipologie previste per gli archi da importare, associando a ciascuna il mezzo di trasporto privato (Mode = 10) ed attribuendo l'opportuna simbologia, come illustrato in Figura 7-5.

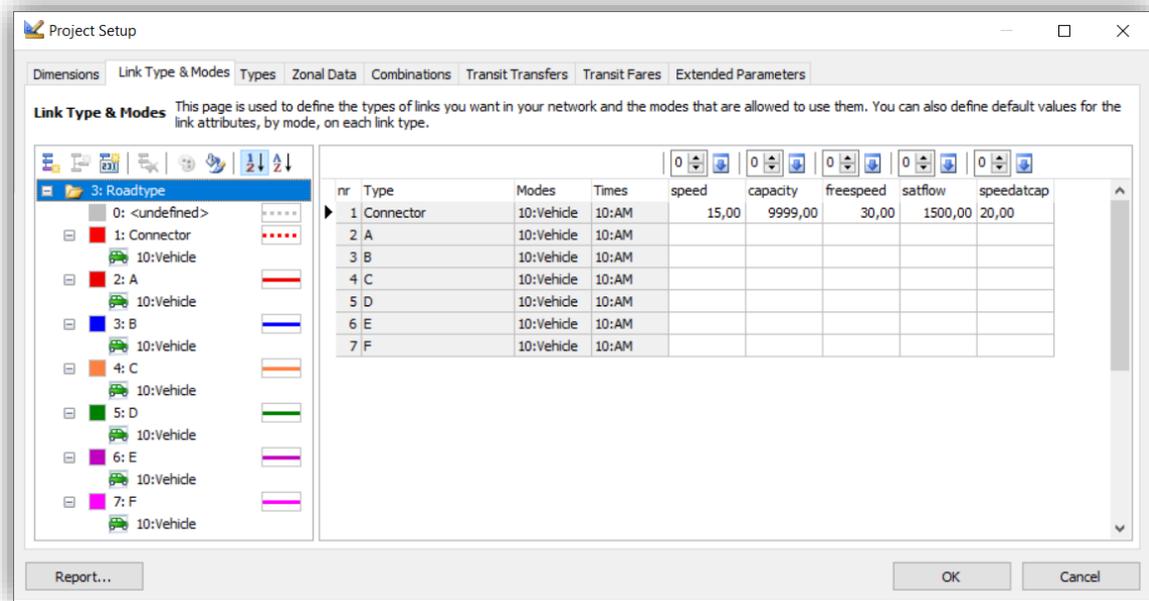


Figura 7-5 Configurazione dei Link Type, in previsione delle categorie stradali presenti sul grafo da importare

Si fa notare che per l'assegnazione statica interessano esclusivamente i parametri "capacity" e "speed", che sono già stati predisposti tra gli attributi degli archi da importare, e quindi non occorre configurare.

Per gli archi fittizi (Connector) sono stati mantenuti i valori proposti di default, che comunque verranno sovrascritti dagli attributi associati alle geometrie importate. Si fa comunque presente, che non c'è interesse nel modellare il traffico sugli archi virtuali, e quindi la capacità viene impostata ad un valore opportunamente alto, in modo da non generare congestionamento su tali elementi.

7.1.1.3 Importazione degli shapefile

Predisposti i file di input e configurate le variabili del progetto, si può dunque procedere con l'importazione.

Nella seguente Tabella 7-12, si mostra come impostare i parametri all'interno del wizard di importazione, omettendo le configurazioni predefinite che possono essere mantenute invariate.

Tabella 7-12 Importazione degli shapefile Zones, Centroids, Nodes e Links attraverso l'apposito wizard (Step 3)

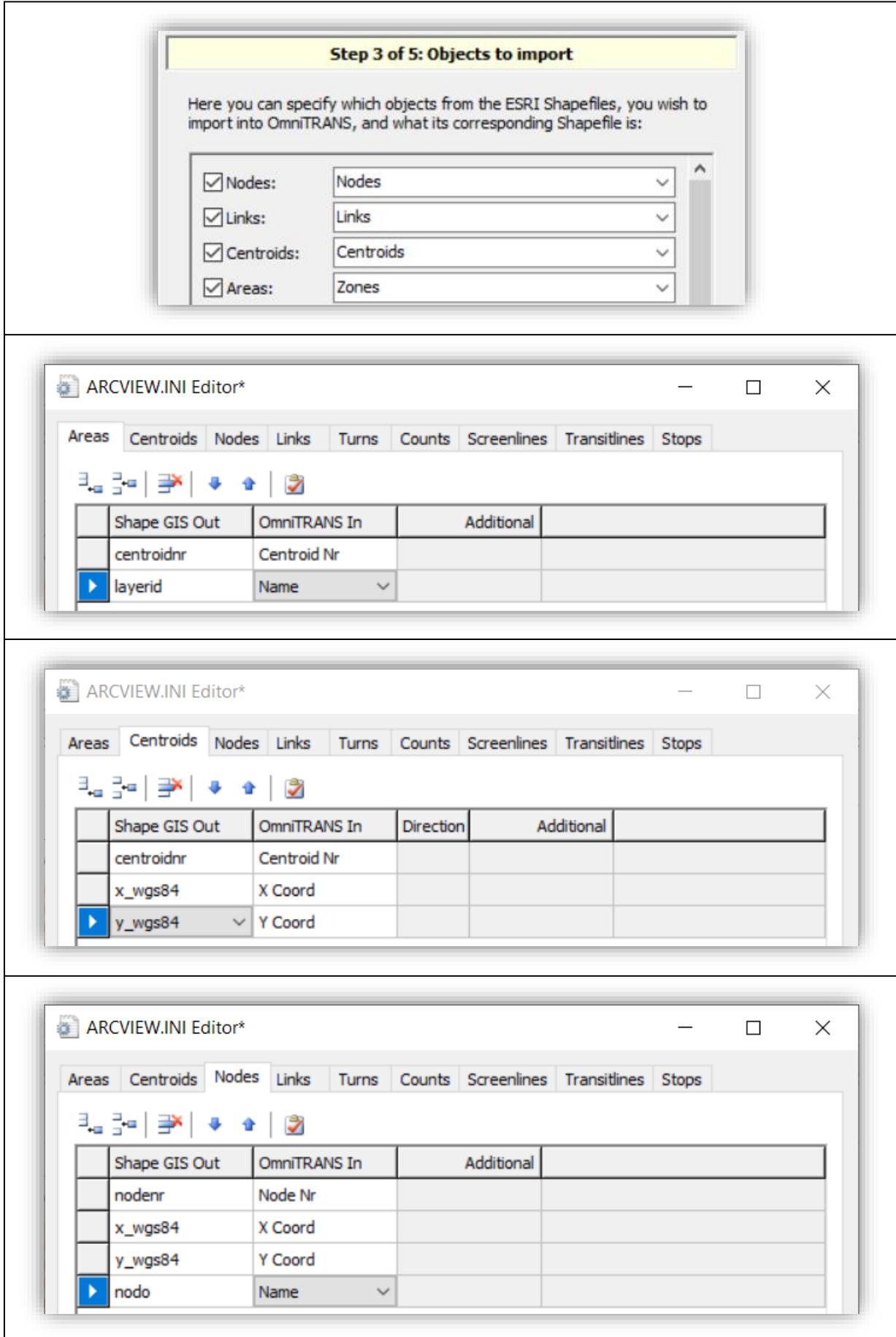


Tabella 7-12 Importazione degli shapefile Zones, Centroids, Nodes e Links attraverso l'apposito wizard (Step 3)

	Shape GIS Out	OmniTRANS In	Direction	Additional
	arco	Link Nr		
	dir	Link Direction		
	nodo_j	Node Nr A		
	nodo_f	Node Nr B		
	l_[km]	Length		
	linktypeab	Type Item	A » B	Type: 3: Roadtype
	linktypeba	Type Item	B » A	Type: 3: Roadtype
	speedab	speed	A » B	Mode, Time: 10,10
	speedba	speed	B » A	Mode, Time: 10,10
	capacityab	capacity	A » B	Mode, Time: 10,10
	capacityba	capacity	B » A	Mode, Time: 10,10
	lanesab	lanes	A » B	
	lanesba	lanes	B » A	

Nella seguente Figura 7-6 si riportano i messaggi prodotti da OmniTRANS durante la fase di importazione degli shapefile. Le righe evidenziate in giallo descrivono l'esito di tre differenti verifiche di consistenza degli archi, che conducono alla modifica di alcuni elementi. Si propone, dunque, un breve commento a riguardo di tali verifiche di consistenza:

- Performing consistency check for swapped links (swapped A/B nodes of link):

Per come sono stati strutturati i file di input, è possibile che uno stesso nodo costituisca contemporaneamente l'estremità A, per un arco, e l'estremità B, per un altro arco interconnesso al primo. OmniTRANS non tollera che un nodo sia identificato sia come A che come B, e, quindi, interviene sul secondo arco (A → B), scambiando i nodi di estremità ed invertendo la direzione (B → A). In definitiva, il risultato dell'operazione di "swap" non altera i sensi di percorrenza.

- Performing consistency check for duplicate links (identical A/B node pairs):

In questa fase OmniTRANS individua ed unisce gli archi che hanno la stessa coppia di nodi A/B, mantenendo, però, solo le proprietà del primo arco.

I 106 archi rimossi sono prevalentemente elementi di rotatorie o di percorsi ad anello, che detengono le medesime proprietà ma direzioni opposte. In questi casi la soppressione dell'elemento complementare non comporta alcun problema.

Sono stati individuati, tuttavia, due casi in cui gli archi aggregati risultano orientati nello stesso verso. Per questi archi, il valore di capacità ed il numero di corsie complessive, dovrebbero risultare pari alla somma delle proprietà degli elementi complementari aggregati. In questo caso, dunque, si è intervenuti manualmente per correggere le proprietà non idonee.

- Performing consistency check for self looping links (identical A and B nodes):

Quest'ultima verifica intercetta e rimuove due elementi che hanno stesso nodo A e B. I due elementi rimossi risultano rotatorie poste al termine di un percorso e la loro soppressione non costituisce un problema.

```
+--import from esri shapefile (ShapesImport)
+--OT Conversion
  +--Preprocessing
    |--Analysing shapefile attribute tables...
    |--Found 4 valid shapefile attribute tables: Centroids, Nodes, Links, Zones
    |--Warnings (1)
    |--|--The Snap value has not been set, using instead the OmniTRANS' project snap value: 0.001000.
      +--Input
        |--Reading shapefile 'Centroids'...
        |--Shapes in shapefile 'Centroids.shp' will not be used, because x, y coordinates are found in
        'Centroids.dbf'.
          |--134 centroids found.
          |--Reading shapefile 'Nodes'...
          |--Shapes in shapefile 'Nodes.shp' will not be used, because x, y coordinates are found in 'Nodes.dbf'.
          |--4903 nodes found.
          |--Reading shapefile 'Links'...
          |--7786 links found.
          |--Reading shapefile 'Zones'...
          |--113 areas found.
          |--All shapefiles have been read.
        |--Processing
      +--Output
        +--Writing variant 'ShapesImport'.
          |--Writing 4903 nodes...
          |--Writing 134 centroids...
          |--Performing consistency check for swapped links (swapped A/B nodes of link). Checking 7894 links...
          |--2972 links swapped direction after swap consistency check.
          |--Performing consistency check for duplicate links (identical A/B node pairs). Checking 7894 links...
          |--106 links removed after duplicate consistency check. Data from removed links is merged with the
          remaining links.
          |--Performing consistency check for self looping links (identical A and B nodes). Checking 7788 links...
          |--2 links removed due to having an identical A and B node. These kind of links are not allowed in
          OmniTRANS.
          |--Writing 7786 links...
          |--Writing 113 areas...
          --Writing complete.
```

Figura 7-6 Risultati della procedura di importazione degli shapefile Zones, Centroids, Nodes e Links

Il risultato grafico dell'importazione è mostrato in Figura 7-7, omettendo gli archi fittizi per conferire una maggior leggibilità.

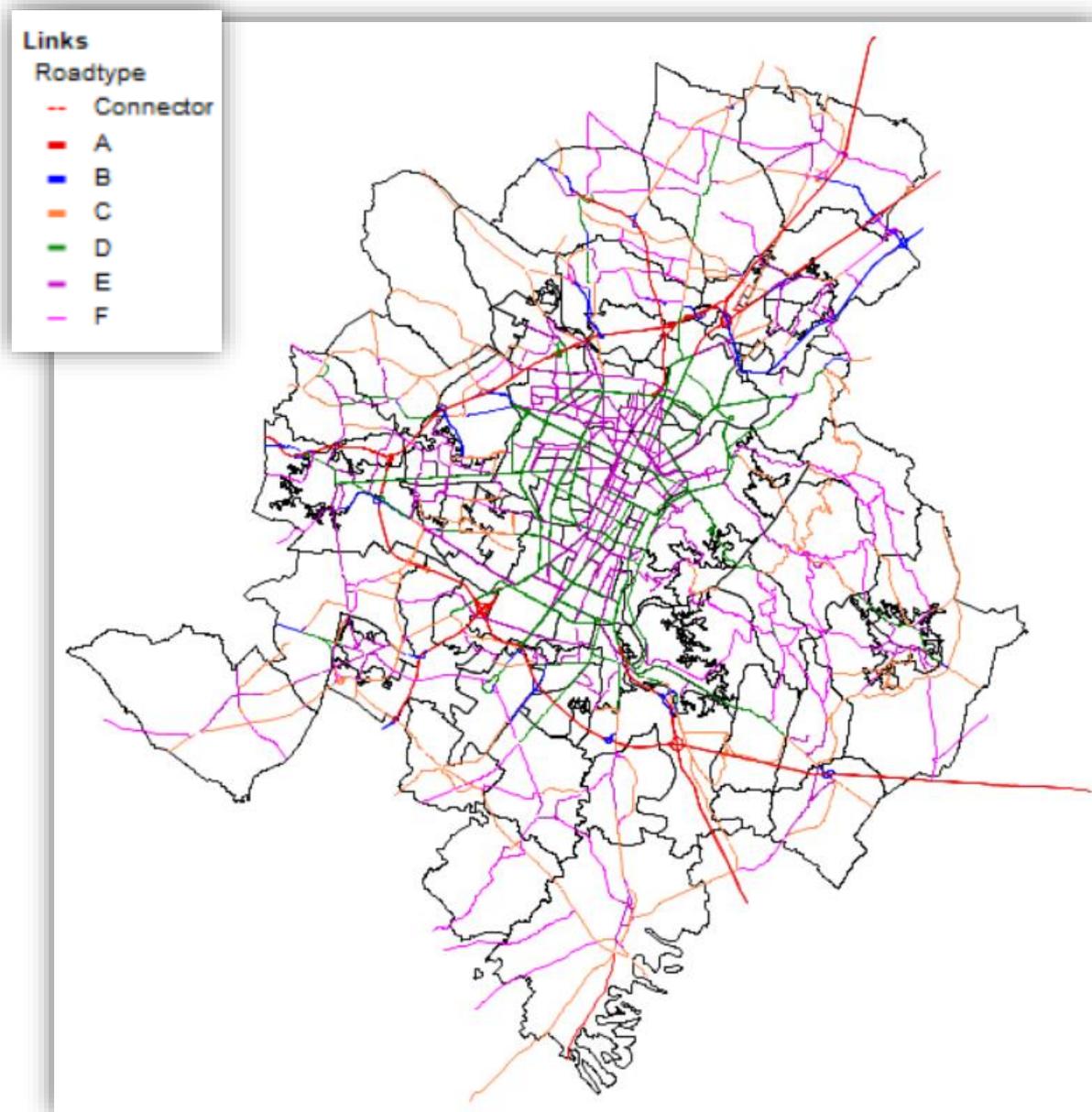


Figura 7-7 Risultati grafico della procedura di importazione del grafo stradale

7.1.2 Calcolo delle matrici di impedenza

A questo punto, sono stati configurati tutti i parametri del progetto ed introdotti tutti gli elementi necessari per l'elaborazione delle matrici di impedenza.

L'ultima operazione da eseguire consiste, dunque, nel compilare il "job", per descrivere ad OmniTRANS la procedura per l'ottenimento delle matrici di impedenza: i "jobs" sono degli script, basati sul linguaggio object oriented "Ruby", contenenti le istruzioni per l'esecuzione delle analisi sulla rete modellata.

In questo caso si è interessati, prevalentemente, alla definizione della matrice O/D dei cammini minimi, che può essere considerata come la matrice di impedenza relativa al costo generalizzato legato alle distanze.

È possibile, quindi, ottenere la matrice O/D delle distanze minime, eseguendo il “job” mostrato in Figura 7-8.

```
# creazione di un nuovo oggetto appartenente alla classe "OtTraffic"
buildCarSkim = OtTraffic.new

# skimMatrix = [p, m, t, u, [cost, distance, time, turns, userAttribute], i]
buildCarSkim.skimMatrix = [1, 10, 10, 1, [11, 12, 13], 1]

# network = [m, t]
buildCarSkim.network = [10, 10]

# skimFactors = [cost, distance, time, turns, userAttribute]
buildCarSkim.skimFactors = [1, 1, 60]

# routeFactors = [a, b]
# a = costo generalizzato per la distanza
# b = costo generalizzato per il tempo
# => [1, 0] = distanza minima
buildCarSkim.routeFactors = [1, 0]

buildCarSkim.execute
```

Figura 7-8 “job” per la generazione della matrice O/D dei cammini minimi

La matrice delle distanze minime sarà riportata nella scheda “Data”, sotto la voce “Skim matrices” nella posizione 12, come mostrato in Figura 7-9.

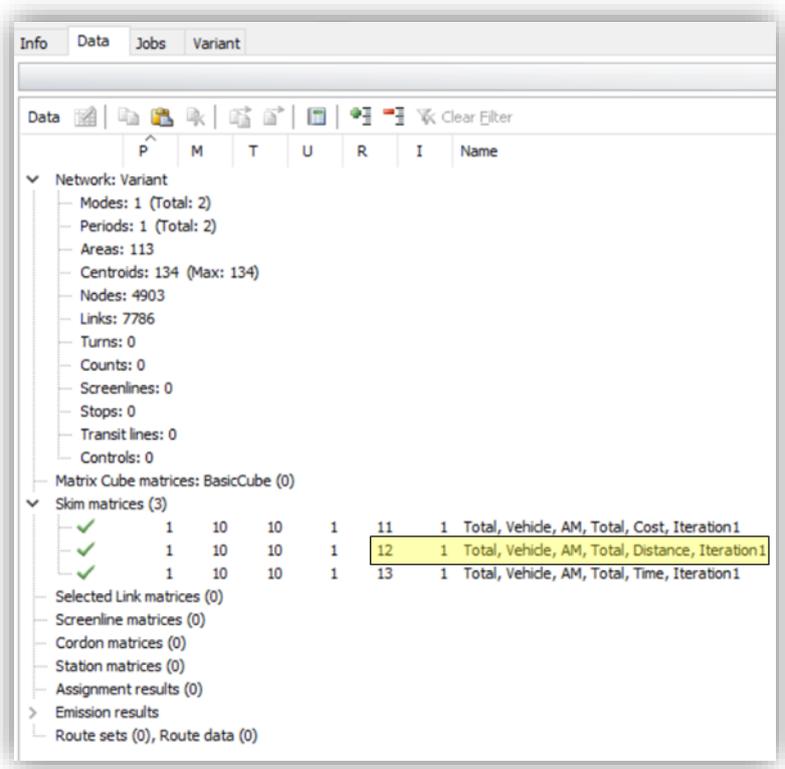


Figura 7-9 Ubicazione della matrice O/D dei cammini minimi all’interno della scheda “Data”

A questo punto, si può esportare la matrice come file di testo *SkimMatrix_Dmin.txt*, per la successiva importazione su Excel.

In Figura 7-10 si riporta, esclusivamente per completezza, lo script necessario per determinare la matrice O/D dei percorsi più brevi in termini di tempo di viaggio.

```
buildCarSkim = OtTraffic.new  
  
buildCarSkim.skimMatrix = [1, 10, 10, 1, [11, 12, 13], 1]  
  
buildCarSkim.network = [10, 10]  
  
buildCarSkim.skimFactors = [1, 1, 60]  
  
buildCarSkim.routeFactors = [0, 1]  
  
buildCarSkim.execute
```

Figura 7-10 “job” per la generazione della matrice O/D dei percorsi più brevi in termini di tempo di viaggio

I risultati, così ottenuti, verranno successivamente utilizzati nel paragrafo 7.2.3, per supportare la valutazione dello share modale in funzione del raggio di mobilità.

7.2. Stima della ripartizione modale per l’area di studio

In questa sezione si ricerca un criterio per isolare, dal totale degli spostamenti campionati da TIM, i soli spostamenti motorizzati responsabili del traffico che interessa l’area di studio.

Nel corso del capitolo 3, si è ipotizzato che il dato campionario sia già stato riportato all’universo, rappresentato dalla popolazione insistente sull’area d’analisi, composta da sottopopolazioni di residenti, di lavoratori, studenti e city users⁴⁸, che, vista l’attrattività dell’area in questione, differisce significativamente dalla popolazione iscritta in anagrafe.

Sulla base di questa assunzione e delle distanze ricavate nel paragrafo precedente (7.1), risulta possibile, innanzitutto, valutare la distribuzione degli spostamenti per raggio di mobilità, alla quale verrà associata, successivamente, la ripartizione modale.

Lo share modale, che esprime la probabilità di scelta di un determinato mezzo di trasporto, dipende, oltre che dalla distanza di percorrenza, dalle caratteristiche dell’offerta specifiche dell’area d’analisi. Affinché le stime risultino verosimili, dunque, è indispensabile disporre di informazioni statistiche strettamente riferite all’area geografica di pertinenza. Per questa ragione, dunque, si farà nuovamente ricorso ai dati dell’indagine IMQ 2013, raccolti all’interno del dataset *IMQ2013_opendata.mdb* ([Agenzia della mobilità piemontese, 2014](#))⁴⁹.

Per rapportare le informazioni desumibili dallo studio IMQ con i dati campionari TIM, si rende, innanzitutto, necessario selezionare delle aree d’analisi compatibili con entrambi i dataset, che risultino, al contempo, sufficientemente estese per ovviare alla presenza di difformità locali. Queste problematiche possono essere

⁴⁸ Individui con residenza anagrafica/domicilio fiscale in un comune diverso da quello in cui si spostano, con frequenza occasionale, per ragioni di turismo, salute, sport, ecc.

⁴⁹ <https://mtm.torino.it/it/dati-statistiche/indagini/indagine-imq-2013/base-dati-imq-2013/>

risolte adottando le macroaree d'analisi definite nel corso del paragrafo 4.1, selezionate appositamente a questo scopo.

L'obiettivo di questa analisi sulla ripartizione modale consiste nel filtrare i dati grezzi TIM da tutti i probabili spostamenti non motorizzati, applicando dei coefficienti correttivi differenziati in base alle aree di spostamento ed alle distanze di percorrenza. Procedendo per macroaree, quindi, il set di parametri da considerare risulta molto più ristretto, favorendo così la riduzione del carico computazionale.

Ragionando sulla base dei sistemi di trasporto disponibili e dei livelli di servizio offerti, le macroaree definite al paragrafo 4.1 risultano, inoltre, adeguatamente omogenee internamente e discretamente differenziate tra di loro, caratteristica particolarmente favorevole per la corrente analisi.

È chiaro, infatti, che la mobilità pubblica sarà favorita nelle aree più dotate di servizi, come il comune di Torino, risulterà meno attrattiva nelle zone periferiche, come i comuni della cintura, e sarà orientata sul sistema ferroviario per le medio/lunghe percorrenze, tipiche degli spostamenti in uscita dall'area metropolitana.

Si precisa, infine, che, anche se l'analisi della ripartizione modale sarà condotta su macroaree, il raggio di mobilità degli spostamenti verrà comunque valutato sulla base delle distanze percorse tra le sottozone ACE disaggregate, in modo da non perdere le informazioni sulle brevi percorrenze, particolarmente rilevanti in questa fase.

Nei paragrafi successivi, verranno, dunque, analizzate la ripartizione modale ed il raggio di mobilità, degli spostamenti interni o di scambio, per le macroaree definite al paragrafo 4.1, ricordando che le località estere non sono incluse nel dataset TIM e che le regioni che distano più di due ore dal Piemonte vengono scartate.

Le elaborazioni condotte in questa fase saranno interamente eseguite sulla cartella di lavoro Excel denominata *Matr_Mob_Motorizzata.xlsx*, strutturata e compilata come mostrato in appendice A.4 .

7.2.1 Stima del raggio di mobilità per area da dati campionari TIM

In questa sezione, si vogliono analizzare i raggi di mobilità caratteristici delle macroaree, definite al termine dell'introduzione al paragrafo 7.2.

Poiché il dataset TIM non fornisce esplicitamente le distanze di percorrenza, l'informazione è stata ricavata indirettamente, sulla base dei cammini minimi tra le zone di origine/destinazione, individuati sul grafo stradale di riferimento, e riportati sul file *SkimMatrix_Dmin.txt*, ottenuto nel corso del paragrafo 7.1.2.

Occorre ricordare, però, che mentre per Torino e cintura si è mantenuta la stessa zonizzazione proposta da TIM (aree ACE), le zone esterne sono, invece, state accorpate in aree via via più estese, al crescere della lontananza con l'area di studio. Le zone esterne, infatti, sono state definite allo scopo di individuare le principali direttrici di ingresso/uscita dall'area metropolitana, per le quali non è necessario conoscere l'esatta origine/destinazione.

Si rammenta, inoltre, che le coppie O/D presenti sulla matrice dei minimi percorsi, non corrispondono all'identificativo delle zone (LayerID) ma alla numerazione dei centroidi, introdotta per favorire la logica di funzionamento di OmniTRANS.

Ciò comporta che le distanze intrazonali contenute nella matrice O/D, non saranno direttamente associabili agli spostamenti TIM, che si sviluppano tra le sotto-aree ACE descritte dal LayerID. Si rende, dunque, necessario individuare preventivamente la zona di appartenenza di ciascun'area ACE, così da poter successivamente attribuire la distanza intrazonale ad ogni spostamento.

7.2.1.1 Associazione dei cammini minimi agli spostamenti campionari

Questa operazione viene eseguita sul file *Matr_Mob_Motorizzata.xlsx*, sul quale occorre, innanzitutto, predisporre tutte le informazioni necessarie:

- In primo luogo, si importano le distanze contenute sul file *SkimMatrix_Dmin.txt* all'interno del foglio *Matr_D*, che risulterà strutturato come mostrato in Tab. 4-1.
- Successivamente, si estraggono gli identificativi di zona (LayerID) e la numerazione dei centroidi dal file *Zones.dbf*, ottenuto al capitolo 4 e completato nel paragrafo 7.1.1.1, e si riportano sul foglio *Zone*, strutturato come descritto in Tab. 4-2.
- Infine, si importano i "DestinationData" di TIM, contenuti nel dataset relativo al giorno 13/02/2019, sul foglio *TIM*, come illustrato in Tab. 4-3.

A questo punto, si può associare l'identificativo di zona/centroide, presente sul foglio *Zone*, alle aree ACE, interessate dagli spostamenti TIM, attraverso la corrispondenza con il LayerID.

Una volta definite le zone O/D di ciascun spostamento, si può, dunque, attribuire la distanza di percorrenza, prelevando l'informazione dal foglio *Matr_D*.

Osservando i valori riportati nella colonna MacroArea del foglio *Zone* si possono, infine, associare le macroaree di origine/destinazione agli spostamenti campionati da TIM.

Le formule utilizzate per portare a termine questa fase preliminare sono riportate nella prima parte della Tab. 4-4.

Nella seguente Figura 7-11, si propone un esempio per chiarire meglio i concetti esposti sinora.

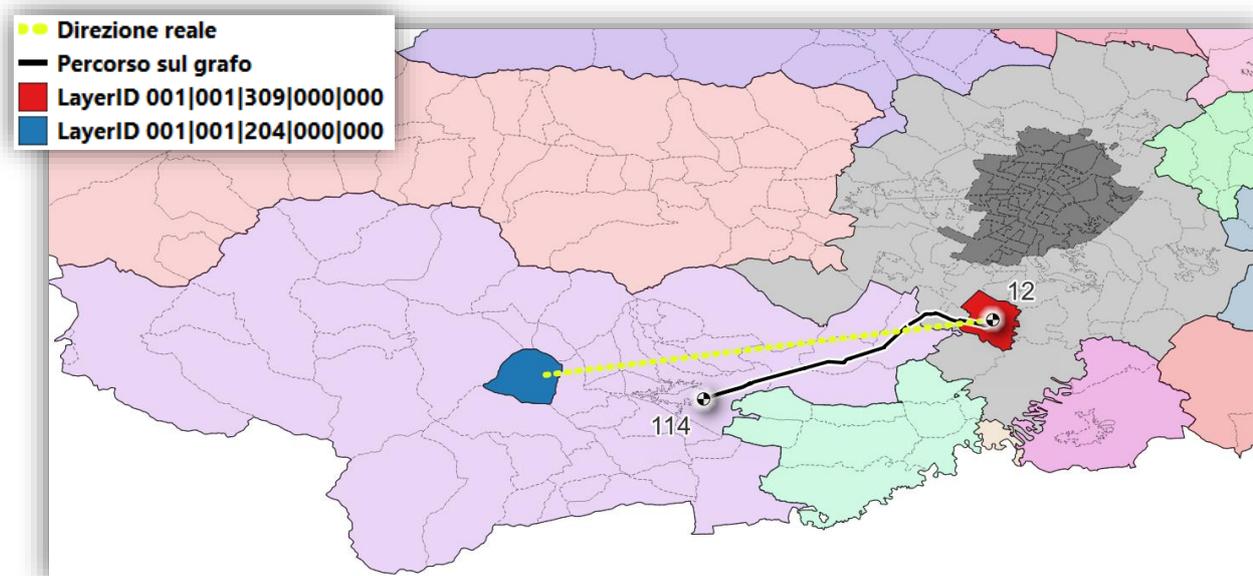


Figura 7-11 Esempio di spostamento di scambio tra la macroarea della cintura di Torino e quella della provincia

Dall'esempio in Figura 7-11, si può osservare come ad uno spostamento con origine/destinazione nelle ACE rossa e blu (001|001|309|000|000 e 001|001|204|000|000), associate alla zona 12 (interna) ed alla 114 (esterna), rispettivamente appartenenti alle macroaree della cintura e della provincia di Torino, venga attribuito il minimo percorso presente sul grafo, colorato di nero.

Lo spostamento sarà, dunque, valutato come movimento di scambio tra cintura ed il resto della provincia e la distanza, ad esso associata sarà il minimo percorso tra i centroidi della zona 12 e 114.

Chiaramente, i centroidi delle zone esterne non possono essere rappresentativi di tutte le sotto-aree ACE, ed i collegamenti in uscita dall'area di studio, descritti esclusivamente dagli archi fittizi, non possono garantire un livello di dettaglio accurato. La distanza associata con questo metodo costituisce, dunque, un'approssimazione della reale percorrenza, che risulterà tanto più imprecisa quanto più la zonizzazione risulta grossolana, come nel caso delle zone esterne all'area di studio.

7.2.1.2 Analisi del raggio di mobilità per macroarea

Conclusa la fase preliminare di associazione delle distanze, si può procedere, dunque, con l'analisi del raggio di mobilità degli spostamenti, interni o di scambio, che interessano le cinque macroaree rappresentate in Figura 4-3 riportata al paragrafo 4.2.

Va precisato che gli spostamenti interni verranno valutati solo per le macroaree interne all'area di studio, mentre quelli di scambio solo se l'origine e/o la destinazione sarà una macroarea interna, ricordando che non sono noti gli spostamenti con origine esterna alla città metropolitana di Torino.

In altre parole, vengono considerate le seguenti possibilità di spostamento:

- Spostamenti interni al comune di Torino → "T_intraCom";
- Spostamenti interni alla cintura di Torino, differenziati in:
 - Spostamenti interni al singolo comune della cintura → "C_intraCom";
 - Spostamenti di scambio tra i comuni della cintura → "C <-> C";
- Spostamenti di scambio tra il comune di Torino e la cintura → "T <-> C";
- Spostamenti di scambio tra l'area metropolitana di Torino e cintura ed il resto della provincia → "TC <-> P";
- Spostamenti in uscita da Torino e cintura, diretti verso il resto della regione → "TC --> R";
- Spostamenti in uscita da Torino e cintura, diretti verso le altre regioni d'Italia → "TC --> IT";

Sulla base di questa ripartizione si valutano, in primo luogo, i valori estremi del raggio di mobilità e quelli mediati sul totale degli spostamenti.

Questa operazione viene eseguita generando un nuovo foglio di calcolo *Raggio_Mob*, strutturato come mostrato in Tab. 4-5 e compilato attraverso le formule illustrate in Tab. 4-6 (Analisi: Raggi caratteristici), contenenti le condizioni riportate in Tab. 4-7.

I risultati di questa analisi sono riportati nella seguente Tabella 7-13.

Tabella 7-13 Raggi di mobilità caratteristici di ciascuna macroarea (elaborazioni proprie su dati campionari TIM)

	T_intraCom	C_intraCom	T <-> C	C <-> C	TC <-> P	TC --> R	TC --> IT	Raggi e spostamenti complessivi
r_min [km]	0.714	0.966	1.538	1.274	7.505	33.025	48.965	0.714
r_max [km]	15.134	7.306	27.697	38.285	62.721	120.531	289.101	289.101
r_med [km]	3.961	2.976	9.660	9.125	22.449	69.352	143.683	10.520*
Spost tot	1 616 615	179 093	851 588	605 098	655 675	50 014	20 777	3 978 860
Spost [%]	41%	5%	21%	15%	16%	1%	1%	100%

* r_med complessivo esprime il valore del raggio di mobilità mediato sulla numerosità degli spostamenti complessivi.

È, innanzitutto, possibile constatare che il 41% degli spostamenti che interessano l'area di studio avvengono all'interno del comune di Torino, la percentuale cresce all'82% considerando l'intera area metropolitana, ed ancora al 98% valutando l'intera provincia. Si evidenzia, dunque, un forte auto-contenimento degli spostamenti all'interno dell'area metropolitana oggetto di studio.

Gli spostamenti che interessano la cintura sono prevalentemente di scambio con il comune di Torino o con altri comuni limitrofi, a scapito di quelli urbani. Si osserva, inoltre, che il raggio medio di mobilità relativo agli spostamenti di scambio tra i comuni della cintura è inferiore ai 10km. Questa informazione permette di comprendere che gli spostamenti con origine e destinazione all'interno della cintura, si sviluppano, per lo più, tra comuni limitrofi e che, quindi, è improbabile che transitino all'interno della città di Torino.

Si verifica, infine, che il raggio di mobilità medio per gli spostamenti urbani risulta inferiore ai 4km, mentre quello relativo al totale degli spostamenti risulta pari a 10.52 km.

Questi valori risultano discretamente in linea con le tendenze nazionali del 2019 descritte sul "17° Rapporto sulla mobilità degli italiani" (ISFORT, 2020)⁵⁰:

"Ugualmente stazionaria la dinamica della lunghezza media degli spostamenti, ferma a 11,2 km nel 2019, in pratica allo stesso livello dell'anno precedente. Da sottolineare tuttavia il forte balzo della lunghezza media dei tragitti urbani, da 4,3 km a 5,7 km nell'ultimo anno, il valore più elevato dell'intera serie storica."

Osservando, invece, r_min si individuano degli spostamenti con raggi inferiori al km, e ciò indica che il grafo stradale, su cui sono state stimate le distanze minime, è sufficientemente dettagliato per cogliere le dinamiche delle brevi percorrenze. Come spiegato, infatti, si sta tentando di distinguere gli spostamenti di prossimità, per i quali è più probabile il ricorso a forme di mobilità attive, da quelli più lunghi, per i quali è maggiore il ricorso a mezzi motorizzati.

Per procedere con l'analisi, occorre, dunque, effettuare una ripartizione degli spostamenti per classi di distanza, selezionando i raggi di mobilità più adatti ad esaltare al massimo le peculiarità modali. A tal proposito, si riporta in Figura 7-12, la distribuzione degli spostamenti totali per mezzi di trasporto utilizzati e raggio della mobilità, stimati a livello nazionale nel "15° Rapporto sulla mobilità degli italiani" (ISFORT, 2018)⁵¹ in base alle rilevazioni del 2017 e del primo semestre 2018.

⁵⁰ <https://www.isfort.it/wp-content/uploads/2020/12/RapportoMobilita2020.pdf>

⁵¹ https://www.isfort.it/wp-content/uploads/2019/09/Rapporto_Mobilita_2018.pdf

	Prossimità (fino a 2 km)	Corto raggio/urba no (2-10km)	Media distanza (10-50km)	Lunga distanza (oltre 50km)	Totale
A piedi	58,0	4,6	-	-	22,3
In bicicletta	8,7	4,9	0,9	-	5,3
Moto/Motociclo	1,7	4,3	2,9	1,7	3,0
Auto	27,0	72,8	83,2	84,1	59,1
Mezzo pubblico	3,9	13,9	13,3	14,6	10,3
Totale	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Fonte: Isfort, Osservatorio "Audimob" sulla mobilità degli italiani

Figura 7-12 La distribuzione degli spostamenti totali per mezzi di trasporto utilizzati e raggio di mobilità (valori %)

Da quel che si può osservare in Figura 7-12, la mobilità ciclo-pedonale è nettamente favorita negli spostamenti di prossimità, persiste sino a raggi compresi entro i 10km ed è praticamente assente per tragitti di medio/lunga distanza. Il mezzo pubblico, eccezion fatta per le brevi distanze, si attesta su una quota sostanzialmente stabile, mentre la mobilità privata aumenta di pari passo con la lunghezza di percorrenza.

Osservando, infine, che non si evidenziano sostanziali differenze tra le medie e lunghe distanze, e ricordando che, in questo elaborato, è stata modellata esclusivamente l'infrastruttura per la mobilità motorizzata trascurando i percorsi ciclo-pedonali, scelte vengono definite le seguenti classi di distanza:

- Da 0 a 3km, per valutare gli spostamenti di prossimità su cui prevale la mobilità attiva, concedendo una maggior tolleranza atta a compensare l'assenza di percorsi specifici per questa categoria;
- Da 3 a 10km, al fine di cogliere le specificità modali tipiche del corto raggio;
- Oltre i 10km, per considerare unitamente le medie e lunghe distanze, semplificando così l'analisi.

Questa ripartizione può essere applicata alle macroaree definite in precedenza, completando il foglio *Raggio_Mob*, mostrato in Tab. 4-5, con le formule illustrate in Tab. 4-6 (Analisi: Distribuzione), contenenti le condizioni riportate in Tab. 4-7.

I risultati di quest'operazione sono esposti nella seguente Tabella 7-14.

Tabella 7-14 Distribuzione degli spostamenti per macroarea e raggio di mobilità (elaborazioni proprie su dati campionari TIM)

raggio [km]	T_intraCom			C_intraCom			T <-> C			C <-> C		
	3	10	>10	3	10	>10	3	10	>10	3	10	>10
Spost per r	652 409	935 226	28 980	91 347	87 746	0	21 473	460 951	369 164	44 622	369 178	191 298
Spost [%]	40.4%	57.9%	1.8%	51.0%	49.0%	0.0%	2.5%	54.1%	43.4%	7.4%	61.0%	31.6%

raggio [km]	TC <-> P			TC --> R	TC --> IT
	3	10	>10	*	*
Spost per r	0	68 630	587 045	50 014	20 777
Spost [%]	0.0%	10.5%	89.5%	100.0%	100.0%

Da quello che si può notare in Tabella 7-14, gli spostamenti di prossimità ricoprono una quota significativa della mobilità urbana, e sommati a quelli di corto raggio ne raggiungono quasi la totalità, coerentemente con il dato r_{max} riportato in Tabella 7-13.

Al contrario, gli spostamenti di scambio, interni all'area metropolitana, sono prevalentemente associati al corto raggio, con una quota rilevante sulle medio/lunghe percorrenze.

Gli scambi tra l'area metropolitana ed il resto della provincia sono quasi tutti caratterizzati da distanze medio/lunghe, con una quota ridotta di spostamenti di corto raggio.

Per gli spostamenti diretti verso le altre province della regione o verso le altre regioni, invece, non è stata applicata alcuna ripartizione poiché tutti di lunga percorrenza, come è possibile constatare dal valore di r_{min} in Tabella 7-13.

Quest'analisi assumerà maggior rilievo solo in seguito alla stima della ripartizione modale, esposta nel paragrafo successivo.

7.2.2 Stima della ripartizione modale per area da dati IMQ

In questa fase si effettua un'analisi mirata alla determinazione della probabilità di scelta modale per gli spostamenti, interni o di scambio, che interessano le macroaree introdotte nel paragrafo precedente.

Come visto durante l'analisi del raggio di mobilità, per gli spostamenti urbani prevalgono i movimenti di prossimità e di corto raggio, per cui si ipotizza un maggior ricorso alla mobilità attiva, mentre per gli spostamenti in ingresso/uscita le distanze crescono, favorendo la scelta di mezzi motorizzati. A questo va aggiunto che la scelta del mezzo dipende anche dall'effettiva presenza di sistemi di trasporto alternativi e dai livelli di servizio offerti.

Ci si aspetta, ad esempio, che per il comune di Torino ci sia un maggior ricorso al mezzo pubblico sia per gli spostamenti urbani che di scambio con la cintura, nonostante le distanze percorse siano paragonabili a quelle intra ed intercomunali della sola cintura.

Per effettuare questa valutazione, si fa ricorso ai dati dell'indagine IMQ 2013 ([Agenzia della mobilità piemontese, 2014](#))⁵², così da produrre delle stime basate sulle informazioni specifiche dell'area di studio.

Si preferisce, tuttavia, stimare autonomamente la ripartizione modale sulla base dei dati dell'indagine, senza fare affidamento a statistiche descrittive già contenute nei vari rapporti pubblicati dall'Agenzia della mobilità piemontese, per le seguenti ragioni:

- Innanzitutto, i risultati pubblicati non sono strettamente compatibili con il tipo di analisi che si vuole svolgere in questo studio; la ripartizione modale viene, infatti, stimata per i cittadini residenti nell'area d'analisi senza valutarne l'effettiva origine e destinazione. Questo impedisce di stabilire se la scelta del mezzo è riferita ad uno spostamento che si sviluppa interamente all'interno dell'area, oppure diretto verso l'esterno o, addirittura, ai movimenti di un residente che si trova in tutt'altro luogo.
- Nello studio IMQ vengono registrati sino a tre mezzi utilizzati nelle diverse fasi di un singolo spostamento, ma, successivamente, si associa alla combinazione multimodale un singolo modo prevalente. Poiché lo scopo di questa analisi, invece, è quello di individuare tutti i mezzi in circolazione, attribuendo dei coefficienti correttivi differenziati per la mobilità privata e pubblica, tutte le singole tappe verranno valutate separatamente, come se ciascuna costituisse uno spostamento distinto. Se,

⁵² <https://mtm.torino.it/it/dati-statistiche/indagini/indagine-imq-2013/base-dati-imq-2013/>

per esempio, uno spostamento venisse effettuato con una combinazione di auto, bus e bici, allora alla prima tratta verrebbe associato il coefficiente per il mezzo privato, alla seconda quello per il mezzo pubblico ed il tragitto finale verrebbe trascurato. Questo perché l'autobus, può trasportare un numero di passeggeri evidentemente maggiore di un'auto, con un impatto minore sul traffico (in termini di numero di vetture circolanti), mentre gli spostamenti ciclo-pedonali non riguardano questo studio. Chiaramente quest'approccio semplifica molto il problema reale della mobilità multimodale, che per un'analisi più accurata richiederebbe anche la modellazione dell'offerta pubblica.

Infine, tutte le possibilità di trasporto, elencate nello studio IMQ, verranno associate ad una macrocategoria della mobilità, seguendo un approccio non molto rigoroso ma, nuovamente, finalizzato a riconoscerne l'impatto sul traffico. Ad esempio, i mezzi acquatici verranno assimilati al trasporto pubblico su ferro, ma esclusivamente per indicare che non incideranno sul traffico veicolare della rete stradale.

Prima di procedere occorre puntualizzare che nello studio IMQ compariranno destinazioni esterne al Piemonte, per le quali viene indicato il codice ISTAT della provincia. Per stabilire se queste destinazioni ricadono tra le aree di interesse per la corrente analisi, si rende necessario integrare l'informazione, riportando sul foglio *ProvExt* l'elenco delle provincie appartenenti alle regioni da includere nel computo dei risultati, come mostrato in Tab. 4-8.

Successivamente, è possibile prelevare dalla tabella *spostamenti* del dataset *IMQ2013_opendata.mdb*, (*Agenzia della mobilità piemontese, 2014*)⁵³, le informazioni necessarie per produrre la stima della ripartizione modale prestabilita, ed inserirle sul foglio *IMQ_spost*, come illustrato in Tab. 4-10.

Per non appesantire troppo la cartella di lavoro, si selezionano solo i dati di input essenziali per questa fase, quelli elencati in Tabella 7-15.

Tabella 7-15 Campi della tabella "spostamenti" del file *IMQ2013_opendata.mdb* da importare sul foglio *IMQ_spost*

Nome campo	Descrizione
ID_INT	Codice identificativo dell'intervista
COD_ZONA_PAR	Zona di Partenza (null = fuori Regione Piemonte)
PROV_PAR	Provincia di Partenza
COD_ZONA_ARR	Zona di Arrivo (null = fuori Regione Piemonte)
PROV_ARR	Provincia/Stato Estero di Arrivo
MEZZO1	1° tipo di mezzo usato nello spostamento
MEZZO2	2° tipo di mezzo usato nello spostamento
MEZZO3	3° tipo di mezzo usato nello spostamento
PAX_AUTO	n° di passeggeri in auto
COD_ZONA_2M	Zona ove è stato preso il 2° tipo di mezzo
PROV_2M	Provincia ove è stato preso il 2° tipo di mezzo
COD_ZONA_3M	Zona ove è stato preso il 3° tipo di mezzo
PROV_3M	Provincia ove è stato preso il 3° tipo di mezzo
TASSO_CAMP	Tasso percentuale di campionamento dello strato cui appartiene l'intervistato

⁵³ <https://mtm.torino.it/it/dati-statistiche/indagini/indagine-imq-2013/base-dati-imq-2013/>

Determinazione della matrice oraria relativa alla mobilità motorizzata

Al fine di agevolare le fasi successive, le informazioni sui tre possibili mezzi utilizzati nello spostamento, e le relative origini/destinazioni, vengono riordinate aggiungendo 9 colonne al foglio *IMQ_spost*, come indicato in Tab. 4-11, attraverso le formule riportate in Tab. 4-12.

Si genera, infine, un nuovo foglio di calcolo denominato *Modal_Split*, strutturato come in Tab. 4-13, che conterrà, innanzitutto, l'elenco di tutti i mezzi di trasporto contemplati dall'indagine IMQ, completo di codifica, descrizione e relativa macrocategoria della mobilità associata, come riportato nella seguente Tabella 7-16.

Tabella 7-16 Elenco dei mezzi di trasporto contemplati dallo studio IMQ con associata la macrocategoria di mobilità non rigorosa

Cod_Mezzo	Tipo_mezzo	Mobilità
00	Nessun mezzo (implicitamente = Piedi)	attiva
01	Piedi	attiva
02	Moto/ciclomotore	privata
03	Autoveicolo come conducente	privata
04	Autoveicolo come passeggero	privata
05	Taxi	collettiva - Gomma
06	Bus urbano suburbano e/o Tram GTT (TO e cintura)	collettiva - Gomma
07	Bus extraurbano GTT	collettiva - Gomma
08	Trasporto urbano (bus, filobus, tram, metropolitana) di altri Comuni e altre Città diverse da Torino	collettiva - Gomma
09	Bus extra urbano altro vettore	collettiva - Gomma
10	Bus aziendale	collettiva - Gomma
11	Scuolabus	collettiva - Gomma
12	Ferrovia Trenitalia	collettiva - Ferro
13	Ferrovia GTT (Canavesana, TO - Ceres TO - Chieri)	collettiva - Ferro
15	Altro	attiva
16	Bicicletta personale	attiva
20	Bicicletta del sistema Bike Sharing	attiva
19	Metropolitana automatica GTT	collettiva - Ferro
21	Autoveicolo del sistema Car Sharing come conducente	privata
22	Ferrovia altro vettore (TRENORD, SSIF, FART, SBB-CFF-FFS, SNCF, BLS)	collettiva - Ferro
23	Altro mezzo pubblico terrestre (funicolare, funivia)	collettiva - Ferro
24	Altro mezzo pubblico su acqua (battello, aliscafo)	collettiva - Ferro

Con riferimento alla Tabella 7-16 sopraesposta, si riportano le seguenti osservazioni:

- Si è verificato che laddove non viene indicato alcun mezzo di trasporto ci si riferisce implicitamente alla mobilità pedonale. La codifica 00 è, dunque, stata introdotta ex-novo;
- Il codice 05, corrispondente ai Taxi, in questo studio viene considerato come mezzo pubblico su gomma. Questa decisione è stata presa ragionando, in primis, sulla flessibilità di orario e percorrenze, poiché più accomodante di un mezzo pubblico con corse e fermate prestabilite, ma

comunque distante dall'autonomia tipica di un mezzo personale. In secondo luogo, per il coefficiente di riempimento, che risulterà sicuramente maggiore di quello generalmente associato all'auto di proprietà. Questa modalità di trasporto, tuttavia, raggiunge appena lo 0.2% di probabilità di essere scelta nelle aree dove risulta più diffusa, il suo impatto è pressoché trascurabile.

- Le categorie 23 e 24, relative a funicolari o mezzi acquatici, sono state associate alla mobilità collettiva su ferro. Come spiegato in precedenza, ciò avviene esclusivamente per indicare che queste tipologie di trasporto non incidono sul traffico veicolare stradale. Anche in questo caso, la loro probabilità di impiego nella mobilità è trascurabile.

Chiariti questi concetti, l'analisi sulla ripartizione modale può procedere, innanzitutto, conteggiando gli spostamenti, intesi come singole tappe, relativi a ciascun mezzo di trasporto presente in elenco, ripartiti secondo le solite macroaree. Successivamente, il conteggio di ogni singola modalità di trasporto, impiegata dagli utenti di ciascuna macroarea, viene sommato secondo la macrocategoria della mobilità ad esso associata.

Questa operazione viene eseguita sul foglio *Modal_Split*, integrando le tabelle mostrate in Tab. 4-14, compilate attraverso le formule esposte in Tab. 4-15 e Tab. 4-16, contenenti le condizioni riportate in Tab. 4-17 e Tab. 4-18.

I risultati sono riportati nella seguente Tabella 7-17.

Tabella 7-17 Ripartizione modale per macroarea di spostamento (elaborazioni proprie su dati IMQ 2013)

	T_intraCom		C_intraCom		T <-> C		C <-> C		TC <-> P		TC --> R		TC --> IT	
	tot	[%]	tot	[%]	tot	[%]	tot	[%]	tot	[%]	tot	[%]	tot	[%]
Mob. attiva	643 641	36%	336 351	55%	8 908	2%	7 946	5%	2 533	1%	690	2%	32	0%
Mob. privata	644 341	36%	258 487	42%	345 979	77%	136 573	86%	274 801	78%	28 048	62%	5 841	78%
Mob. collettiva - Gomma	392 451	22%	18 223	3%	66 293	15%	14 366	9%	30 721	9%	2 835	6%	164	2%
Mob. collettiva - Ferro	89 394	5%	202	0%	27 126	6%	828	1%	42 239	12%	13 983	31%	1 466	20%
TOT	1 769 827	100%	613 264	100%	448 306	100%	159 713	100%	350 294	100%	45 556	100%	7 504	100%

Come pronosticato, si può constatare una quota rilevante di mobilità attiva nelle macroaree urbane, dove le distanze di percorrenza sono limitate, che tende ad assottigliarsi con il crescere della lontananza tra origine e destinazione.

Il ricorso a forme di mobilità collettiva su gomma è più evidente per gli spostamenti interni o in ingresso ed uscita dalla città di Torino, mentre è quasi assente per gli spostamenti urbani nei comuni della cintura, e si riduce sempre più con il crescere della distanza.

Si osserva, infine, una quota significativa di utenti, che sceglie il trasporto ferroviario per le medio/lunghe percorrenze dirette dall'area metropolitana di Torino verso le altre provincie e regioni. Questa tendenza appare più marcata per gli spostamenti che terminano all'interno della regione Piemonte.

Come visto in Tabella 7-13, gli spostamenti diretti verso l'esterno della città metropolitana di Torino sono poco frequenti, circa il 2% del totale, e, non disponendo di informazioni più aggiornate, si procede con le elaborazioni successive considerando corretta la ripartizione modale ottenuta in questa fase.

7.2.3 Valutazione dello share modale in funzione del raggio di mobilità (backcalculation)

Giunti a questo punto dell'analisi, si possiedono tutte le informazioni necessarie per effettuare una ricostruzione della probabilità di scelta modale, in funzione delle macroaree interessate dallo spostamento e del raggio di mobilità.

Nota la ripartizione modale di ogni macroarea, valutata sulla base dei dati forniti dallo studio IMQ, ed il numero di spostamenti, campionati da TIM, ricadenti in ogni classe di lunghezza, si vogliono ricavare le quote modali da attribuire a ciascun raggio di mobilità per ciascuna macroarea.

Lo split modale per classe di distanza sarà ritenuto corretto solo quando, sommando gli spostamenti di tutte le classi di distanza per ciascuna modalità di trasporto, si otterrà la stessa ripartizione attribuita alla macroarea. In pratica, si conosce già lo share modale complessivo di ogni zona, ma non è noto come ciascuna modalità si distribuisca in base alla distanza di percorrenza e, quindi, si procede per tentativi ipotizzandone la distribuzione, sino a che il risultato del calcolo non coincide con il totale già noto. Questo metodo è conosciuto come calcolo a ritroso o "backcalculation", e tipicamente viene impiegato per ottenere i moduli elastici degli strati sottostanti ad una pavimentazione flessibile, nota l'entità degli abbassamenti misurati in superficie.

Per procedere con le stime, si genera un nuovo foglio di calcolo denominato *BackCalc*, strutturato come in Tab. 4-19, su cui riportare, innanzitutto, i risultati delle fasi precedenti, ovvero la ripartizione degli spostamenti per raggio di mobilità, Tabella 7-14, e lo split modale, Tabella 7-17.

Dopodiché si predispose la tabella che conterrà le incognite del calcolo a ritroso, ossia le quote modali di ogni macroarea per raggio di mobilità. Per semplificare l'analisi ed alleggerire le fasi successive, si è deciso, tuttavia, di ridurre il dettaglio delle possibilità di spostamento, considerando esclusivamente le seguenti casistiche:

- Spostamenti interni alla città di Torino;
- Spostamenti interni alla cintura, inclusivi degli spostamenti urbani e di scambio tra comuni limitrofi;
- Spostamenti di scambio, comprendenti sia gli scambi tra la città di Torino e la cintura che quelli tra l'area metropolitana e la provincia.

La tabella delle incognite del problema, assume, dunque, la struttura mostrata nella seguente Tabella 7-18.

Tabella 7-18 Tabella delle variabili incognite della backcalculation

	Torino			Cintura			Spostamenti di scambio			TC --> R	TC --> IT	
	3	10	>10	3	10	>10	3	10	>10	*	*	
Mob. attiva	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	0	0	<i>variabili</i>
Mob. privata	X ₂₁	X ₂₂	X ₂₃	X ₂₁	X ₂₂	X ₂₃	X ₂₁	X ₂₂	X ₂₃	0.62	0.78	<i>variabili</i>
Mob. collettiva - Gomma	X ₃₁	X ₃₂	X ₃₃	X ₃₁	X ₃₂	X ₃₃	X ₃₁	X ₃₂	X ₃₃	0.07	0.02	<i>variabili</i>
Mob. collettiva - Ferro	X ₄₁	X ₄₂	X ₄₃	X ₄₁	X ₄₂	X ₄₃	X ₄₁	X ₄₂	X ₄₃	0.31	0.2	<i>variabili</i>
TOT	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	<i>vincoli</i>

Si noti che, non essendo interessati alla ripartizione per classe di distanza degli spostamenti in uscita dall'area metropolitana, le ultime due colonne in Tabella 7-18 risultano già note, e riportano le quote modali complessive delle rispettive macroaree di destinazione.

Ciascuna incognita x_{ij} rappresenta la quota dalla modalità di trasporto i per il raggio di mobilità j , e nota la quota complessiva per i -esima modalità Mod_split_i , si vuole raggiungere il risultato riportato in Formula 7-1.

Formula 7-1 Uguaglianza tra la quota complessiva nota e quella calcolata per l' i -esima modalità di trasporto

$$Mod_split_i = \frac{\sum_j x_{ij} \cdot spostamenti_j}{\sum_{ij} x_{ij} \cdot spostamenti_j}$$

L'obiettivo prefissato per un'intera macroarea consiste nell'uguagliare tutte le quote modali note con quelle calcolate introducendo le incognite x_{ij} , condizione esprimibile attraverso la seguente Formula 7-2.

Formula 7-2 Obiettivo globale per un'intera macroarea

$$\sum_i \left(\left| Mod_split_i - \frac{\sum_j x_{ij} \cdot spostamenti_j}{\sum_{ij} x_{ij} \cdot spostamenti_j} \right| \right) = 0$$

Infine, quando due casistiche di spostamento vengono considerate insieme, come nel caso della cintura e degli spostamenti di scambio, l'obiettivo sarà, invece, quello in Formula 7-3.

Formula 7-3 Obiettivo globale per una macroarea che contempla due casistiche di spostamento

$$\sum_i \left(\left| Mod_split_{1,i} - \frac{\sum_j x_{ij} \cdot spostamenti_{1,j}}{\sum_{ij} x_{ij} \cdot spostamenti_{1,j}} \right| \right) + \sum_i \left(\left| Mod_split_{2,i} - \frac{\sum_j x_{ij} \cdot spostamenti_{2,j}}{\sum_{ij} x_{ij} \cdot spostamenti_{2,j}} \right| \right) = 0$$

Questa procedura può essere implementata sul foglio *BackCalc* come illustrato in Tab. 4-19, introducendo le formule descritte in Tab. 4-20 ed impostando il risolutore come mostrato in Fig. 4-1.

Chiaramente non è possibile arrivare a convergenza piena, specialmente per gli spostamenti della cintura o di scambio, dove si sono considerate due casistiche insieme. Per la città di Torino, tuttavia, lo scarto è quasi nullo, ed anche per gli spostamenti di scambio risulta molto ridotto, in virtù delle quote modali associate alle due casistiche accomunate (T <-> C e TC <-> P) che risultano molto simili in partenza. La differenza maggiore si riscontra, dunque, per la cintura, dove la mobilità attiva risulta sottostimata di 4 punti percentuali in ambito urbano e sovrastimata di due punti sugli spostamenti intercomunali, rispettivamente a scapito o a beneficio della mobilità motorizzata.

Il risultato dell'operazione produce la ripartizione modale complessiva riportata in Tabella 7-19, e la ripartizione modale per classi di lunghezza mostrata in Tabella 7-20.

Determinazione della matrice oraria relativa alla mobilità motorizzata

Tabella 7-19 Ripartizione modale complessiva per macroarea di spostamento ottenuta dalla backcalculation

	T_intraCom		C_intraCom		T <-> C		C <-> C		TC <-> P		TC --> R		TC --> IT	
	tot	[%]	tot	[%]	tot	[%]	tot	[%]	tot	[%]	tot	[%]	tot	[%]
Mob. attiva	587 820	36%	91 522	51%	4 494	1%	45 360	7%	480	0%	0	0%	0	0%
Mob. privata	588 729	36%	81 165	45%	657 376	77%	517 484	86%	515 307	79%	31 009	62%	16 206	78%
Mob. collettiva - Gomma	358 538	22%	6 142	3%	126 762	15%	39 233	6%	61 376	9%	3 501	7%	416	2%
Mob. collettiva - Ferro	81 528	5%	263	0%	62 956	7%	3 021	0%	78 512	12%	15 504	31%	4 155	20%
TOT	1 616 615	100%	179 093	100%	851 588	100%	605 098	100%	655 675	100%	50 014	100%	20 777	100%

Tabella 7-20 Ripartizione modale per raggio di mobilità e macroarea di spostamento ottenuta dalla backcalculation

	Torino			Cintura			Spost di scambio			TC --> R	TC --> IT
	3	10	>10	3	10	>10	3	10	>10	*	*
Mob. attiva	79.1%	7.5%	5.6%	100.0%	0.2%	0.0%	5.9%	0.7%	0.0%	0.0%	0.0%
Mob. privata	9.4%	54.1%	74.0%	0.0%	92.5%	92.0%	91.1%	75.1%	79.0%	62.0%	78.0%
Mob. Collettiva - Gomma	9.5%	31.4%	10.0%	0.0%	7.0%	7.0%	2.0%	21.0%	8.0%	7.0%	2.0%
Mob. Collettiva - Ferro	2.0%	7.0%	10.4%	0.0%	0.3%	1.0%	1.0%	3.2%	13.0%	31.0%	20.0%
TOT	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Per quanto riguarda la città di Torino, si osserva che per gli spostamenti di prossimità prevale nettamente la mobilità ciclo-pedonale e l'utilizzo del mezzo pubblico supera la quota del trasporto privato. Il risultato si discosta sensibilmente dalle medie nazionali riportate in Figura 7-12, ma questa tendenza può essere giustificata dalla presenza di numerose infrastrutture dedicate alla mobilità dolce e di un servizio pubblico superiori agli standard italiani. Per gli spostamenti di corto raggio e di medio/lunga distanza ci si avvicina al trend nazionale, nuovamente, con un maggior impiego del mezzo pubblico a sfavore della mobilità privata.

Analizzando i risultati per l'area della cintura, si evidenzia un ricorso esclusivo alla mobilità attiva per gli spostamenti di prossimità, quota che tende ad annullarsi considerando distanze di percorrenza maggiori, mentre il trasporto pubblico detiene uno share quasi dimezzato rispetto la tendenza nazionale. Il risultato evidenzia una maggior propensione dei cittadini della cintura alla mobilità attiva sulle distanze inferiori ai 3km, probabilmente come forma di compensazione ad un servizio pubblico meno capillare. Con riferimento ai risultati di Tabella 7-13, si chiarisce che i raggi di mobilità sotto i 3km includono prevalentemente gli spostamenti intracomunali ($r_{med} = 2.98\text{km}$), poiché gli scambi intercomunali sono caratterizzati da distanze maggiori ($r_{med} = 9.13\text{km}$).

Per gli spostamenti di scambio, infine, si assiste ad una diffusione molto ridotta della mobilità ciclo-pedonale, che potrebbe essere giustificata dall'inadeguatezza dei percorsi extraurbani ad accogliere queste categorie di utenza. Sul corto raggio, prevalente sugli scambi Torino – cintura ($r_{med} = 9.66\text{km}$), si osserva un grande ricorso al mezzo privato, seguito dal trasporto pubblico su gomma. Infine, per le medio/lunghe percorrenze, tipiche degli scambi tra l'area metropolitana di Torino e la provincia ($r_{med} = 22.45\text{km}$), prevale ancora la mobilità privata, seguita, in questo caso, dal trasporto ferroviario.

In definitiva, si è riusciti a ricostruire la ripartizione modale, stimata dai dati IMQ, con un buon grado di approssimazione, ed il risultato della distribuzione delle quote modali per classe di lunghezza appare ragionevole, in quanto, le maggiori differenze con i trend nazionali risultano giustificabili analizzando il contesto specifico dell'area di studio.

Nel seguente paragrafo viene spiegato come utilizzare questi risultati per l'elaborazione dei coefficienti di conversione, necessari per passare dai dati campionari, alla matrice degli spostamenti motorizzati.

7.2.4 Coefficienti di conversione globali

In questa fase, viene spiegato come sfruttare i risultati delle analisi precedenti, per convertire il dato grezzo degli spostamenti totali campionati da TIM, nel numero di veicoli motorizzati circolanti all'interno dell'area di studio.

Prima di procedere, occorre definire i parametri relativi al coefficiente di riempimento medio per le due tipologie di trasporto considerate in questo studio, ovvero, i veicoli privati ed i mezzi pubblici su gomma.

Per la stima del coefficiente di riempimento medio dell'auto privata, si possono sfruttare, ancora una volta, i dati IMQ, calcolando il valor medio del campo PAX_AUTO come mostrato in Formula 7-4.

Formula 7-4 Calcolo del coefficiente di riempimento medio per l'auto privata sulla base dei dati dell'indagine IMQ

$$coeff. \text{ riempimento medio} = \sum_i \left(\frac{PAX_AUTO_i}{TASSO_CAMP_i} \cdot 100 \right) / \sum_i \left(\frac{100}{TASSO_CAMP_i} \right)$$

Facendo presente che il numero di passeggeri per veicolo (PAX_AUTO) è valorizzato solo per gli spostamenti in auto compiuti dal guidatore, la formulazione sopraesposta può essere implementata su Excel, introducendo la Formula 7-5 in una qualunque cella del foglio *IMQ_spost*.

Formula 7-5 Implementazione su Excel del calcolo del coefficiente di riempimento medio per l'auto privata – foglio *IMQ_spost*

```
=SOMMA(FILTRO(100/$N$2:$N$105099*$I$2:$I$105099; $I$2:$I$105099>0 )) /  
SOMMA(FILTRO(100/$N$2:$N$105099; $I$2:$I$105099>0 ))
```

Da questa operazione, si determina un coefficiente di riempimento medio per l'auto privata pari ad 1.3, perfettamente in linea con il valore comunemente utilizzato per analisi di questo tipo.

Passando al mezzo pubblico, si ribadisce che il ricorso al coefficiente di riempimento medio costituisce un espediente poco rigoroso, messo in pratica per semplificare l'analisi. Per valutare il numero di autobus in circolazione, sarebbe, infatti, più appropriato modellare l'offerta di trasporto pubblica, sulla base della programmazione oraria e dei percorsi di ciascuna linea. In questo caso, il numero di mezzi pubblici circolanti sarà, invece, determinato indirettamente, sulla base dell'entità della domanda di trasporto e del numero di passeggeri mediamente trasportati da una singola vettura.

Ipotizzando adeguatamente un coefficiente di riempimento, specifico per un determinato orario di servizio, sarebbe possibile, nota la domanda di trasporto pubblico di quella fascia oraria, stimare con una buona approssimazione il numero di vetture in circolazione in quella data ora. Questo perché, diversamente da quanto accade per il mezzo privato, il riempimento dei mezzi pubblici varia molto in base all'orario.

Non avendo, tuttavia, a disposizione informazioni specifiche in materia, si fa ricorso al dato del 2019 mostrato in Figura 7-13, tratto dal "17° Rapporto sulla mobilità degli italiani" (ISFORT, 2020)⁵⁴, seppur non del tutto pertinente.

	2005	2017	2018*	2019**
Estensione rete (in km)	447	386	375	nd
Passeggeri (in milioni)	307	414	420	428
Passeggeri*km (in miliardi)	1,10	1,50	1,47	1,52
Offerta vetture*km (in migliaia)	36.490	28.359	27.786	27.233

* Stima
 * Dati non definitivi
 Fonte: Elaborazioni Isfort su dati del Conte Nazionale delle Infrastrutture e dei Trasporti 2018-2019

Figura 7-13 Il sistema delle tranvie urbane ed extraurbane

Dal rapporto Passeggeri*km / Offerta vetture*km si determina un coefficiente di riempimento pari a 56 passeggeri/vettura.

Chiaramente la capacità dei tram è generalmente superiore a quella degli autobus tradizionali e spesso le linee tranviarie servono le direttrici con maggior domanda di trasporto. In questo studio, tuttavia, tram ed autobus vengono considerati insieme (modalità di trasporto 06 in Tabella 7-16), inoltre la città di Torino dispone di una flotta di autobus snodati, con capacità paragonabili a quelle dei tram.

In definitiva, un coefficiente di riempimento pari 56 passeggeri/vettura può essere considerato accettabile in tale contesto, quantomeno se applicato alle fasce orarie di punta, in cui si assiste ad un maggior affollamento dei mezzi pubblici.

Considerando, tuttavia, che ogni vettura vede scendere e salire dei nuovi passeggeri ad ogni fermata, il calcolo dei passeggeri ora per vettura potrebbe fornire valori anche superiori alla capacità massima del veicolo. Per approssimare una stima forfettaria, si è, dunque, valutato il numero di autobus in circolazione durante la fascia oraria 07:00-09:00 sulla base degli intervalli medi dei passaggi delle linee urbane e suburbane, riportati sul documento *intervalli_sito.pdf* (Gruppo Torinese Trasporti S.p.A, 2022)⁵⁵.

Dividendo, quindi, il numero di utenti del mezzo pubblico totali stimati per l'area di Torino e cintura, ottenuto dalla somma dei quattro contributi tratti dalla Tabella 7-19 (358 538 + 6 142 + 126 762 + 39 233 = 530 676 passeggeri/h) per i 2700 veicoli/h, ottenuti dalla valutazione degli intervalli di passaggio sopraesposta, si ottiene un coefficiente di occupazione di 196.54 passeggeri/veicolo.

Il valore così ottenuto risulta 3.5 volte superiore rispetto al coefficiente di riempimento stimato in precedenza, tuttavia, anche adottando questo risultato, la stima dei veicoli motorizzati in circolazione sull'intera area di studio si ridurrebbe di appena 473 veicoli/h.

Si comprende che, quindi, il modello non risulta particolarmente sensibile alle variazioni del coefficiente di riempimento adottato per i mezzi pubblici, ragion per cui, si mantiene il valore scelto in precedenza (56 passeggeri/vettura)

A questo punto, note le quote modali per auto e trasporto pubblico, x_{auto_ij} e x_{TP_ij} , ed i coefficienti di riempimento f_{auto} ed f_{TP} , è possibile calcolare il coefficiente di conversione per ciascuna macroarea i e raggio di mobilità j , come mostrato in Formula 7-6.

⁵⁴ <https://www.isfort.it/wp-content/uploads/2020/12/RapportoMobilita2020.pdf>

⁵⁵ https://www.gtt.to.it/cms/risorse/urbana/intervalli_sito.pdf

Formula 7-6 Calcolo del coefficiente di conversione per ciascuna macroarea i e raggio di mobilità j

$$\text{coeff. di conversione}_{ij} = \frac{x_{\text{auto}_{ij}}}{f_{\text{auto}}} + \frac{x_{\text{TP}_{ij}}}{f_{\text{TP}}}$$

Questa operazione può essere eseguita completando il foglio *BackCalc*, illustrato in Tab. 4-19, introducendo le formule descritte in Tab. 4-20. Il risultato è mostrato in Tabella 7-21.

Tabella 7-21 Coefficienti di conversione degli spostamenti di ciascuna macroarea ripartiti per classi di lunghezza

	Torino			Cintura			Spost di scambio			TC --> R	TC --> IT
	3	10	>10	3	10	>10	3	10	>10	*	*
Coeff. di conversione	0.074	0.422	0.571	0.000	0.713	0.709	0.701	0.581	0.609	0.478	0.600

Tali risultati possono essere impiegati, infine, per convertire il totale degli spostamenti campionati nel numero di veicoli motorizzati in circolazione, completando il foglio *TIM*, mostrato in Tab. 4-3, con la seconda parte di formule riportate in Tab. 4-4.

7.3. Individuazione dell'orario di punta

Per procedere con la definizione della matrice oraria dei flussi veicolari, rimane ancora da approfondire la distribuzione oraria degli spostamenti, al fine di individuare l'orario di punta del traffico.

Si possiedono già tutti i dati necessari per diagrammare l'andamento registrato dal campione TIM relativo al giorno 13/02/2019, ma manca un termine di confronto che aiuti a comprendere se la distribuzione oraria è compatibile con le reali dinamiche di spostamento.

A tal proposito, si è deciso di introdurre nell'analisi dell'orario, i dati di flussi di traffico relativi al giorno 13/02/2019, misurati dalle stazioni del sistema di controllo del traffico UTC e dai sensori aerei urbani di tipo ad ultrasuoni e radar, forniti dalla società 5T s.r.l.. Nello specifico, le informazioni utilizzate in questa fase, mostrate in Tab. 4-21, sono state prelevate dai file *comark-2019.csv* ed *utc-2019-02.csv*, contenuti nell'archivio *5T-dati traffico 2019.zip* (Team Analisi e Modelli Dati 5T, 2019)⁵⁶

Il contenuto del dataset fornito da 5T verrà illustrato nel dettaglio nel corso del capitolo successivo, dove verrà impiegato per il processo di validazione finale dei risultati. In questa sezione, verranno impiegati esclusivamente i campi "data_ora" e "flusso_orario", che non necessitano di particolari precisazioni.

Si procede, dunque, con la ripartizione per fasce orarie dei dati totali, ovvero sia, degli spostamenti appartenenti al campione TIM, dei veicoli circolanti desunti dalle elaborazioni sui dati TIM e dei flussi veicolari misurati da 5T.

Dal dataset TIM vengono estratti esclusivamente gli spostamenti con origine o destinazione all'interno della città di Torino, per garantire una maggior coerenza con il dato 5T. Vista, inoltre, la differente natura delle grandezze sottoposte al processo comparativo, un confronto tra i valori assoluti risulterebbe insensato e la distribuzione oraria viene, dunque, espressa in termini percentuali.

⁵⁶ Dataset fornito su richiesta espressa tramite e-mail all'indirizzo info@5t.torino.it, soggetto al vincolo di utilizzo esclusivo finalizzato alla corrente trattazione.

Determinazione della matrice oraria relativa alla mobilità motorizzata

Questa operazione viene eseguita sul foglio *Orari*, strutturato come in Tab. 4-22 e compilato con le formule esposte in Tab. 4-23.

Il risultato grafico delle tre distribuzioni, così ottenute, è mostrato in Figura 7-14, Figura 7-15 e Figura 7-16.

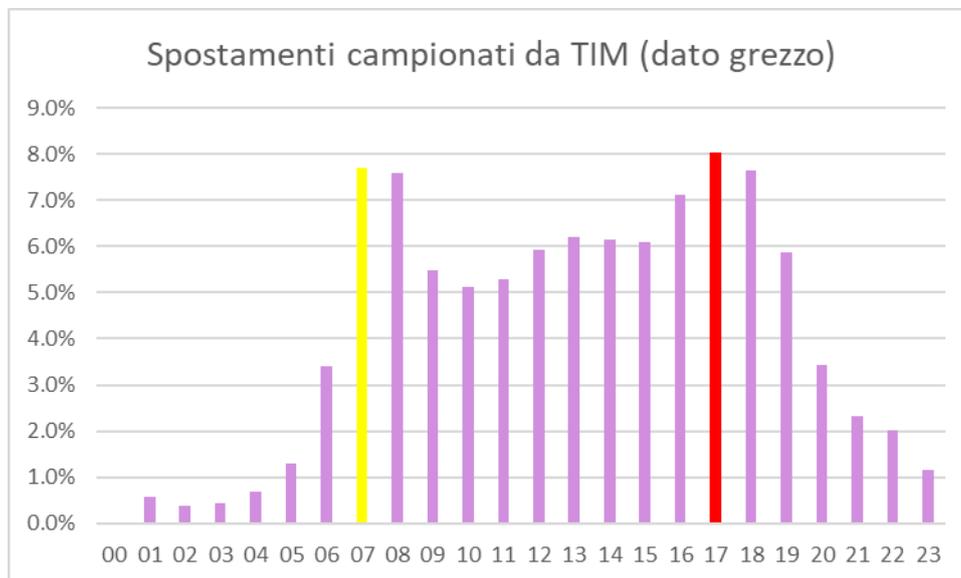


Figura 7-14 distribuzione oraria degli spostamenti campionati da TIM (data: 13/02/2019)

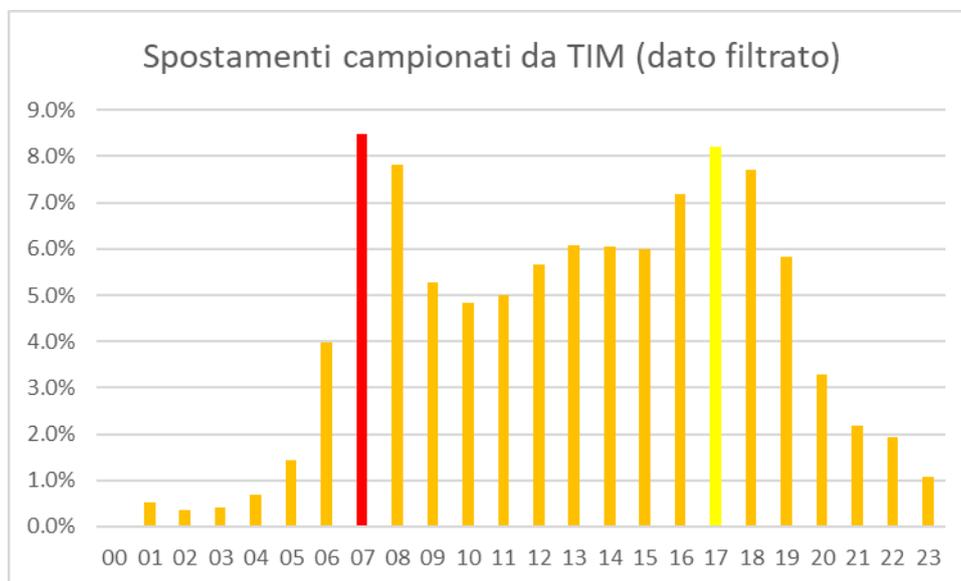


Figura 7-15 distribuzione oraria dei veicoli circolanti desunti dalle elaborazioni sui dati TIM (data: 13/02/2019)

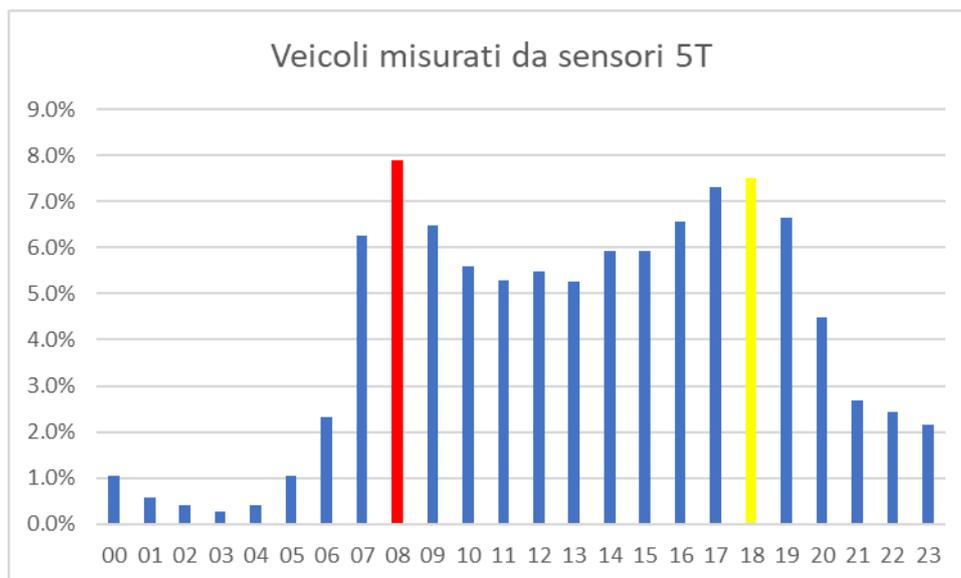


Figura 7-16 distribuzione oraria dei flussi veicolari misurati da 5T (data: 13/02/2019)

Sui tre diagrammi sopraesposti, vengono evidenziati in rosso il picco massimo, ed in giallo il secondo picco raggiunto nel corso della giornata.

Comparando i primi due diagrammi, Figura 7-14 e Figura 7-15, si osserva un trend molto simile, ma il primo ed il secondo picco appaiono scambiati. Probabilmente il dato grezzo relativo alle ore 17:00 comprende un numero maggiore di spostamenti ciclo-pedonali o su ferro, che sono stati filtrati in seguito all'applicazione dei coefficienti di conversione, ribaltando la situazione. Si fa notare, inoltre, che non sono presenti dati relativi alla mezzanotte.

Passando al confronto tra il dato TIM filtrato ed i flussi misurati da 5T, Figura 7-15 e Figura 7-16, si osservano due andamenti globalmente sovrapponibili ma con un'evidente anomalia: concentrando l'attenzione sui due picchi massimi e sul valore minimo, il dato TIM appare come traslato indietro di un'ora rispetto ai valori 5T.

Sorge, quindi, il dubbio che il dato TIM possa essere riferito ad un orario differente da quello espresso da 5T.

Partendo dal presupposto che 5T è una società prettamente italiana, mentre TIM ed Olivetti operano anche in ambito internazionale, è certo che nel primo caso sia stato utilizzato l'orario locale UTC+1, mentre è probabile che nel secondo sia stato adottato un orario universale come l'UTC+0, convenzione, peraltro, adottata per molti processi informatici. Questo spiegherebbe l'individuazione dei picchi di traffico con un anticipo di un'ora ma, tuttavia, non si è riusciti a verificare questa ipotesi.

In definitiva, si è scelto di generare la matrice della mobilità motorizzata associata all'ora di picco individuata sul dato TIM, ovvero le 07:00, e di posticipare la questione del fuso orario alla fase di validazione dei flussi di traffico stimati, proponendo un confronto con entrambe le alternative possibili.

7.4. Definizione della matrice dei flussi orari

Giunti a questo punto, si è riusciti ad isolare gli spostamenti motorizzati responsabili del traffico che grava sull'area di studio ed è stato selezionato l'orario d'analisi. Si può, quindi, terminare l'analisi generando la matrice oraria relativa alla mobilità motorizzata, che, nel corso del capitolo seguente, verrà assegnata al grafo stradale per stimare i flussi veicolari dell'area di studio.

Quest'ultima operazione viene eseguita generando un nuovo foglio di calcolo denominato *Matr_TIM*, strutturato come in Tab. 4-24 e compilato attraverso la formula espressa in Tab. 4-25.

I risultati tratti dalla Tab. 4-24 vengono proposti in forma aggregata per macroarea di origine/destinazione nella seguente Tabella 7-22.

Tabella 7-22 Matrice oraria relativa alla mobilità motorizzata (totali aggregati per macroarea per le ore 07:00 secondo TIM)

O/D	Comune di Torino	Cintura di Torino	Città Metropolitana	Regione Piemonte	Altre regioni	TOT
Comune di Torino	33 440	17 281	3 380	822	1 262	56 185
Cintura di Torino	27 617	33 406	9 680	1 011	396	72 110
Città Metropolitana	9 792	15 001	0	0	0	24 793
Regione Piemonte	0	0	0	0	0	0
Altre regioni	0	0	0	0	0	0
TOT	70 849	65 688	13 060	1 833	1 658	153 088

In conclusione, si fa presente che dei 5 007 852 spostamenti campionati da TIM per l'intera giornata del 13/02/2019, 3 978 860 hanno origine e/o destinazione all'interno dell'area metropolitana di Torino, di cui 3 003 243 sono effettuati con un mezzo motorizzato circolante su strada, utilizzando, sulla base dei coefficienti di riempimento stimati, 1 862 392 veicoli distinti.

Conteggiando, invece, il dato orario delle 07:00, si hanno 381 848 spostamenti, di cui 305 148 con origine e/o destinazione all'interno dell'area di studio effettuati con 153 088 veicoli motorizzati circolanti su strada.

Applicando le quote modali per individuare e rimuovere gli spostamenti ciclo-pedonali o su ferro, e convertendo gli spostamenti residui in veicoli, attraverso i relativi coefficienti di riempimento, il dato giornaliero è stato, dunque, ridotto al 46.8% del totale, mentre quello orario è sceso al 50.2%.

8. Stima dei flussi e validazione dei risultati

Come spiegato nell'incipit del precedente capitolo 7, i dati cellulari "DestinationData", tratti dal dataset "TIM – City Forecast", non forniscono direttamente i flussi veicolari ma, tuttalpiù, la matrice O/D degli spostamenti interzonal complessivi. I "DestinationData", dunque, sono stati filtrati attraverso dei criteri basati sulla ripartizione modale e sul raggio di mobilità, elaborati sulla base dei dati IMQ con il supporto delle nozioni espresse nei rapporti ISFORT sulla mobilità degli italiani, per ottenere, innanzitutto, la matrice O/D oraria relativa alla sola mobilità veicolare.

A partire da questo risultato i flussi possono, quindi, essere stimati indirettamente, sfruttando il processo di assegnazione all'equilibrio di tipo deterministico (DUE) basato sulla funzione di costo BPR, che, come verrà mostrato nel paragrafo 8.1.2, potrà essere implementato su OmniTRANS, introducendo le istruzioni necessarie.

Le stime verranno, successivamente, confrontate con i dati provenienti da altre fonti, quali le misure del traffico orario fornite dalla società 5T s.r.l ed il traffico giornaliero medio (TGM) estratto dal grafo BDTRE, al fine di valutare la bontà dei risultati. Si anticipa che i flussi orari 5T costituiranno il termine di confronto più significativo, per via della maggior accuratezza e compatibilità, ma il raffronto sarà limitato ai pochi archi dotati di sensori di traffico. Viceversa, il TGM, desunto dal grafo BDTRE, è disponibile per l'intera rete selezionata ma, per legittimare il paragone con i valori stimati, dovrà essere, preventivamente, convertito nel dato orario, introducendo un ulteriore grado di approssimazione a quelli intrinseci al parametro stesso.

L'errore nelle stime che verrà riscontrato, comprenderà tutte le incertezze insite nei dati di domanda forniti, le approssimazioni introdotte sul modello di offerta infrastrutturale e le semplificazioni adottate per l'assegnazione dei flussi al grafo. Il processo di validazione fornirà, dunque, uno strumento per comprendere come intervenire su ciascuno di questi aspetti al fine di incrementare la bontà dei risultati raggiunti.

8.1. Assegnazione dei flussi al grafo

In questa fase viene eseguita l'assegnazione della matrice O/D oraria relativa alla mobilità motorizzata, ricavata nel corso del capitolo 7, al grafo stradale di riferimento, ottenuto come illustrato nel capitolo 5.

Come anticipato nell'introduzione del corrente capitolo, l'assegnazione viene eseguita con l'ausilio del software OmniTRANS, che, per portare a termine l'operazione, deve possedere tutte le geometrie e gli attributi relativi a centroidi, zone, nodi ed archi. A tal proposito, si ricorda che il progetto OmniTRANS è già stato inizializzato e predisposto con tutte le informazioni necessarie, inerenti al grafo ed alla zonizzazione, come descritto nel paragrafo 7.1.1.

Nei seguenti paragrafi, dunque, viene mostrato esclusivamente come eseguire l'importazione della matrice O/D ed effettuare la successiva assegnazione.

8.1.1 Importazione della matrice O/D oraria relativa alla mobilità motorizzata

Avendo già inizializzato il progetto, come descritto nel paragrafo 7.1.1, l'importazione della matrice O/D su OmniTRANS risulta piuttosto agevole, e può essere eseguita come descritto nei passaggi seguenti:

1. Occorre, innanzitutto, aprire lo strumento di gestione delle matrici, cliccando sul bottone "Matrix Cube Manager" () posto nella barra superiore degli strumenti, così da visualizzare la finestra mostrata in Figura 8-1.

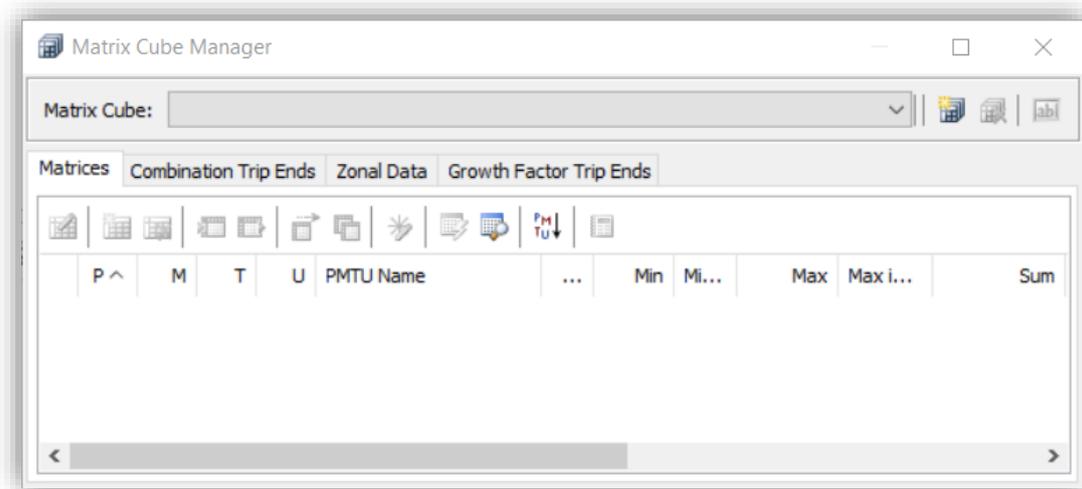


Figura 8-1 Finestra dello strumento Matrix Cube Manager

2. Successivamente, si seleziona "Add Matrix Cube" (), agendo sul bottone posto in alto a destra della finestra, per poi introdurre il nome della matrice, come illustrato in Figura 8-2.

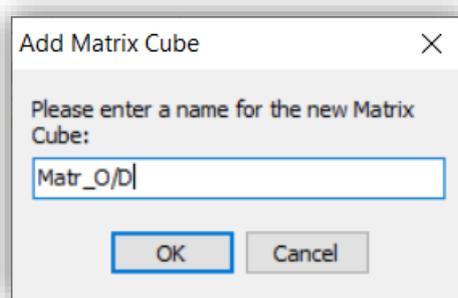


Figura 8-2 Finestra Add Matrix Cube

3. Dopo aver inserito il nome della matrice, si devono definire i parametri Purpose, Mode, Time ed User, cliccando sul pulsante "Add new matrix to this Matrix Cube" () posto sulla sinistra della finestra, ed introducendo i valori desiderati, come mostrato in Figura 8-3.

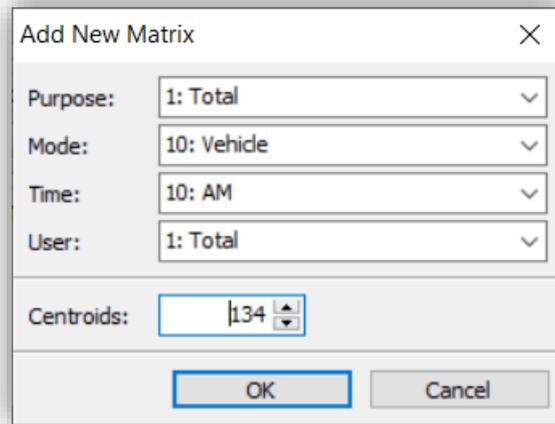


Figura 8-3 Finestra Add New Matrix

4. In seguito, è possibile visualizzare la matrice generata, selezionando il pulsante “Edit the matrix” (📊) posizionato a sinistra del “Matrix Cube Manager”, così da aprire la finestra mostrata in Figura 8-4.

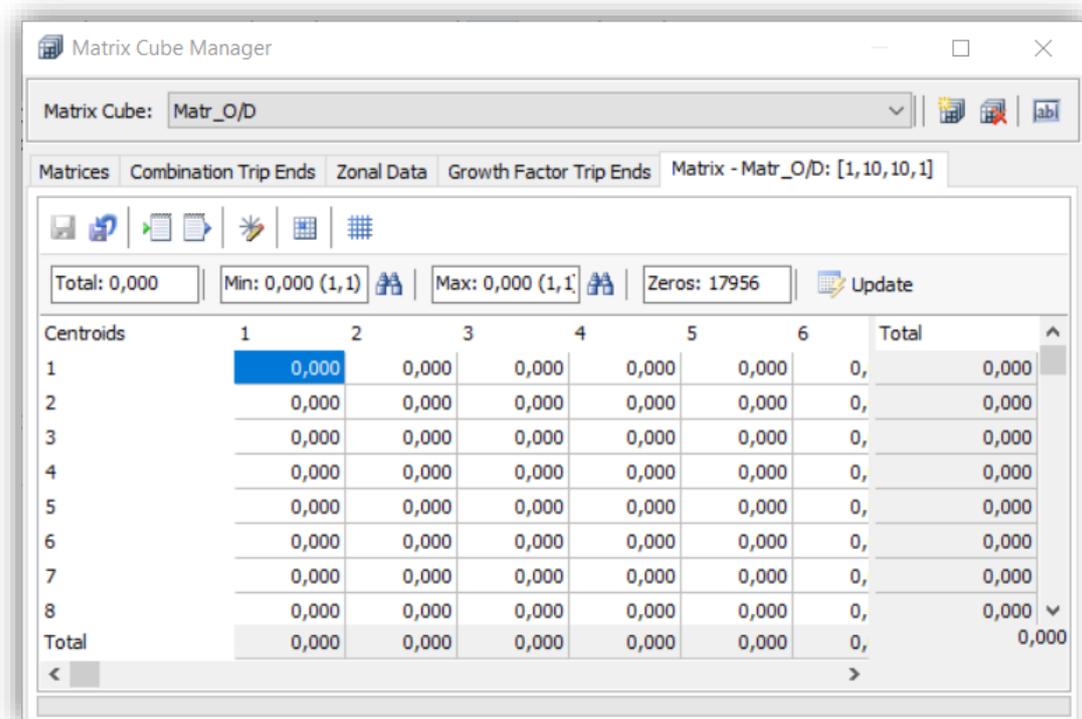


Figura 8-4 Visualizzazione della matrice “Matr_O/D” generata

5. Infine, si copiano i dati della matrice contenuta sul foglio di calcolo denominato *Matr_TIM* del file *Matr_Mob_Motorizzata.xlsx*, generata nel corso del capitolo 7 e strutturata come in Tab. 4-24, all’interno della tabella riportata in Figura 8-4. Così facendo la “Matrix Cube” viene compilata con i dati necessari, ottenendo l’output mostrato in Figura 8-5.

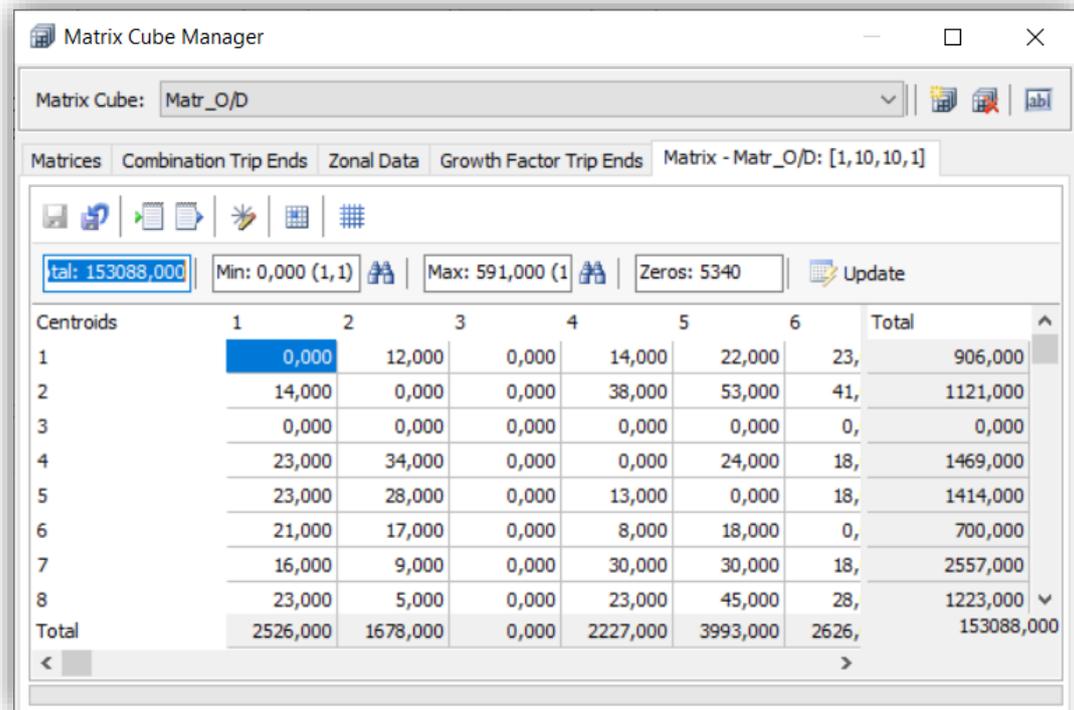


Figura 8-5 Visualizzazione della matrice "Matr_O/D" compilata con i dati necessari

Eseguendo i passaggi sovraesposti, la matrice O/D oraria relativa alla mobilità motorizzata viene correttamente inserita all'interno del progetto OmniTRANS.

Nella sezione seguente viene illustrato come procedere con la fase di assegnazione della matrice appena introdotta agli archi del grafo di riferimento.

8.1.2 Assegnazione Deterministic User Equilibrium

La procedura di assegnazione dei flussi può essere eseguita seguendo modelli differenti, tra cui i così detti "All or Nothing" (AoN) o il "Deterministic User Equilibrium" (DUE).

La prima soluzione, il modello AoN, consiste nell'assegnare i flussi al percorso dal minor costo, senza però tener conto dell'effettiva capacità degli archi e del conseguente fenomeno di congestionamento. Il risultato così ottenuto risulterebbe, tuttavia, poco realistico e produrrebbe una forte concentrazione dei flussi su pochi archi caratterizzati da un forte tasso di saturazione.

L'approccio DUE, invece, sopperisce alle lacune del modello AoN tenendo conto delle capacità degli archi e del congestionamento, attraverso una procedura iterativa finalizzata alla ricerca dell'equilibrio della rete (equilibrio di Wardrop). In questo caso l'impedenza degli archi aumenta con l'aumentare del traffico ed i flussi vengono assegnati di volta in volta al percorso dal minor costo sino al raggiungimento dell'equilibrio. Il limite di questo metodo è dovuto alle assunzioni sul comportamento degli utenti, che vengono ritenuti capaci di intraprendere esclusivamente i percorsi caratterizzati dal minor costo generalizzato, come se fossero costantemente informati sull'esatto stato della rete. Quest'ipotesi di comportamento, benché possa sembrare azzardata, si avvicina sempre più alla realtà, grazie alla crescente diffusione dei navigatori, in grado di prevedere le condizioni del traffico con un buon grado di approssimazione.

A tal proposito, sono disponibili anche dei modelli di assegnazione di tipo stocastico (SUE), in cui il comportamento dell'utente, non abituale, disinformato sulla viabilità e caratterizzato da una percezione soggettiva dei costi, viene preso in considerazione introducendo un certo grado di aleatorietà.

In questa trattazione si è scelto, tuttavia, di considerare il modello di assegnazione all'equilibrio di tipo deterministico DUE, poiché, sulla base delle informazioni disponibili, risulta quello potenzialmente più verosimile, trascurando i comportamenti meno prevedibili.

Per quanto riguarda la valutazione dell'impedenza degli archi, necessaria per l'attuazione del processo di assegnazione all'equilibrio, si fa ricorso alla funzione di costo BPR, sviluppata dall'ente statunitense Bureau of Public Roads nel 1964. Tale formulazione, in quanto derivata dalla teoria del deflusso ininterrotto, risulta maggiormente adatta ai percorsi extraurbani o autostradali, dove il numero ridotto di intersezioni non produce ritardi significativi sui tempi di percorrenza.

Considerando, comunque, che il costo valutato attraverso la BPR serve esclusivamente come discriminante per la scelta dei percorsi con la minore impedenza, l'applicazione di tale formulazione in ambito urbano non dovrebbe produrre risultati sensibilmente distorti. Osservando il contesto d'analisi si può constatare la presenza di numerose intersezioni semaforizzate, per le quali i tempi di ciclo sono generalmente tarati proprio sul traffico atteso e, quindi, sulla capacità stessa delle corsie. Si può, dunque, ipotizzare che la presenza di intersezioni, lungo la rete urbana, produca un ritardo sui tempi di percorrenza degli archi inversamente proporzionale alla loro capacità, che, quindi, non dovrebbe incidere sulla scelta del percorso. In altre parole, nel caso del flusso ininterrotto, verrebbero favoriti i percorsi dalla maggior capacità dove, considerando anche i rallentamenti prodotti dalla presenza delle intersezioni, il ritardo risulterebbe più contenuto, senza, dunque, compromettere il risultato.

Ad ogni modo, la BPR risulta la formulazione più diffusa nella pratica comune, poiché, come spesso accade, i parametri necessari per l'applicazione di funzioni di costo più adatte ai contesti urbani, quali il numero di intersezioni per chilometro ed i tempi di ciclo, risultano difficilmente reperibili, tantopiù se l'analisi è estesa ad una rete complessa.

Nello specifico, la funzione BPR, esplicitata secondo la Formula 8-1, fornisce tempo di percorrenza di ciascun arco, inteso come costo generalizzato, in relazione al flusso ed alle proprietà dell'arco stesso.

Formula 8-1 Funzione di costo BPR - Bureau of Public Roads, 1964

$$T = T_0 \cdot [1 + \alpha \cdot (V/Q)^\beta]$$

I parametri presenti in Formula 8-1 assumono il seguente significato:

- T = tempo di percorrenza dell'arco, inteso come costo generalizzato;
- T_0 = tempo di percorrenza in condizioni di flusso libero;
- V = volume di traffico sull'arco, dipendente dalla matrice O/D e dal modello di assegnazione;
- Q = capacità dell'arco;
- α, β = coefficienti di calibrazione.

Come spiegato sul manuale di OmniTRANS stesso, è possibile intervenire sui coefficienti di calibrazione α e β per adattare la funzione anche a contesti differenti:

- con un coefficiente $\alpha = 0.5$ la funzione descrive meglio le strade extraurbane principali, dove il ritardo diventa significativo quando la capacità dell'arco raggiunge la saturazione;
- adottando $\alpha = 2$, invece, la funzione risulta più rappresentativa per le strade urbane di quartiere, dove rallentamenti significativi vengono riscontrati ben prima del raggiungimento della capacità dell'arco;

- sulla base di sperimentazioni pregresse, si suggerisce, infine, l'applicazione del coefficiente $\beta = 4$.

È possibile cogliere queste differenze osservando l'andamento della curva mostrata in Figura 8-6.

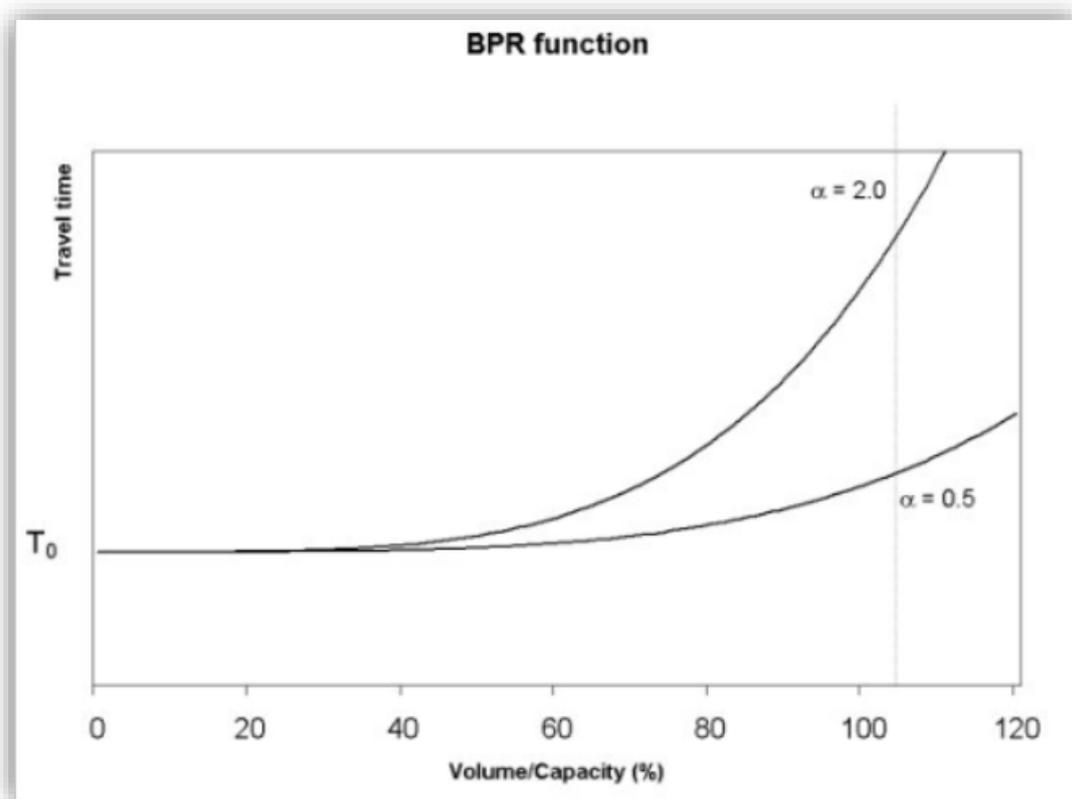


Figura 8-6 Andamento della funzione BPR al variare del coefficiente α (diagramma tratto dal manuale OmniTRANS)

Il software OminiTRANS è predisposto per l'applicazione di un set di coefficienti di calibrazione differenziato in base alla tipologia di arco. Nella corrente trattazione la tipologia degli archi è espressa dalla classificazione funzionale, precedentemente ricavata dal grafo BDTRE, per la quale si è stabilita l'adozione dei coefficienti mostrati in Tabella 8-1.

Tabella 8-1 Coefficienti di calibrazione adottati per le differenti tipologie di arco

Link Type number	Classe funzionale	Descrizione	α	β
2	A	autostrada	0.5	4.0
3	B	strada extraurbana principale	0.8	
4	C	strada extraurbana secondaria	1	
5	D	strada urbana di scorrimento	1.5	
6	E	strada urbana di quartiere	1.5	
7	F	strada locale	2	

L'errore commesso nell'applicare la funzione BPR, valida per la teoria del deflusso ininterrotto, anche ai contesti urbani, viene colmato, in parte, considerando un maggior ritardo sui tempi di percorrenza degli archi classificati come strade urbane, attraverso l'attribuzione di un coefficiente α più grande. Il set di coefficienti mostrati in Tabella 8-1 è stato scelto in seguito ad una serie di assegnazioni di prova, dalle quali, tuttavia, non si sono riscontrate differenze particolarmente spiccate sui risultati finali.

In definitiva, la procedura di assegnazione DUE, condotta attraverso la funzione di costo BPR, adottando i coefficienti di calibrazione scelti per ciascuna categoria, può essere implementata su OmniTRANS eseguendo le istruzioni contenute nel “job” illustrato in Figura 8-7.

```
writeln "Inizio assegnazione DUE"

# create a new instance of the OtTraffic class
my_traffic_assignment = OtTraffic.new

# Single class: my_traffic_assignment.load = [p,m,t,u,r,i]
my_traffic_assignment.load = [1,10,10,1,6,1]

# Single class: my_traffic_assignment.network = [my_mode,my_time]
my_traffic_assignment.network = [10,10]

# To perform an equilibrium assignment
my_traffic_assignment.assignMethod = USEREQUILIBRIUM

# This property specifies the maximum number of iterations to be done for iterative assignments.
# Note that if convergence is detected (see OtTraffic.epsilon) before this value is reached the process will
terminate.
my_traffic_assignment.iterations = 300

# This property specifies the convergence criterion on which a volume-averaging assignment should
terminate.
# Default = 0.05
my_traffic_assignment.epsilon = 0.0005

# This property specifies a set of BPR function parameters (alpha and beta) to be used for defining the travel
time function for a specific Link Type or set of Link Types.
# my_traffic_assignment.bprPerType = [[[LinkTypeNr_1..LinkTypeNr_n], [alpha,beta]]]
my_traffic_assignment.bprPerType = [[2, [0.5,4]], [3, [0.8,4]], [4, [1,4]], [5, [1.5,4]], [6, [1.5,4]], [7, [2,4]]]

my_traffic_assignment.execute

writeln "Fine assegnazione"
```

Figura 8-7 “job” per l’implementazione dell’assegnazione DUE utilizzando la funzione di costo BPR

A questo punto, i risultati dell’assegnazione possono essere esportati come shapefile scegliendo l’oggetto “Links” dall’apposito “Shapefile Export Wizard”.

Il file *links.shp*, così ottenuto, viene importato su Q-GIS e salvato come vettore *OT_DUE.shp*.

Agendo sullo stile del vettore *OT_DUE*, si ottiene la rappresentazione dell’indice di saturazione, Figura 8-8, espresso dal rapporto Q/C tra flussi e capacità di ciascun arco, ed una valutazione dell’efficacia di collegamento ai centroidi, Figura 8-9, basata sull’effettivo utilizzo degli archi fittizi.

Osservando nel dettaglio la Figura 8-9, si individuano 39 archi fittizi non utilizzati, suddivisi come segue:

- 12 sono archi fittizi interni all’area di studio, di cui 7 sono riferiti alle 3 zone evidenziate in giallo, per le quali il dataset TIM non fornisce alcuno spostamento né in ingresso né in uscita;
- 11 sono collegamenti con il resto della provincia, di cui solo 2 relativi a segmenti autostradali. È possibile che, non avendo contemplato i pedaggi, il modello d’assegnazione adottato, penalizzi eccessivamente i percorsi alternativi a quelli autostradali;
- 16 sono collegamenti con l’esterno della Città Metropolitana, di cui 13 diretti in ingresso, per i quali l’inutilizzo è spiegato dall’assenza dei flussi entranti in provincia, non riportati sul dataset TIM fornito.

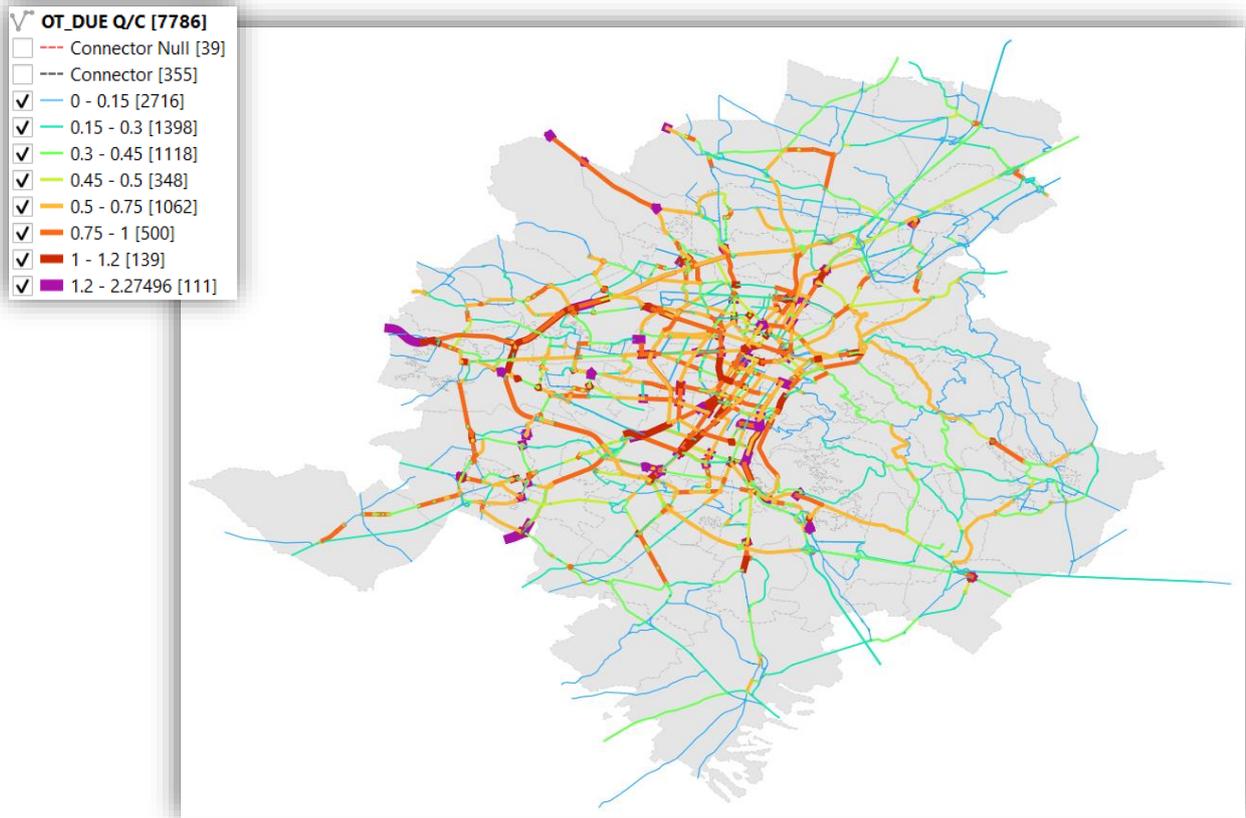


Figura 8-8 Indice di saturazione ottenuto dall'assegnazione dei flussi agli archi del grafo

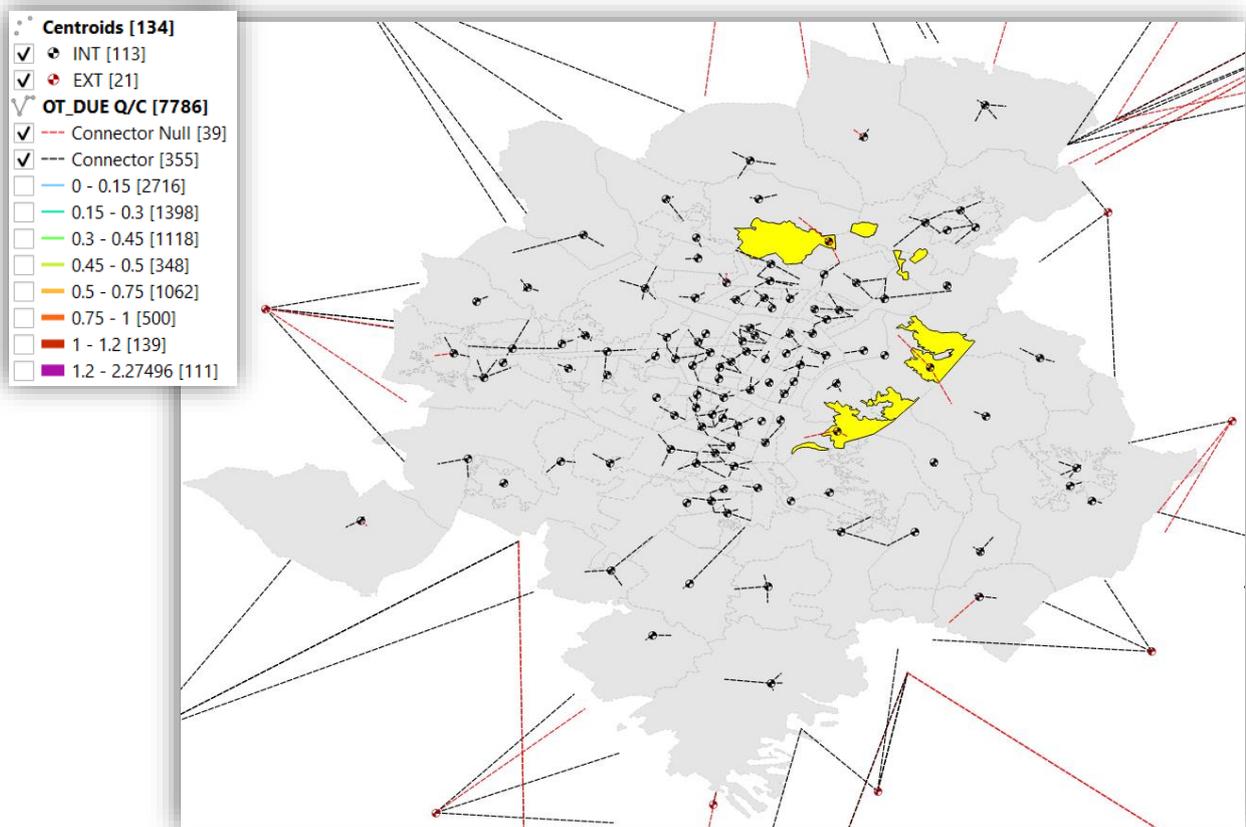


Figura 8-9 Valutazione dell'efficacia degli archi fittizi

Occorre, infine, copiare i dati necessari per condurre le successive fasi di validazione, ovvero i campi LINKNR, LOADAB, LOADBA, ROADTYPEAB e ROADTYPEBA, dal file *links.dbf* al foglio *Links_Flow*, mostrato in Tab. 5-1, appartenente alla cartella di lavoro *ValidazioneRisultati.xlsx*.

Nel paragrafo seguente viene illustrato come ottenere una rappresentazione grafica efficace per l'interpretazione dei risultati dell'assegnazione.

8.1.3 Rappresentazione del traffico stimato

I flussi veicolari ottenuti dell'assegnazione, condotta sulla base delle assunzioni e dei modelli descritti nella sezione precedente, possono essere diagrammati, a questo punto, sul grafo stradale, così da fornire una prima valutazione qualitativa dei risultati.

Per ottenere una rappresentazione efficace del congestionamento riscontrato, è necessario, innanzitutto, selezionare "Bandwidth Settings" () , presente nella barra degli strumenti, per aprire la finestra mostrata in Figura 8-10.

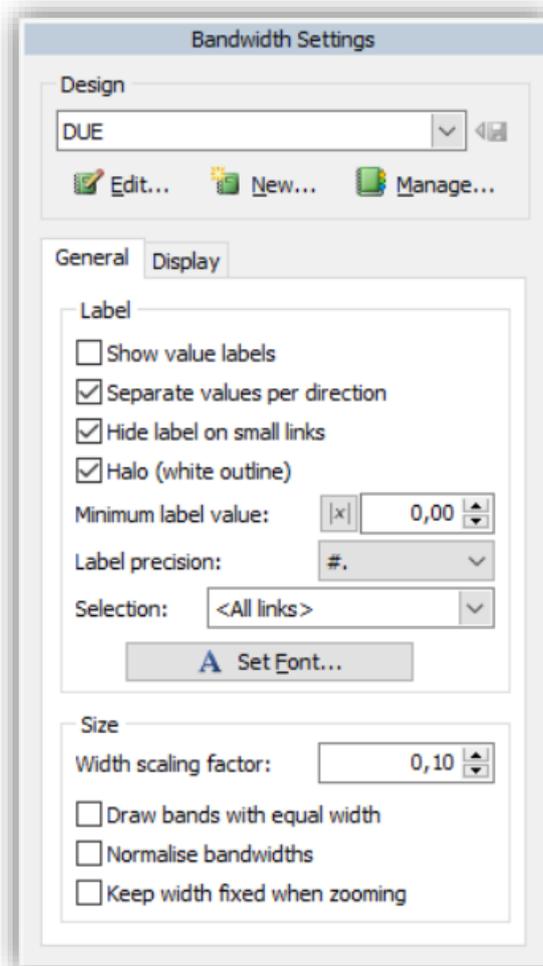


Figura 8-10 Finestra Bandwidth Settings

Occorre generare, successivamente, un nuovo design cliccando sul bottone "New" () , posto all'interno della finestra "Bandwidth Settings", così da attribuire un nome allo stile di visualizzazione che si vuole definire, come mostrato in Figura 8-11.

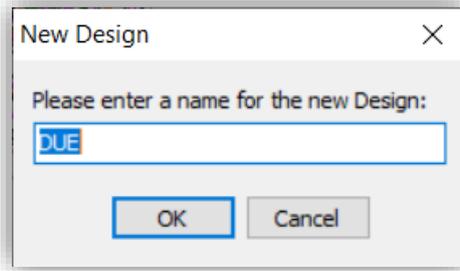


Figura 8-11 Finestra New Design

Una volta confermato il nome, verrà automaticamente aperta la finestra “Bandwidth Designer” sulla scheda “Data”, nella quale si suggerisce di introdurre i settaggi mostrati in Figura 8-12.

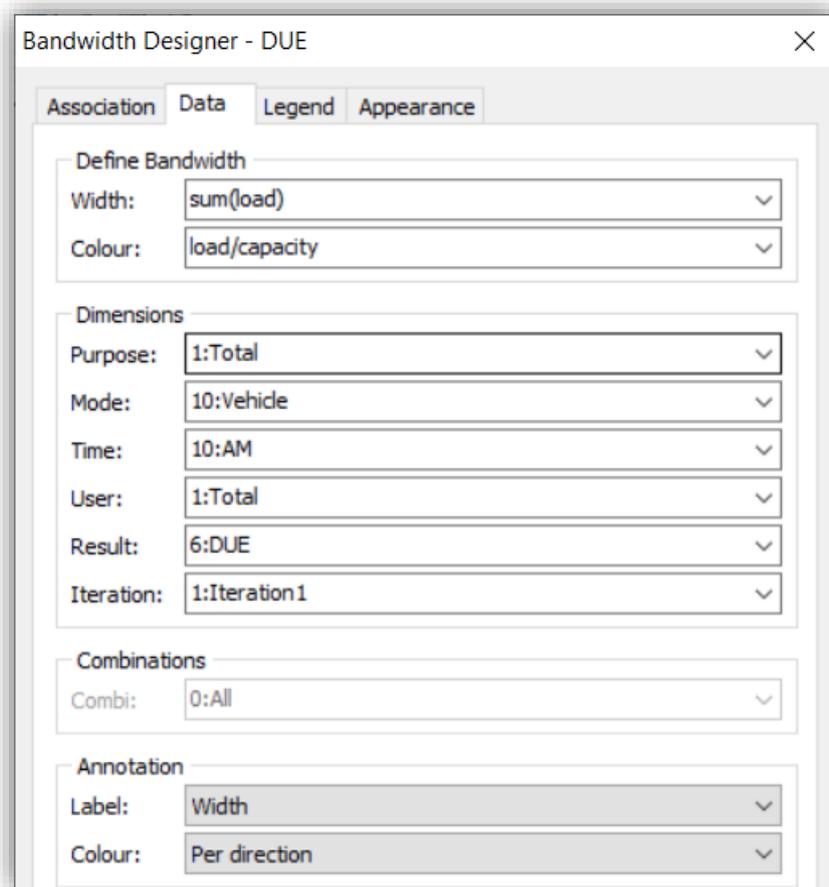


Figura 8-12 Finestra Bandwidth Designer - scheda Data

Con le impostazioni riportate in Figura 8-12, gli archi verranno raffigurati con una larghezza proporzionale al volume di traffico assegnato e con una colorazione differenziata in base al tasso di saturazione, espresso tramite il rapporto tra flusso e capacità dell’arco stesso.

Poiché il risultato del rapporto “load/capacity” rappresenta una variabile continua, appartenente al dominio dei numeri razionali, occorre, infine, definire degli intervalli, introducendo nella scheda “Legend” il limite superiore di ogni classe di saturazione, come riportato in Figura 8-13.

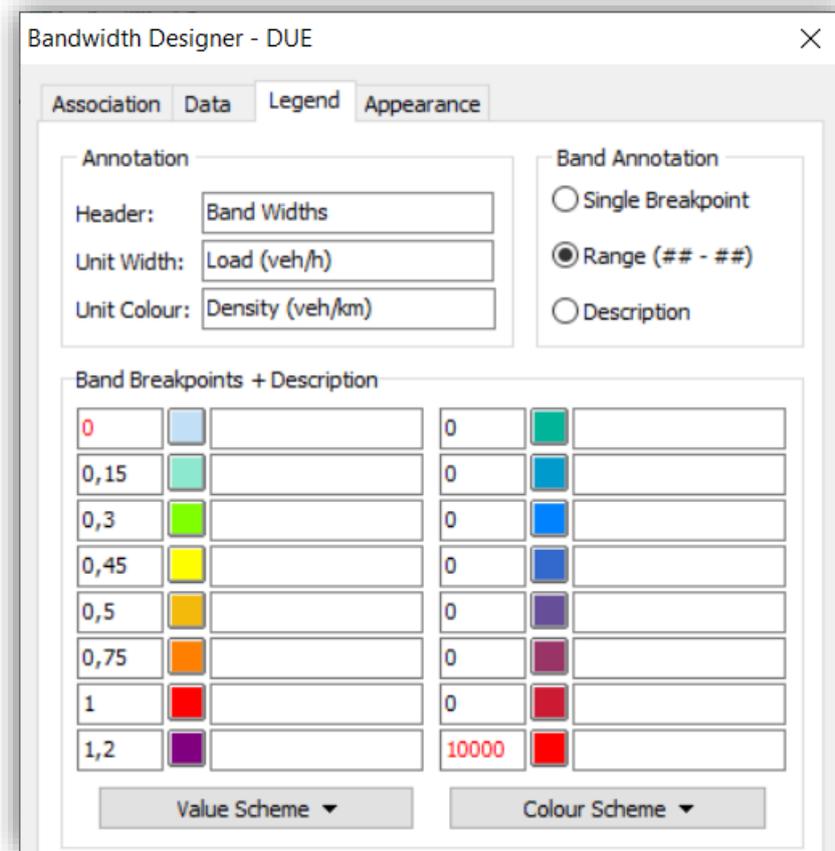


Figura 8-13 Finestra Bandwidth Designer - scheda Legend

Applicando le sopracitate impostazioni, si ottiene una rappresentazione simile ad un diagramma a fiume, all'interno del quale l'ampiezza degli archi risulta proporzionale all'entità del flusso assegnato, così da conferire una maggior visibilità ai percorsi più frequentati. Attribuendo una colorazione differenziata sulla base del livello di saturazione, si agevola, invece, l'individuazione degli archi soggetti a maggior congestionamento, che non dipende esclusivamente dal volume di traffico, ma anche dalle caratteristiche funzionali della singola sezione stradale.

Con questo tipo di rappresentazione sarà possibile proporre un confronto qualitativo relativamente immediato, con le stime di traffico fornite dalla piattaforma Google Maps, come verrà illustrato nel paragrafo 8.2.

Nelle seguenti Figura 8-14, Figura 8-15 e Figura 8-16, si riportano rispettivamente una rappresentazione globale dell'intera rete, una seconda vista centrata sul sistema tangenziale di Torino ed un focus ristretto alla sola area urbana del comune.

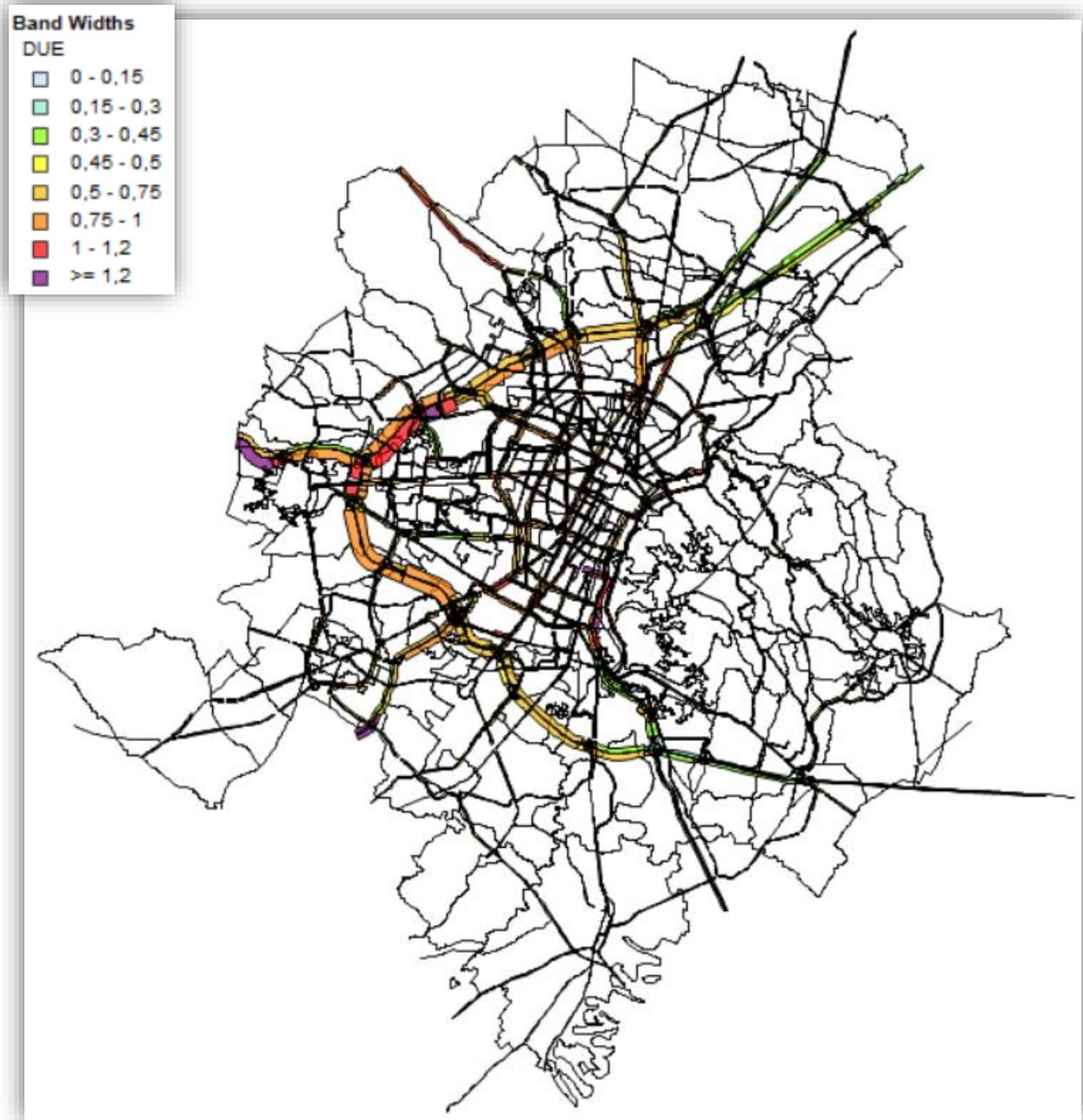


Figura 8-14 Vista globale della rete stradale relativa all'area di studio di Torino e cintura

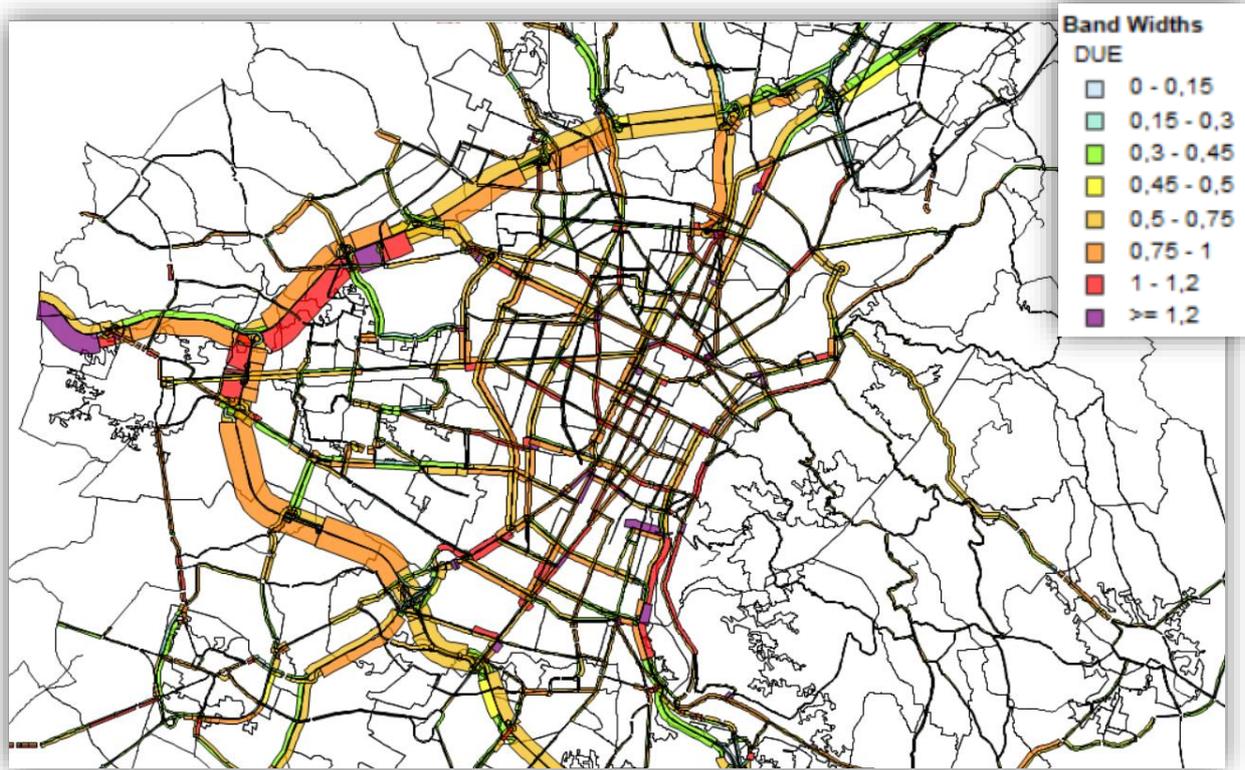


Figura 8-15 Vista centrata sul sistema tangenziale di Torino (A55)

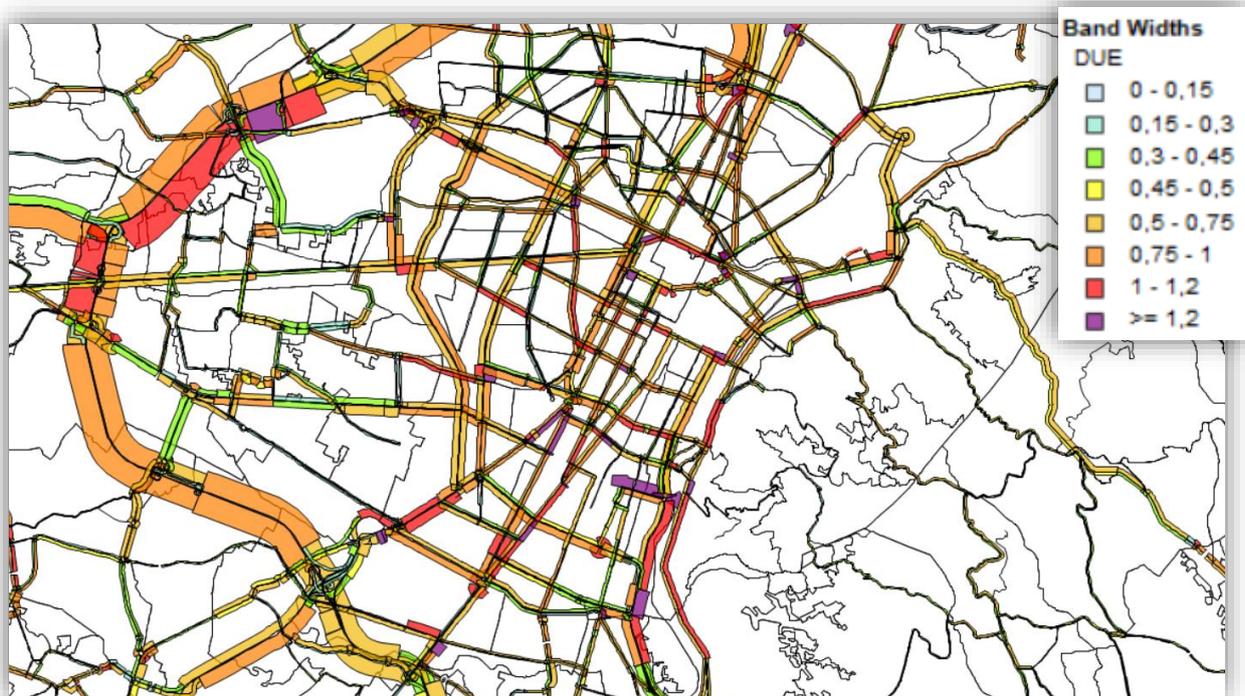


Figura 8-16 Vista di dettaglio dell'area urbana del comune di Torino

8.2. Confronto qualitativo tra flussi stimati e “Typical traffic” tratto da Google Maps

In questa sezione si propone un confronto qualitativo tra i risultati grafici ottenuti nel precedente paragrafo 8.1.3, con le informazioni sul traffico tratte da Google Maps. Questo paragone, tuttavia, non è da intendersi come una vera e propria procedura di validazione dei risultati prodotti, ma, tutt'al più, come strumento preliminare per l'individuazione di errori di stima particolarmente grossolani, attribuibili ad una modellazione imperfetta dell'offerta infrastrutturale o alle semplificazioni adottate in fase di assegnazione dei flussi.

Si tenga presente che, per quanto la rappresentazione del traffico possa risultare somigliante, sussistono delle profonde differenze tra i due output che non consentono un raffronto pienamente appropriato, o, comunque, di maggior dettaglio rispetto a quanto verrà proposto:

- Innanzitutto, le classi riportate su Google Maps rappresentano i rallentamenti del traffico, mentre quelle generate su OmniTRANS descrivono il livello di saturazione degli archi. Chiaramente i due fenomeni sono correlati ma non per questo coincidenti;
- Le stime prodotte in questo studio sono riferite ad un intervallo temporale ben definito (mercoledì 13/02/2019 ore 8:00 A.M.), ma sono il risultato di un processo di assegnazione; viceversa, quelle proposte da Google Maps sono ricavate da flussi osservati in maniera diretta, ma rappresentano una tendenza media valutata sulla base di serie storiche di dati (traffico tipico del mercoledì alle ore 8:00 A.M.);
- Non sarebbe possibile, inoltre, proporre un confronto quantitativo, poiché Google non esplicita né gli intervalli corrispondenti a ciascuna classe, né le unità di misura, né, tantomeno, i valori puntuali stimati per le specifiche tratte stradali.

Per ottenere da Google Maps una descrizione del traffico tipico di un dato giorno settimanale per un'ora specifica, è sufficiente centrare la mappa sulla zona di interesse, selezionare il layer “Traffic”, scegliere “Typical traffic” ed impostare il giorno e l'orario.

Con riferimento agli output grafici ottenuti nel precedente paragrafo 8.1.3, Figura 8-14, Figura 8-15 e Figura 8-16, si propongono, dunque, le medesime viste, tratte, questa volta, dal servizio offerto da Google Maps, Figura 8-17, Figura 8-18 e Figura 8-19.

Dal confronto tra Figura 8-14 e Figura 8-17, raffiguranti il traffico dell'intera rete associata all'area di Torino e cintura, si osserva una discreta sovrapposibilità dei percorsi più frequentati, rappresentati con un tratto più marcato, ma il dettaglio non è sufficiente per cogliere a pieno le eventuali discrepanze. Si osserva, tuttavia, qualche differenza evidente sui livelli di congestionamento che interessano le corsie autostradali che convergono nel nodo di interscambio di Bruere:

- La tratta della tangenziale sud, posta tra lo svincolo di Corso Francia e l'interscambio di Bruere, risulta fortemente congestionata in direzione nord-sud, mentre i dati Google indicano la situazione opposta;
- La tratta della tangenziale nord, situata tra il raccordo di Corso Regina e l'interscambio di Bruere, risulta, invece, estremamente trafficata in direzione sud-nord, contrariamente a quanto mostrato dalle stime Google;
- La corsia dell'autostrada A32 rivolta verso l'ingresso dell'area metropolitana appare congestionata, mentre su maps non si osservano particolari rallentamenti.

Da un'analisi più approfondita del modello di offerta proposto in questo studio, si riscontra un'eccessiva concentrazione dei flussi in ingresso lungo la A32, con un forte sottoutilizzo del percorso alternativo costituito dalla SS25. È probabile, dunque, che anche la saturazione anomala raggiunta sulle corsie della tangenziale sia dovuta a questa errata concentrazione dei flussi in ingresso.

Avendo definito grossolanamente la zonizzazione esterna ed avendo trascurato i costi monetari legati al pedaggio, accade che l'impedenza risulti sempre minore per gli archi autostradali, a prescindere dall'effettiva origine dello spostamento e nonostante la saturazione delle corsie. Con queste condizioni, infatti, anche gli spostamenti provenienti dalle zone esterne limitrofe all'area di studio, vengono assegnati alla A32, nonostante la presenza del casello di Bruere, che nella realtà incrementerebbe il costo percepito dagli utenti, riorientando parte dei flussi sulla strada statale.

Si ritiene, dunque, che l'errore potrebbe essere arginato rivalutando la zonizzazione esterna e/o contemplando i pedaggi nel calcolo dei costi generalizzati.

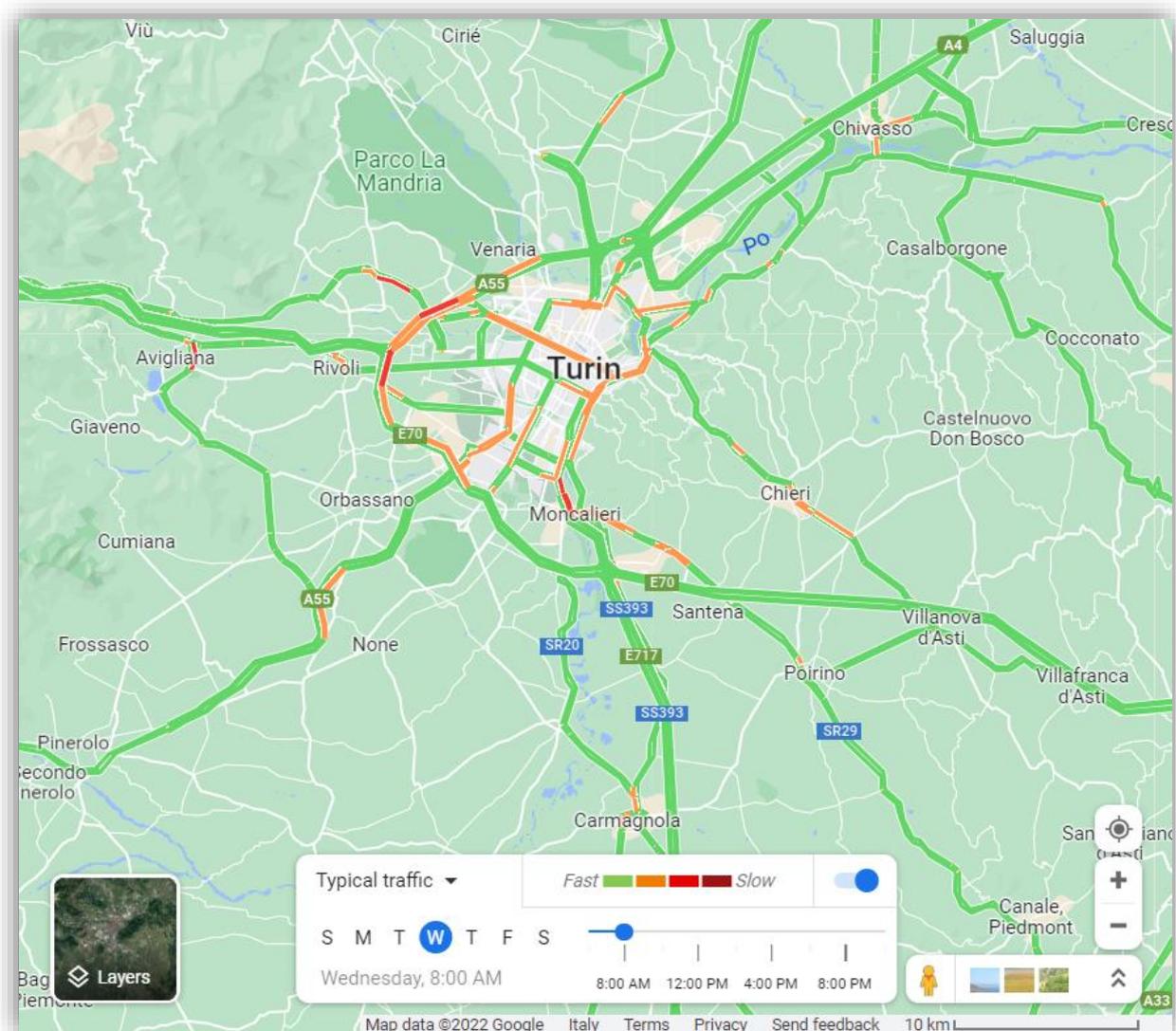


Figura 8-17 Vista globale della rete stradale relativa all'area di studio di Torino e cintura – Immagine tratta da Google Maps <<https://www.google.com/maps/@45.0158119,7.6959737,10.26z/data=!5m1!1e1>> consultato in data 11/10/2022

La seconda vista, proposta in Figura 8-18, costituisce un ingrandimento di Figura 8-17, con un livello di dettaglio leggermente più elevato sull'area metropolitana di Torino e cintura. Dal suo confronto con l'output ottenuto dall'assegnazione effettuata su OmniTRANS, mostrato in Figura 8-14, si può globalmente confermare quanto già riscontrato dal paragone precedente, ovvero una discreta sovrapposibilità dei percorsi maggiormente frequentati, con la presenza di alcune anomalie evidenti in prossimità del nodo di interscambio di Bruere.

Concentrando l'attenzione sui percorsi più trafficati dell'area metropolitana, tralasciando i tracciati autostradali, si fornisce un resoconto più dettagliato delle principali congruenze riscontrate dal confronto:

- Valutando, innanzitutto, i percorsi disposti in direzione Ovest-Est più frequentati, riportati, quindi, con un tratto più spesso, si individuano, grossomodo, le stesse strade su entrambe le viste sottoposte al confronto, di seguito elencate procedendo con ordine da Nord a Sud:
 - Corso Grosseto;
 - Corso Regina Margherita;
 - Corso Francia;
 - Corso Vittorio Emanuele II;
 - Corso Peschiera, Corso Luigi Einaudi, Corso Germano Sommeiller, Via Valperga Caluso;
 - Corso Monte Lungo, Corso Lepanto, Corso Bramante;
 - Corso C. G. Allamano;
 - Corso Cosenza, Corso Eusebio Giambone, Sottopassaggio Lingotto;
 - Corso Traiano, Corso Piero Maroncelli.

Le principali eccezioni sono rappresentate da Corso Dante, che risulta molto trafficato ma non è visibile sulla mappa Google a questa scala di rappresentazione, e da Via Reiss Romoli, che, viceversa, risulta sottoutilizzata secondo le stime derivate dall'assegnazione.

- Anche osservando i percorsi disposti in direzione Nord-Sud più trafficati, si individuano le stesse strade su entrambe le viste sottoposte al confronto, di seguito elencate con ordine da Ovest ad Est:
 - Corso Sacco e Vanzetti, Corso Marche;
 - Via Andrea Sansovino, Via Pietro Cossa, Via Francesco De Sanctis, Via Santa Maria Mazzarello, Via Guido Reni;
 - Corso Potenza, Corso Lecce, Corso Trapani, Corso Siracusa;
 - Corso Principe Oddone, Corso Inghilterra, Corso Castelfidardo;
 - Corso Orbassano;
 - Corso Duca degli Abruzzi, Largo Orbassano, Corso IV Novembre, Corso Giovanni Agnelli;
 - Corso Unione Sovietica;
 - Corso Massimo d'Azeglio, Corso Achille Mario Dogliotti, Corso Unità d'Italia, Corso Trieste;
 - Corso Casale, Corso Moncalieri, Strada Torino.

In questo caso le principali discrepanze si osservano su Largo Orbassano e sulla corsia in direzione Nord di Corso Unità d'Italia, che secondo le stime Google vengono percorsi senza rallentamenti significativi, e su Via Sestriere, che dai risultati dell'assegnazione risulta, invece, sottoutilizzata.

In generale il risultato è compatibile, anche se i livelli di congestionamento descritti da Google appaiono globalmente meno severi.

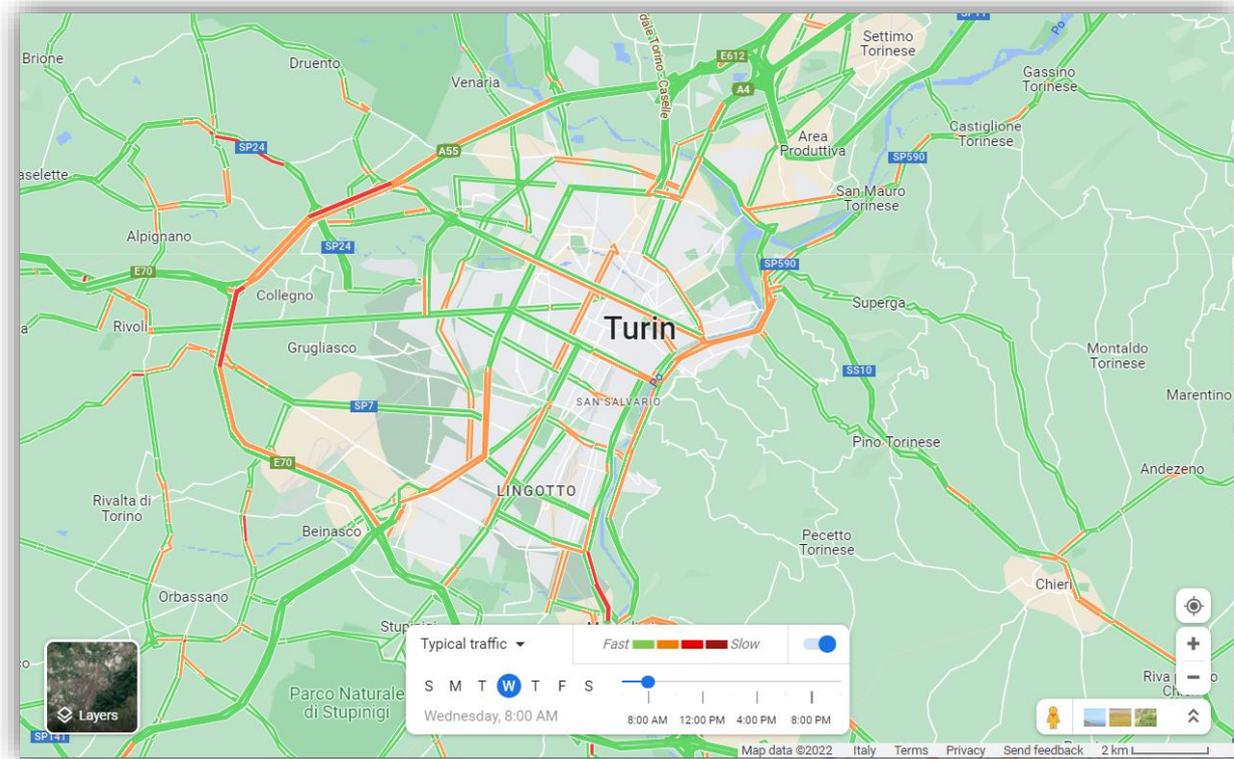


Figura 8-18 Vista centrata sul sistema tangenziale di Torino (A55) – Immagine tratta da Google Maps
<https://www.google.com/maps/@45.0659505,7.6826358,11.74z/data=!1e1> consultato in data 11/10/2022

Restringendo ulteriormente la vista alla sola area urbana del comune di Torino, Google propone un livello di dettaglio superiore, mostrando anche i percorsi meno rilevanti, come illustrato in Figura 8-19.

Dal confronto con i risultati dell'assegnazione, riportati in Figura 8-16, si possono ribadire le stesse osservazioni viste in precedenza, confermando, inoltre, una buona sovrapposibilità anche sui percorsi di secondaria importanza.

L'anomalia più evidente riguarda il Sottopasso Spezia, caratterizzato da traffico scorrevole secondo Google, ma pesantemente congestionato secondo i risultati dell'assegnazione. Questa eccessiva concentrazione dei flussi è essenzialmente dovuta al mancato inserimento di Via Genova e Via Ventimiglia tra gli archi del grafo, senza le quali tutti gli spostamenti diretti verso il centroide relativo alla zona Lingotto, convergono sul Sottopasso Spezia.

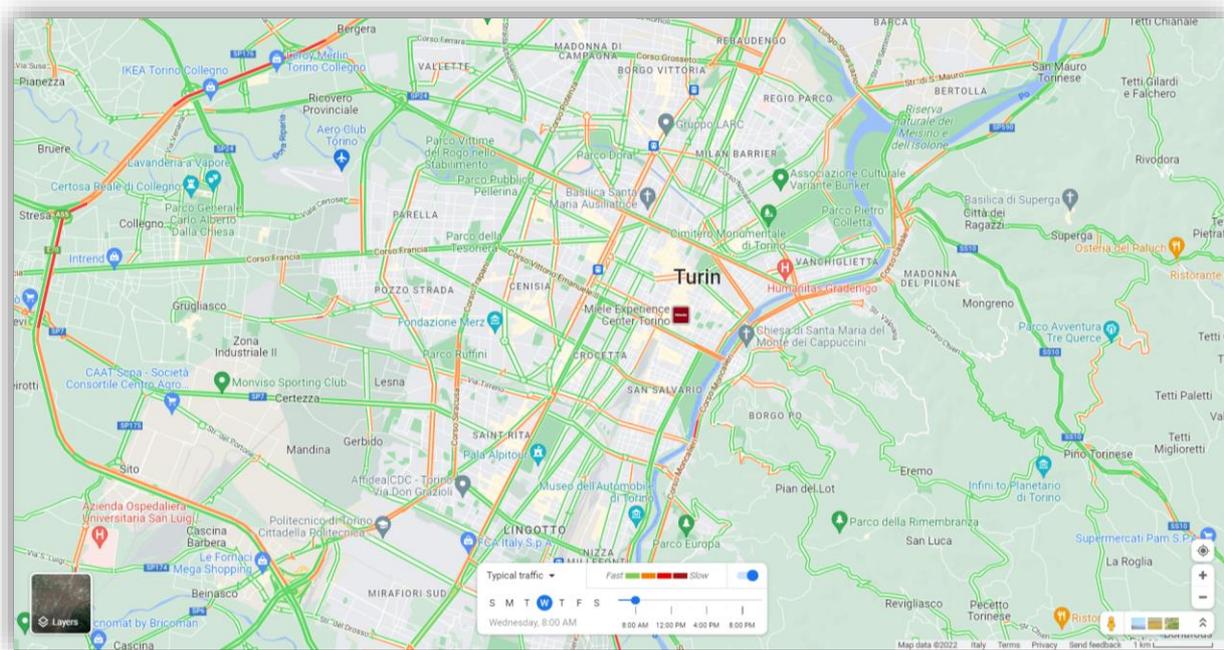


Figura 8-19 Vista di dettaglio dell'area urbana del comune di Torino – Immagine tratta da Google Maps
<<https://www.google.com/maps/@45.065342,7.6705431,13z/data=!5m1!1e1>> consultato in data 11/10/2022

8.3. Validazione dei risultati

In questo paragrafo viene illustrato il vero e proprio processo di validazione dei risultati, che, a differenza di quanto visto nella sezione precedente, consiste in un confronto puntuale delle quantità stimate con quelle effettivamente misurate, finalizzato alla quantificazione dell'errore.

Come anticipato, si propone di raffrontare le stime prodotte con due fonti principali, ovvero con i flussi orari misurati dalla società 5T s.r.l. tramite spire induttive e sensori aerei, e con il traffico giornaliero medio (TGM) estratto dal grafo BDTRE.

La validazione più significativa scaturisce dal confronto con i flussi orari misurati da 5T, vista la maggiore attendibilità e la piena compatibilità con i dati stimati, in termini di data ed orario di analisi.

Poiché, tuttavia, le sezioni di misura 5T risultano relativamente poco numerose rispetto alla totalità degli archi del grafo, si effettua un ulteriore confronto con il TGM del 2019 tratto dal grafo BDTRE, al fine di attuare una seconda validazione estesa all'intera rete, anche se meno attendibile a causa delle seguenti ragioni:

- Innanzitutto, il TGM è frutto di stime affette da errore, che, secondo quanto riportato nel paragrafo 5.2.1, dovrebbe essere contenuto al di sotto del 20%;
- In secondo luogo, il TGM rappresenta l'andamento medio del traffico dell'intero anno 2019, che non potrà mai coincidere con il valore riscontrato in un giorno specifico, per via delle naturali fluttuazioni periodiche;
- Il dato di traffico che è stato estratto, inoltre, è la somma dei flussi nelle due direzioni, poiché non conoscendo l'orientamento degli archi BDTRE non sarebbe stato possibile distinguerne il direzionamento;

- Si ricorda che il dato è stato calcolato per la sottorete SVR, proiettato successivamente sul grafo BDTRE e poi sul grafo OSM, e, infine, completato tramite imputazione statistica, accumulando ad ogni passaggio un certo margine di errore;
- Per permettere il confronto con i flussi orari, in conclusione, sarà necessario ipotizzare la quota di traffico giornaliero relativa all'orario d'analisi, introducendo così un ulteriore fattore di incertezza.

Poiché il traffico riportato sul grafo BDTRE, come spiegato nel paragrafo 5.2.1, è stato stimato attraverso tecniche di data fusion di differenti fonti, tra le quali sono presenti anche gli stessi dati di flusso dei sensori induttivi 5T, avendo a disposizione tutte le informazioni necessarie sarà possibile fornire una valutazione dell'errore anche per il TGM.

Ad eccezione dell'associazione dei sensori agli archi del grafo, tutte le altre operazioni verranno condotte sulla cartella di lavoro *ValidazioneRisultati.xlsx*, costituita dai fogli di calcolo strutturati e compilati come mostrato in appendice A.5 .

8.3.1 Selezione dei sensori 5T

La prima operazione da compiere per poter procedere con la validazione dei flussi stimati, consiste nel selezionare correttamente i termini di confronto corrispondenti, costituiti dalle misurazioni di traffico fornite da 5T, effettuate dalle stazioni del sistema di controllo del traffico UTC e dai sensori aerei urbani, presenti all'interno Città di Torino.

Come anticipato, infatti, i flussi misurati dai suddetti sensori di traffico verranno sfruttati sia nel processo di validazione principale, sia per la verifica del TGM, che verrà a sua volta impiegato per effettuare una seconda validazione integrativa.

La totalità dei sensori e delle misurazioni relative all'anno 2019, sono riportati nell'archivio *5T-dati traffico 2019.zip* (Team Analisi e Modelli Dati 5T, 2019)⁵⁷, fornito dal Team Analisi e Modelli Dati 5T tramite contatto e-mail. Non è possibile, tuttavia, considerare tutte le sezioni di misura elencate nel dataset, per via delle seguenti ragioni:

- Per alcune stazioni mancano, innanzitutto, le coordinate, senza le quali non è possibile stabilire a quale arco della rete si riferiscano le misurazioni;
- Altri sensori, invece, non hanno effettuato alcuna misurazione durante gli intervalli temporali considerati in questa analisi, ore 7:00 ed ore 8:00 del giorno 13/02/2019, e si possono, quindi, trascurare;
- Verranno selezionati, infine, solo i sensori associabili agli archi del grafo stradale, sui quali è stata effettuata l'assegnazione dei flussi di traffico.

Nei paragrafi seguenti verranno, dunque, illustrate le operazioni da eseguire per portare a termine la selezione dei sensori di traffico d'interesse per questo studio.

⁵⁷ Dataset fornito su richiesta espressa tramite e-mail all'indirizzo info@5t.torino.it, soggetto al vincolo di utilizzo esclusivo finalizzato alla corrente trattazione.

8.3.1.1 Preselezione dei sensori

Il processo di preselezione, descritto in questa fase, consiste nell'individuazione dei sensori con coordinate note, che risultano attivi negli stessi orari scelti per la validazione delle stime. A tale scopo, risulta sufficiente filtrare i dati presenti sul dataset in base agli attributi desiderati, operazione che può, dunque, essere eseguita integralmente su Excel.

Consultando la descrizione dei dati presenti all'interno dell'archivio *5T-dati traffico 2019.zip*, riportata in Allegato 5-1, si comprende che i file necessari per quest'analisi sono i seguenti:

- *5T-dati-01-Anagrafica_stazioni.csv*, contenente la posizione delle stazioni di misura UTC, e gli attributi necessari per la loro identificazione univoca;
- *5T-dati-03-Anagrafica_sensori.csv*, contenente la posizione dei sensori aerei urbani;
- *utc-2019-02.csv*, contenente i flussi veicolari orari misurati dalle stazioni di misura UTC, per tutte le giornate del mese di febbraio dell'anno 2019, oltre agli attributi necessari per la loro associazione univoca con i dati della relativa anagrafica;
- *comark-2019.csv*, contenente i flussi veicolari orari misurati dai sensori aerei urbani, per tutte le giornate dell'anno 2019.

I suddetti file possono essere importati sulla cartella di lavoro *ValidazioneRisultati.xlsx*, come descritto nel seguito:

- Delle 1740 stazioni contenute sul file *5T-dati-01-Anagrafica_stazioni.csv*, si selezionano esclusivamente quelle con coordinate note, che ammontano a 1660, e si importano sul foglio *Anagrafica_stazioni*, strutturato come in Tab. 5-2 e completato con le formule riportate in Tab. 5-3.

Osservando il campo Count, calcolato con la formula mostrata in Tab. 5-3, si individua una stazione duplicata (ID-Univoco = 1005|14028|6|1) che viene, dunque, rimossa dal foglio.

In definitiva, il foglio *Anagrafica_stazioni* conterrà esclusivamente 1659 stazioni univoche con posizione nota.

- I 31 sensori aerei urbani contenuti, invece, sul file *5T-dati-03-Anagrafica_sensori.csv*, possono essere tutti importati sul foglio *Anagrafica_sensori*, mostrato in Tab. 5-4 e completato con la formula riportata in Tab. 5-4.
- Dal file *utc-2019-02.csv* si selezionano esclusivamente i flussi veicolari relativi al giorno 13/02/2019, e si importano, successivamente, sul foglio *UTC*, strutturato come in Tab. 5-6 e completato attraverso le formule mostrate in Tab. 5-7.
- Anche dal file *comark-2019.csv* si estraggono i soli flussi veicolari relativi al giorno 13/02/2019, da importare, infine, sul foglio *COMARK*, mostrato in Tab. 5-8 e completato attraverso le formule riportate in Tab. 5-9.

Si genera, a questo punto, un nuovo foglio *ElencoCompleto*, strutturato come in Tab. 5-10, sul quale, attraverso le formule mostrate in Tab. 5-11, si riporta la lista completa delle stazioni UTC e dei sensori aerei attivi in data 13/02/2019, comprensiva di coordinate ed informazioni sull'orario di funzionamento.

Su tale foglio si ottiene, in definitiva, un elenco di 377 sensori, costituiti da 348 stazioni UTC e 29 sensori aerei, di cui 3 attivi alle ore 7:00, 6 alle ore 8:00 e 301 attivi per entrambi gli orari.

L'elenco ottenuto, può essere, dunque, salvato in CSV ed importato su Q-GIS, così da procedere con l'associazione dei sensori prescelti con gli archi del grafo, come descritto nel paragrafo seguente.

8.3.1.2 Selezione dei sensori associati agli archi del grafo

L'associazione dei sensori di traffico con gli archi del grafo va eseguita valutando caso per caso la loro corrispondenza, attraverso l'osservazione del loro posizionamento reciproco.

Importando il file CSV contenente l'elenco dei sensori, ottenuto dalla preselezione condotta nel paragrafo 8.3.1.1, è possibile restringere l'analisi alle sole 310 sezioni di misura che risultano attive tra le 7:00 e le 8:00 del giorno 13/02/2019, dislocate come mostrato nella seguente Figura 8-20.

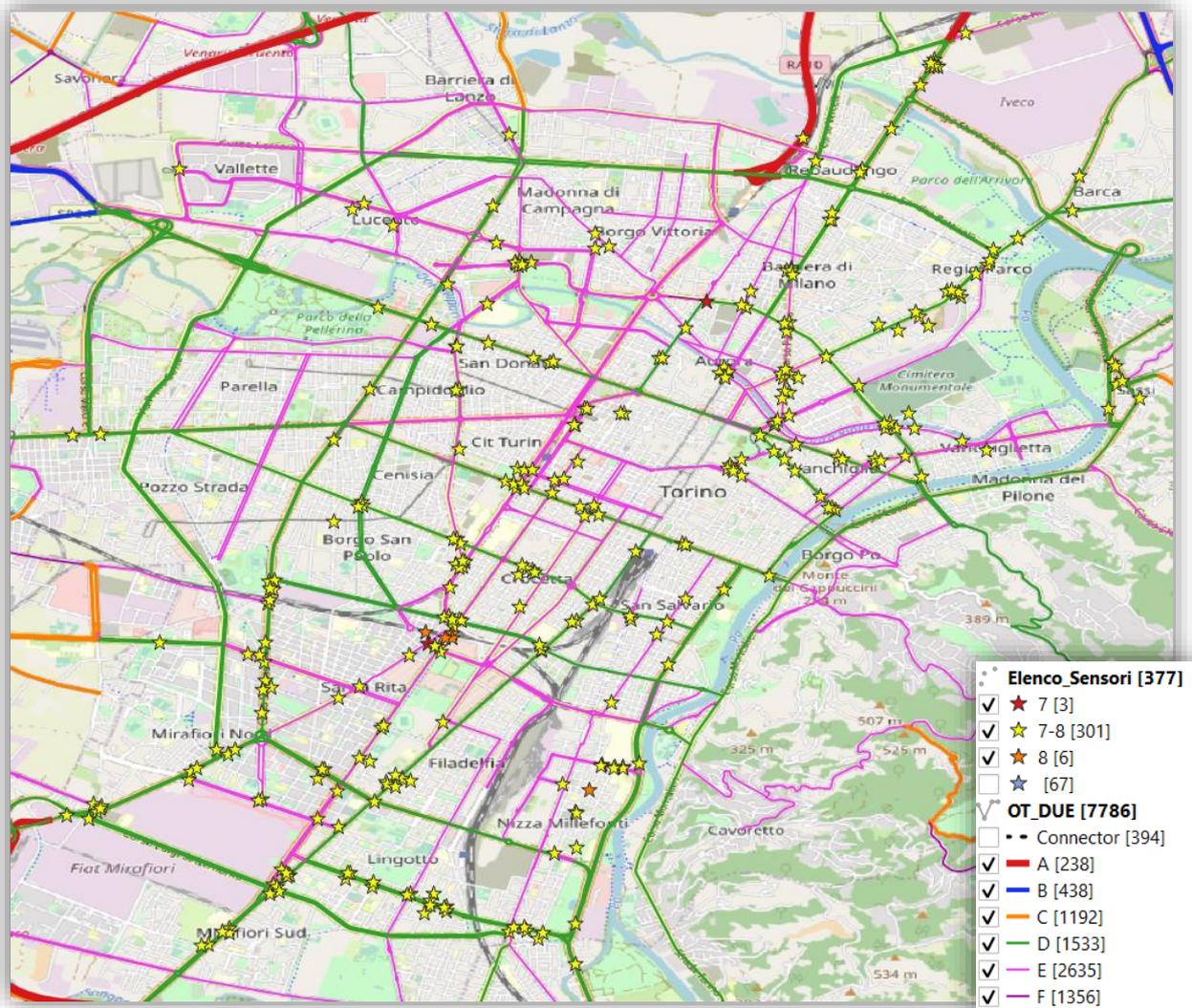


Figura 8-20 Dislocazione dei sensori di traffico 5T ottenuti dalla preselezione

Si suggerisce di salvare il CSV come vettore, *Elenco_Sensori.shp*, così da poter aggiungere i campi LINKNR e DIR, che verranno compilati nel corso di questa fase.

Sembrerebbe possibile, in prima battuta, effettuare l'associazione sulla base del criterio di vicinanza, attuabile generando un buffer di sei metri d'ampiezza intorno agli archi del grafo, per poi unire agli attributi

dei sensori le proprietà delle aree di buffer su cui ricadono. Tale criterio, tuttavia, non si rivela efficace e corretto in tutti i casi, ed inoltre non fornisce la direzione dei flussi relativi agli archi bidirezionali.

In ogni caso, dunque, occorre passare in rassegna tutti i 310 sensori, innanzitutto, per individuare l'associazione con l'arco corretto, da riportare nel campo LINKNR, e, successivamente, per determinare la direzione dei flussi, da inserire nel campo DIR esprimendo la successione dei nodi iniziale e finale (AB o BA)

Alcuni criteri generali, utili per condurre correttamente questa disamina, sono stati individuati in seguito alla ricerca su Google Maps di una serie di sensori, effettuata introducendo le coordinate del punto ed analizzando le immagini relative alla "Street View".

Per una maggior comprensione delle conclusioni tratte dall'ispezione visiva condotta su Google, si riporta l'esempio del sensore mostrato in Figura 8-21, individuato sulla "Street View" in Figura 8-22.



Figura 8-21 Esempio di associazione della spira S548 con l'arco 6858 - Corso Lecce

Come si può osservare in Figura 8-21, per come è posizionato, il sensore S548 verrebbe associato per vicinanza al controviale di Corso Lecce, piuttosto che alle corsie centrali.

Introducendo le coordinate del sensore su Google Maps ed ispezionando l'intersezione con la "Street View", è stato possibile, tuttavia, rintracciare i tagli sull'asfalto prodotti in fase di installazione delle spire induttive, che, come mostrato in Figura 8-22, risultano, invece, posizionate sul viale centrale di Corso Lecce.

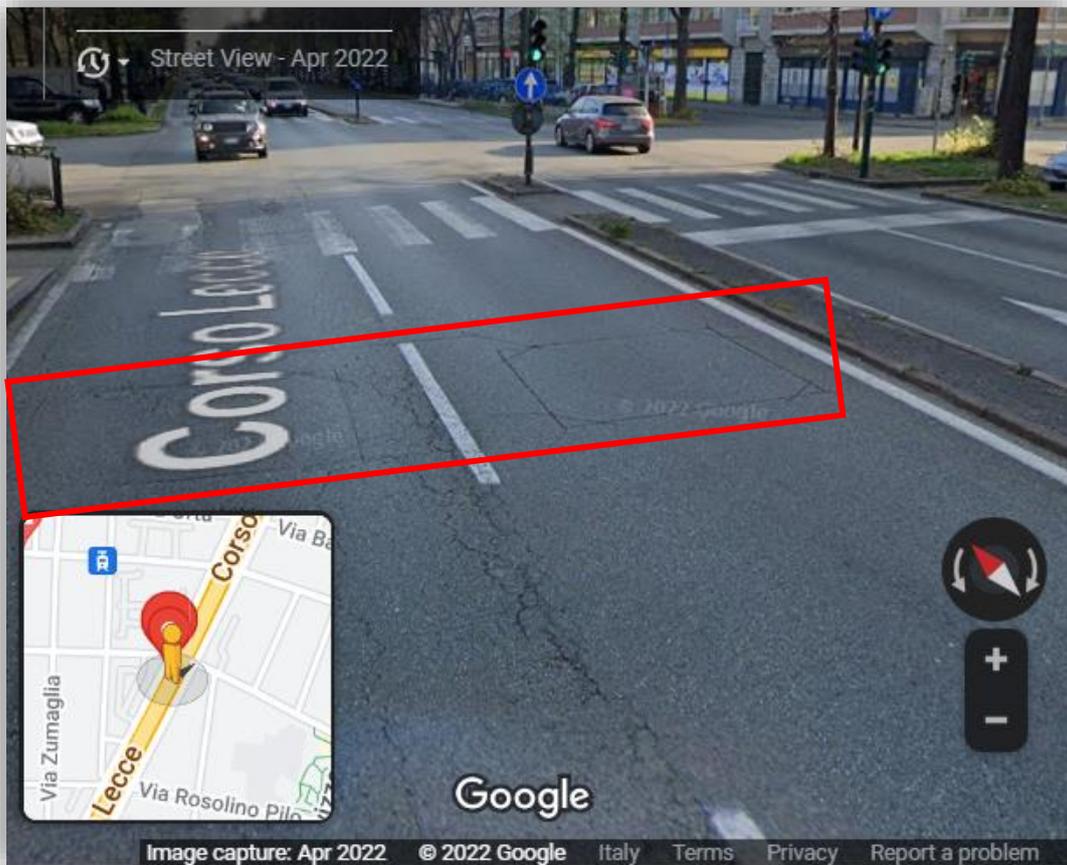


Figura 8-22 Ricerca della spira S548 (lat = 45,07951511; lng = 7,646080638) su Corso Lecce – Immagine tratta da Google Maps
 <<https://www.google.com/maps/@45.0794276,7.6461173,3a,53.8y,43.2h,73.93t/data=!3m6!1e1!3m4!1si8si2HH7Nqm4O1R4x4AP8w!2e0!7i16384!8i8192>> consultato in data 12/10/2022

Sulla base di questo esempio, e di altre osservazioni analoghe, si è arrivati a verificare sperimentalmente i criteri generali di posizionamento dei sensori, peraltro già noti a priori considerando la pratica professionale e i contenuti teorici nel settore e riassumibili nei seguenti punti:

- Innanzitutto, si è riscontrato che i sensori vengono, generalmente, posizionati in prossimità delle intersezioni semaforiche;
- Nella quasi totalità dei casi analizzati, il sensore ricade sul viale centrale, mentre è raro che i controviali vengano equipaggiati con la sensoristica;
- Sulla base delle coordinate presenti nei file dell’anagrafica, il sensore risulta, generalmente, posizionato sul lato dell’arco stradale su cui giacciono le corsie soggette alla misurazione del traffico. Questo agevola la determinazione della direzione dei flussi, attributo indispensabile per i sensori ricadenti sugli archi bidirezionali;
- Il sensore viene, solitamente, posizionato sulle corsie che divergono dall’intersezione, ovvero nella direzione opposta a quella su cui è presente la striscia d’arresto, e segue di qualche metro l’attraversamento pedonale. È probabile che venga rispettata questa regola, per evitare che l’incolonnamento dei veicoli, causato dal semaforo rosso o dall’attraversamento dei pedoni, non giaccia sul sensore, compromettendo l’esito delle misurazioni. Si ritiene che, in caso di conflitto sulla determinazione del direzionamento dei flussi, quest’ultimo criterio debba prevalere sul precedente.

Adottando questi criteri per tutti i 310 sensori, vengono individuate 203 associazioni con gli archi del grafo, dislocate come mostrato in Figura 8-23.

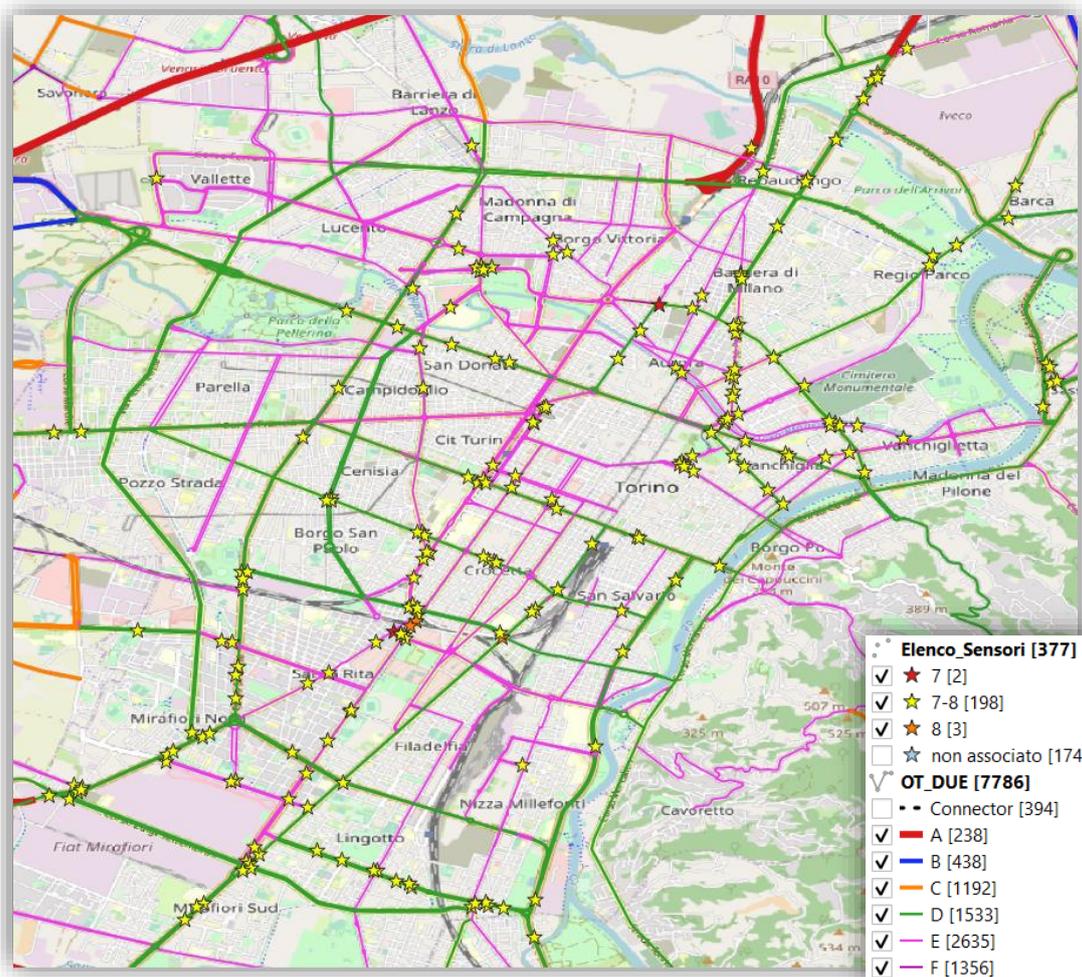


Figura 8-23 Dislocazione dei sensori di traffico 5T associati agli archi del grafo stradale

A questo punto, i campi LINKNR e DIR, associati a ciascun sensore identificato dall'attributo ID, possono essere copiati dal file *Elenco_Sensori.dbf*, e, successivamente, incollati sul foglio *Links_Sensor*, strutturato come in Tab. 5-12 ed integrato attraverso le formule riportate in Tab. 5-13.

Sulla base delle misurazioni effettuate dai sensori di traffico associati al grafo, individuati in questa fase, si procede, nelle sezioni seguenti, con la validazione dei flussi stimati attraverso il processo di assegnazione.

Si tenga presente che durante la fase di validazione primaria, basata sul confronto tra i flussi stimati ed i flussi misurati da 5T, verrà effettuata un'ulteriore scrematura dei sensori, ritenuti meno rappresentativi delle condizioni di traffico riscontrate su alcuni degli archi del grafo.

Si ricorda che nel processo di validazione integrativa, basato, invece, sul confronto tra i flussi stimati ed il TGM tratto dal grafo BDTRE, verrà, inoltre, valutata la congruenza dello stesso TGM con le misurazioni 5T.

Per garantire una maggior coerenza, dunque, verranno considerati i valori di traffico misurati dai medesimi sensori 5T, sia per la validazione primaria, sia per la valutazione di congruenza del TGM. Per questa ragione, conviene procedere preventivamente con la validazione primaria, così da completare definitivamente la selezione dei sensori 5T, che, successivamente, verranno considerati anche nella valutazione di congruenza del TGM.

8.3.2 Validazione primaria - confronto tra flussi stimati e flussi misurati dai sensori 5T

In questa fase, viene descritto il processo di validazione dei flussi stimati attraverso l'assegnazione, eseguita nel paragrafo 8.1.2, effettuando un confronto puntuale con i valori misurati dai sensori di traffico 5T, associati agli archi del grafo nel corso del paragrafo 8.3.1.

Questo processo comparativo risulta particolarmente appropriato, poiché entrambi i termini sottoposti a confronto esprimono la stessa grandezza, il flusso veicolare orario, riferita al medesimo intervallo temporale, mercoledì 13/02/2019 ore 7:00. I dati 5T, inoltre, non essendo il frutto di una stima, ma di osservazioni del traffico effettivo, sono praticamente esenti da errore, trascurando, tutt'al più, l'accuratezza attribuita agli strumenti di misurazione, che, sulla base delle informazioni fornite, può ritenersi quasi assoluta.

Il limite principale di questo approccio è, invece, dovuto allo scampio riscontrato tra il totale degli archi presenti sul grafo, che escludendo gli archi fittizi sono ben 7392, ed il numero di archi provvisti di sensoristica, che risultano appena 158. La verifica condotta in questi termini copre solo il 2% dei casi, e, per tale ragione nel paragrafo 8.3.3 verrà, dunque, eseguita una seconda validazione integrativa, che risulterà meno appropriata ma molto più estesa.

Ricordando, infine, che, nel corso del paragrafo 7.3, si è riscontrata una possibile discrepanza tra l'orario adottato da TIM e quello impiegato da 5T, si eseguirà il confronto con le misurazioni orarie sia delle 7:00, che delle 8:00.

Avendo già introdotto i dati di flusso ricavati dall'assegnazione e quelli dei sensori 5T, ed avendo esplicitato la corrispondenza tra archi e sensori, l'analisi può, dunque, proseguire sulla cartella di lavoro *ValidazioneRisultati.xlsx*, predisposta nel corso delle fasi precedenti.

Generando il foglio di calcolo denominato *Validazione*, strutturato come mostrato in Tab. 5-14 e Tab. 5-15, e compilato attraverso le formule riportate in Tab. 5-16, i dati presenti sul file vengono, innanzitutto, filtrati sulla base dei parametri inseriti in colonna A, e, successivamente, riorganizzati all'interno di quattro tabelle, necessarie per esplicitare le seguenti informazioni:

- Nella prima tabella vengono elencati tutti i sensori che, nell'orario inserito nella cella A2, hanno registrato un flusso veicolare non nullo, estraendo le informazioni contenute sui fogli *ElencoCompleto*, *UTC* e *COMARK*.

Dei 377 sensori presenti in *ElencoCompleto*, 304 risultano attivi alle ore 7:00 e 307 alle ore 8:00.

- Nella seconda tabella, l'elenco dei sensori attivi viene, innanzitutto, filtrato sulla base della loro associazione con gli archi del grafo, espressa sul foglio *Links_Sensor*, e, successivamente, integrato con i risultati dell'assegnazione dei flussi, contenuti in *Links_Flow*.

Così facendo si individuano 200 sensori associati al grafo ed attivi alle ore 7:00, e 201 attivi alle 8:00.

Per individuare i sensori associati alla medesima direzione dello stesso arco, viene inserita la colonna "AR_Count", mentre nella colonna "ERR" si riporta l'errore relativo delle stime prodotte dall'assegnazione dei flussi. Queste due informazioni aggiuntive vengono introdotte per supportare l'individuazione dei sensori ridondanti, che, per non penalizzare eccessivamente la validazione, potranno essere trascurati.

- Nella terza tabella i sensori vengono ordinati secondo l'arco di appartenenza, così da affiancare le letture riferite alla stessa tratta stradale, facilitando ulteriormente l'individuazione dei dati ridondanti.

Ogni volta che si opererà per l'esclusione di un sensore dal processo di validazione, sarà sufficiente inserirne l'identificativo all'interno dello spazio predisposto in colonna A, così da rimuoverlo dall'elenco riportato nella terza tabella.

- Nella quarta tabella si riporta, infine, l'elenco univoco degli archi associati ad almeno un sensore, esclusi quelli ritenuti trascurabili, differenziati per direzione di percorrenza. Così facendo si individuano 173 archi, con identificativo e direzione univoci, dotati di sensori attivi alle ore 7:00, e 174 relativamente alle ore 8:00.

L'identificativo dei sensori corrispondenti allo stesso arco, con flusso diretto nella medesima direzione, vengono, a questo punto, concatenati all'interno della colonna "ID", ed il valore riportato in "Flusso Orario" viene calcolato come media delle rispettive letture.

Nelle colonne "ERR" e "DIFF" si riportano, infine, gli errori relativo ed assoluto, calcolati, per ciascun arco, come differenza tra i flussi stimati ("LOAD") e la media delle letture dei sensori associati ("Flusso Orario").

Con l'ausilio della seconda e terza tabella, si è stabilita l'esclusione di 16 sensori dal processo di validazione, basata sui seguenti criteri:

- È, innanzitutto, concesso trascurare solo i sensori ridondanti, ovvero quelli corrispondenti alla direzione di un arco dotata di più associazioni, assicurando, in ogni caso, di mantenere almeno una lettura valida.

In questa analisi si individuano 23 archi, con identificativo e verso univoci, associati a più di un sensore, per i quali è, dunque, possibile escludere le letture ridondanti. Per ciascun arco, si considererà pertanto in linea generale solo la lettura del sensore che più si avvicina al corrispondente valore del flusso stimato sull'arco LOAD. D'altra parte, nel caso in cui l'esclusione di un sensore induca una riduzione dell'errore relativo sull'arco ERR minore del 5%, si è scelto di considerare anche la relativa lettura in quanto la maggiore affidabilità di una misura ridondante di flusso sembra più vantaggiosa di una diminuzione trascurabile dell'errore relativo.

- Si osserva infine che l'esclusione dei sensori relativi allo stesso arco contribuisce a migliorare il risultato del confronto quanto più le rispettive letture sono differenti.

In questo studio sono stati esclusi 16 sensori con una differenza sulle letture DIFF di almeno 50 veh/h, di cui 5 con una differenza compresa tra 100 e 200 veh/h e 9 con una differenza maggiore di 200 veh/h.

Per comprendere a pieno il meccanismo di esclusione dei sensori ridondanti, si propone l'esempio in Figura 8-24.

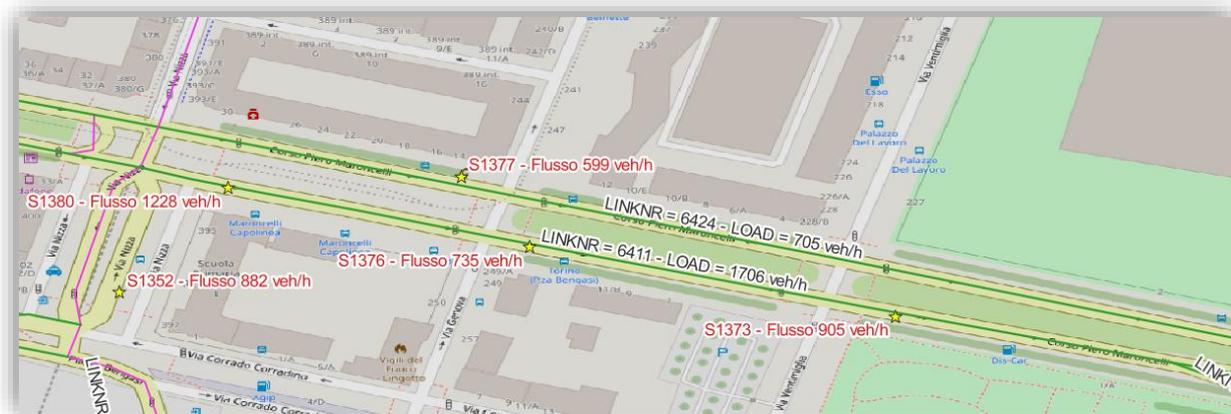


Figura 8-24 Esempio di esclusione dei sensori dal processo di validazione – Corso Piero Maroncelli (LINKNR = 6411)

In Figura 8-24, si individua l'arco 6411, relativo alle corsie in direzione Est di Corso Piero Maroncelli, al quale sono associati i sensori S1380, S1376 ed S1373.

Confrontando il flusso risultante dell'assegnazione, "LOAD" = 1706 veh/h, con la media delle tre letture, "Flusso Orario" = 956 veh/h, l'errore relativo sarebbe pari al 78.5%. Escludendo, invece, i sensori S1376 ed S1373, contraddistinti da misurazioni sensibilmente differenti rispetto al sensore S1380, l'errore relativo scenderebbe al 39%, riducendosi del 39.5%.

Nella realtà il traffico misurato all'inizio dell'arco si riverserebbe parzialmente su Via Genova e Via Ventimiglia, riducendosi così di volume, ma, come già evidenziato nel corso del paragrafo 8.2, queste due strade non sono presenti sul grafo, ed i flussi si concentrano, dunque, sui percorsi limitrofi.

L'esclusione dei due sensori, quindi, oltre a ridurre l'entità dell'errore relativo commesso nella stima dei flussi, risulta compatibile con il dettaglio fornito dal grafo stradale selezionato.

I sensori esclusi dal processo di validazione, individuati sulla base dei criteri esposti, sono elencati in Tab. 5-14 all'interno della colonna A, e rappresentano tutti casi analoghi a quello mostrato nell'esempio in Figura 8-24.

8.3.2.1 Distribuzione di frequenza dell'errore relativo

In questa sezione si propone, innanzitutto, l'analisi dell'errore relativo commesso nella stima dei flussi orari, calcolato attraverso la seguente Formula 8-2.

Formula 8-2 Calcolo dell'errore relativo (ERR) commesso nella stima dei flussi orari

$$ERR = \frac{\text{flusso stimato per l'arco } i - \text{esimo}}{\text{flusso medio misurato dai sensori relativi all'arco } i - \text{esimo}} - 1 \text{ [%]}$$

Calcolando l'errore come in Formula 8-2, è chiaro che il massimo valore negativo risulterà pari a -100%, e verrà riscontrato per gli archi su cui è stato assegnato un flusso nullo, indipendentemente dall'effettivo traffico misurato dai sensori. Al contrario, invece, il massimo errore positivo non presenta un limite superiore e dipende dall'entità delle sovrastime derivanti dall'assegnazione. Per queste ragioni, dunque, è

lecito aspettarsi una distribuzione asimmetrica dell'errore relativo, con una coda più pronunciata sul semiasse positivo.

Per ottenere una rappresentazione efficace della distribuzione empirica dell'errore, occorre definire preventivamente delle classi, possibilmente di pari ampiezza, in cui raccogliere i risultati, e, successivamente, diagrammarne la frequenza osservata.

L'ampiezza delle classi d'errore viene definita per tentativi, cercando di evitare un'eccessiva aggregazione dei risultati o, viceversa, un numero eccessivo di classi con frequenza molto rarefatta, che produrrebbero una distribuzione scarsamente significativa e difficilmente interpretabile.

Analizzando, in primis, lo scarto tra i flussi stimati e quelli osservati alle ore 7:00, per evitare una coda troppo estesa sul semiasse positivo, si è scelto di diagrammare l'errore ε utilizzando delle classi con intervallo di ampiezza $\Delta\varepsilon$ variabile, definite come segue:

- $-100\% \leq \varepsilon \leq 200\% \rightarrow \Delta\varepsilon = 20\%$;
- $200\% < \varepsilon \leq 500\% \rightarrow \Delta\varepsilon = 60\%$;
- $500\% < \varepsilon \leq +\infty \rightarrow \Delta\varepsilon = 400\%$.

In Tabella 8-2, si riportano le classi così definite e la loro rispettiva frequenza osservata, proponendo, inoltre, la frequenza riscontrata per le differenti categorie stradali equipaggiate con i sensori di traffico.

Tabella 8-2 Classi d'errore relativo e frequenza osservata – residuo valutato sulle misurazioni delle ore 7:00

Classe	Intervallo	Archi con sensore		Categoria A		Categoria D		Categoria E	
	% ε_{\min} ; % ε_{\max}	<i>f</i>	<i>f</i> [%]	<i>f</i>	<i>f</i> [%]	<i>f</i>	<i>f</i> [%]	<i>f</i>	<i>f</i> [%]
1	[-100; -80)	5	3%	0	0%	0	0%	5	6%
2	[-80; -60)	3	2%	0	0%	1	1%	2	2%
3	[-60; -40)	8	5%	0	0%	3	3%	5	6%
4	[-40; -20)	14	8%	0	0%	10	11%	4	5%
5	[-20; 0]	28	16%	0	0%	15	17%	13	16%
6	(0; 20]	24	14%	0	0%	17	19%	7	8%
7	(20; 40]	23	13%	0	0%	14	16%	9	11%
8	(40; 60]	13	8%	0	0%	8	9%	5	6%
9	(60; 80]	18	10%	0	0%	8	9%	10	12%
10	(80; 100]	5	3%	0	0%	2	2%	3	4%
11	(100; 120]	2	1%	1	100%	1	1%	0	0%
12	(120; 140]	8	5%	0	0%	2	2%	6	7%
13	(140; 160]	2	1%	0	0%	1	1%	1	1%
14	(160; 180]	4	2%	0	0%	1	1%	3	4%
15	(180; 200]	3	2%	0	0%	1	1%	2	2%
16	(200; 260]	2	1%	0	0%	0	0%	2	2%
17	(260; 320]	2	1%	0	0%	1	1%	1	1%
18	(320; 380]	2	1%	0	0%	1	1%	1	1%
19	(380; 440]	3	2%	0	0%	1	1%	2	2%
20	(440; 500]	1	1%	0	0%	0	0%	1	1%
21	(500; 900]	1	1%	0	0%	0	0%	1	1%
22	(900; 1300]	1	1%	0	0%	1	1%	0	0%
23	(1300; 1468]	1	1%	0	0%	1	1%	0	0%
TOT	[-100; 1468]	173	100%	1	100%	89	100%	83	100%

Dai risultati esposti in Tabella 8-2, si osserva quanto segue:

- Gli errori dovuti ad una sottostima dei flussi, intervallo $[-100\%; 0]$, ricoprono il 34% dei casi totali;
- Gli errori di sovrastima comprendono, dunque, la quota rimanente, pari al 66% dei casi, di cui il 48% ricadenti nell'intervallo $(0; 100\%]$, ed il restante 18% nel range $(100\%; +\infty]$;
- I casi contraddistinti da un margine d'errore ritenuto pienamente accettabile, inferiore a $\pm 20\%$, sono complessivamente il 30%;
- Dei 173 archi univoci, per identificativo e verso di percorrenza, solo uno è di categoria A, 89 di categoria D ed 83 di categoria E. L'unica tratta autostradale provvista di sensore è costituita dallo svincolo di Corso Grosseto, mentre non si dispone di alcuna lettura del traffico relativo alle strade extraurbane o alle strade locali;
- Le sottostime maggiori sono dovute alle strade di categoria E, per le quali alcuni archi risultano completamente scarichi producendo un errore del -100% , mentre le sovrastime più marcate, superiori al 900% , sono relative alle strade di categoria D;

Diagrammando la frequenza osservata degli errori relativi ricadenti nelle 23 classi, per i 173 archi totali, si ottiene la distribuzione riportata in Figura 8-25.

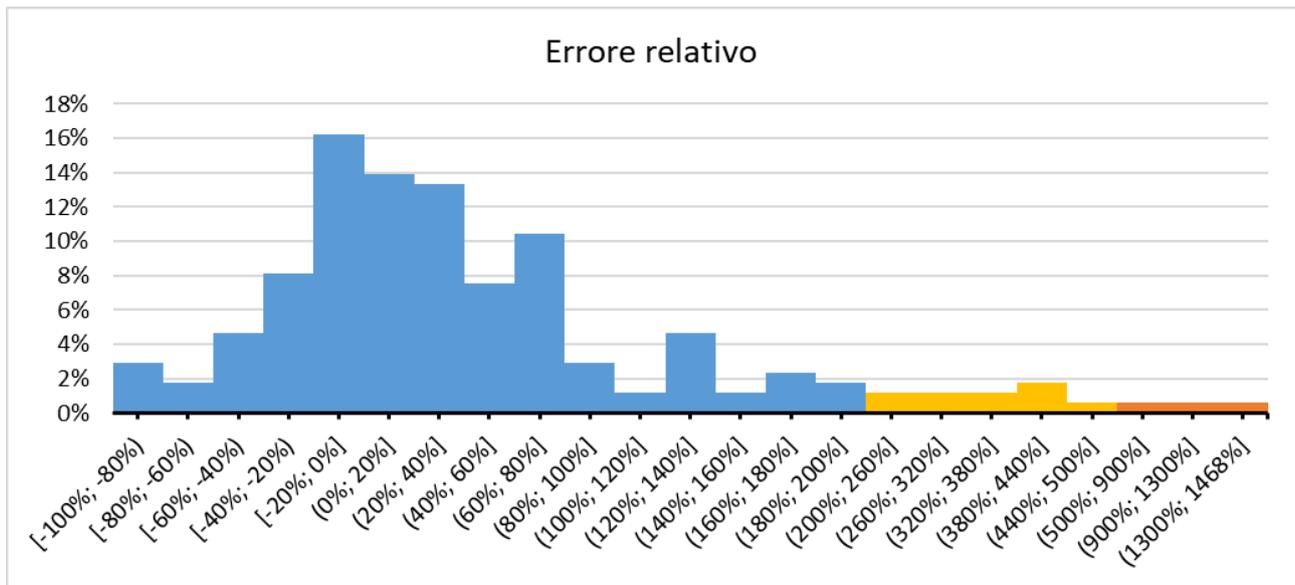


Figura 8-25 Distribuzione di frequenza osservata per l'errore relativo – residuo valutato sulle misurazioni delle ore 7:00

Come previsto, la distribuzione risulta asimmetrica, con una coda molto estesa sul semiasse positivo, considerando inoltre che l'ampiezza delle classi non è costante a differenza di quanto mostrato in figura.

Si osserva una discreta concentrazione dei risultati intorno all'errore nullo, ma, vista la maggior frequenza delle sovrastime, la media degli scarti risulta molto maggiore di zero ($ERR_{med} = 65.3\%$).

Osservazioni più significative potranno, tuttavia, essere espresse in riferimento alla distribuzione di frequenza dell'errore assoluto, in fase di valutazione dell'errore standard delle stime.

Vista l'incertezza sull'orario adottato da TIM, si propone, a seguire, anche l'analisi dello scarto prodotto dalla differenza tra i flussi stimati e quelli osservati alle ore 8:00, per la quale si adottano le seguenti classi d'errore:

Stima dei flussi e validazione dei risultati

- $-100\% \leq \varepsilon \leq 200\% \rightarrow \Delta\varepsilon = 20\%$;
- $200\% < \varepsilon \leq 500\% \rightarrow \Delta\varepsilon = 60\%$;
- $500\% < \varepsilon \leq +\infty \rightarrow \Delta\varepsilon = 445\%$.

In Tabella 8-3, analogamente a quanto visto in precedenza, si riportano le nuove classi definite e la rispettiva frequenza osservata, proponendo, nuovamente, anche la distinzione tra le categorie stradali.

Tabella 8-3 Classi d'errore relativo e frequenza osservata – residuo valutato sulle misurazioni delle ore 8:00

Classe	Intervallo	Archi con sensore		Categoria A		Categoria D		Categoria E	
		% ε_{\min} ; % ε_{\max}	f	f [%]	f	f [%]	f	f [%]	f
1	[-100; -80)	5	3%	0	0%	0	0%	5	6%
2	[-80; -60)	8	5%	0	0%	3	3%	5	6%
3	[-60; -40)	14	8%	0	0%	8	9%	6	7%
4	[-40; -20)	24	14%	0	0%	13	15%	11	13%
5	[-20; 0]	34	20%	0	0%	20	22%	14	17%
6	(0; 20]	28	16%	0	0%	16	18%	12	14%
7	(20; 40]	14	8%	0	0%	6	7%	8	10%
8	(40; 60]	19	11%	0	0%	12	13%	7	8%
9	(60; 80]	4	2%	0	0%	1	1%	3	4%
10	(80; 100]	7	4%	1	100%	2	2%	4	5%
11	(100; 120]	3	2%	0	0%	1	1%	2	2%
12	(120; 140]	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
13	(140; 160]	1	1%	0	0%	0	0%	1	1%
14	(160; 180]	2	1%	0	0%	2	2%	0	0%
15	(180; 200]	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
16	(200; 260]	3	2%	0	0%	3	3%	0	0%
17	(260; 320]	2	1%	0	0%	0	0%	2	2%
18	(320; 380]	2	1%	0	0%	0	0%	2	2%
19	(380; 440]	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
20	(440; 500]	1	1%	0	0%	1	1%	0	0%
21	(500; 945]	3	2%	0	0%	1	1%	2	2%
TOT	[-100; 945]	174	100%	1	100%	89	100%	84	100%

Da quanto mostrato in Tabella 8-3, si osservano i seguenti risultati:

- Gli errori dovuti ad una sottostima dei flussi, intervallo [-100%; 0], ricoprono il 49% dei casi totali;
- Gli errori di sovrastima comprendono una quota pari al 51% dei casi, di cui il 41% ricadenti nell'intervallo (0; 100%], ed il restante 10% nel range (100%; + ∞);
- I casi più favorevoli, con errore inferiore a $\pm 20\%$, sono complessivamente il 36%;
- Dei 174 archi univoci solo uno è di categoria A, 89 di categoria D ed 84 di categoria E.
- Le sottostime maggiori, con errore del -100%, sono dovute alle strade di categoria E, per le sussistono alcuni archi completamente scarichi, come anche la maggior parte delle sovrastime più marcate, superiori al 500%;

Rispetto ai risultati delle ore 7:00, mostrati in Tabella 8-2, cresce la frequenza degli errori di sottostima, mentre si accorcia la coda dovuta alle sovrastime, con un bilancio tra errori positivi e negativi molto più equilibrato.

L'errore risulta più concentrato tra il $\pm 60\%$, passando dal 64% al 76% di frequenza sul totale degli archi, dal 75% all'84% per le strade di categoria D e dal 52% al 69% per quelle di categoria E. In compenso, si dimezza la frequenza degli errori maggiori del 60%, passando dal 32% al 16% per il totale degli archi, dal 24% al 12% per le strade di categoria D e dal 40% al 19% per quelle di categoria E.

A fronte di un lieve incremento degli errori di sottostima, il confronto dei flussi stimati con le misurazioni delle 8:00, produce risultati molto più favorevoli, con un errore medio (ERR_{med}) pari al 55.4%.

Diagrammando, infine, la frequenza osservata degli errori relativi ricadenti nelle 21 classi, per i 174 archi totali, si ottiene la distribuzione riportata in Figura 8-26.

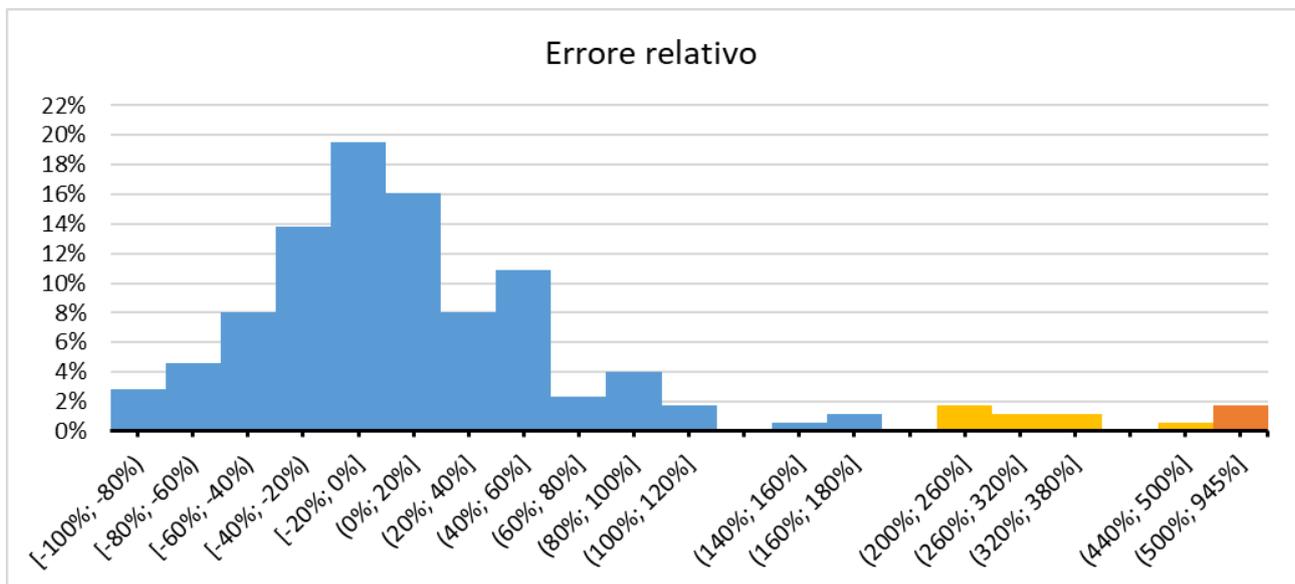


Figura 8-26 Distribuzione di frequenza osservata per l'errore relativo – residuo valutato sulle misurazioni delle ore 8:00

Osservando il diagramma di distribuzione di frequenza empirica, si possono, grossomodo, ribadire i commenti sopraesposti: la frequenza dell'errore tende ad una maggiore concentrazione intorno allo zero, mostrando una coda più corta e meno folta sul semiasse positivo, con alcune classi prive di dati.

8.3.2.2 Distribuzione di frequenza dell'errore assoluto

Si procede, in questa sezione, con l'analisi dell'errore assoluto, calcolato, per ciascun arco, come differenza tra il flusso orario stimato e la media delle letture tratte dai corrispettivi sensori.

A differenza dell'errore relativo visto in precedenza, lo scarto non presenterà più un limite inferiore, e la sua distribuzione potrebbe, dunque, godere di una maggior simmetria in assenza di errori sistematici.

Anche in questo caso, occorre definire l'ampiezza delle classi d'errore, che, questa volta, risulta più agevole, permettendo l'individuazione di un intervallo pressoché omogeneo per tutta la distribuzione.

Stima dei flussi e validazione dei risultati

Analizzando, in primo luogo, lo scarto tra i flussi stimati e quelli osservati alle ore 7:00, si seleziona un passo $\Delta\varepsilon$ costante di 300 veh/h, eccezion fatta per la prima e per l'ultima classe, ricadenti sulle code della distribuzione:

- $-963 \text{ veh/h} \leq \varepsilon < -600 \text{ veh/h} \rightarrow \Delta\varepsilon = 363 \text{ veh/h}$;
- $-600 \text{ veh/h} \leq \varepsilon \leq 1500 \text{ veh/h} \rightarrow \Delta\varepsilon = 300 \text{ veh/h}$;
- $1500 \text{ veh/h} < \varepsilon \leq 1845 \text{ veh/h} \rightarrow \Delta\varepsilon = 345 \text{ veh/h}$.

Sulla base delle classi così definite, si ottengono i risultati mostrati in Tabella 8-4.

Tabella 8-4 Classi d'errore assoluto e frequenza osservata – residuo valutato sulle misurazioni delle ore 7:00

Classe	Intervallo	Archi con sensore		Categoria A		Categoria D		Categoria E	
		$\varepsilon_{\min}; \varepsilon_{\max}$	f	$f[\%]$	f	$f[\%]$	f	$f[\%]$	f
1	[-963; -600]	5	3%	0	0%	2	2%	3	4%
2	[-600; -300]	14	8%	0	0%	9	10%	5	6%
3	[-300; 0]	39	23%	0	0%	18	20%	21	25%
4	(0; 300]	58	34%	0	0%	31	35%	27	33%
5	(300; 600]	31	18%	0	0%	16	18%	15	18%
6	(600; 900]	16	9%	0	0%	7	8%	9	11%
7	(900; 1200]	5	3%	0	0%	3	3%	2	2%
8	(1200; 1500]	3	2%	0	0%	2	2%	1	1%
9	(1500; 1845]	2	1%	1	100%	1	1%	0	0%
TOT	[-963; 1845]	173	100%	1	100%	89	100%	83	100%

I risultati salienti, esposti in Tabella 8-4, si possono riassumere come segue:

- Gli errori di sottostima dei flussi, intervallo $[-963 \text{ veh/h}; 0]$, ricoprono il 34% dei casi totali;
- Gli errori di sovrastima comprendono la quota complementare, pari al 66% dei casi, di cui il 51% ricadenti nell'intervallo $(0; 600 \text{ veh/h}]$, ed il restante 15% nel range $(600 \text{ veh/h}; 1845 \text{ veh/h}]$;
- I casi più favorevoli, con errore inferiore a $\pm 300 \text{ veh/h}$, sono complessivamente il 51%;
- L'errore si distribuisce in maniera molto simile sia sulle strade di categoria D, che di categoria E, ma l'individuazione degli archi scarichi non è immediata come nel caso dell'errore relativo;
- L'errore medio (DIFF_{med}) risulta pari a 183 veh/h.

La frequenza totale degli errori positivi e negativi risulta, chiaramente, pari a quella già osservata nella valutazione dell'errore relativo, ma cambia la forma della distribuzione complessiva, mostrata in Figura 8-27.

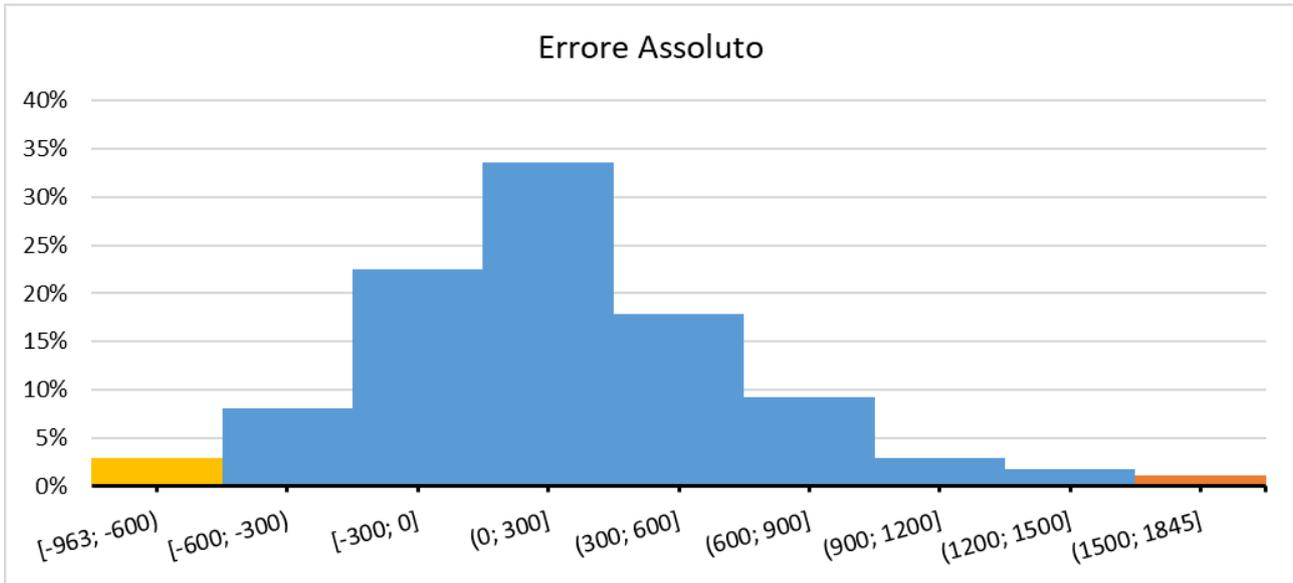


Figura 8-27 Distribuzione di frequenza osservata per l'errore assoluto – residuo valutato sulle misurazioni delle ore 7:00

Confrontando la distribuzione dell'errore assoluto, in Figura 8-27, con la corrispondente distribuzione dell'errore relativo, in Figura 8-25, si osserva una maggiore compattezza e regolarità, ma, tuttavia, permane una certa asimmetria, con una coda, ancora una volta, più pronunciata sul semiasse positivo.

Passando all'analisi dello scarto prodotto dalla differenza tra i flussi stimati e le misurazioni relative alle ore 8:00, si definisce, nuovamente, l'ampiezza delle classi d'errore, come mostrato di seguito:

- $-1360 \text{ veh/h} \leq \varepsilon < -1200 \text{ veh/h} \rightarrow \Delta\varepsilon = 160 \text{ veh/h}$;
- $-1200 \text{ veh/h} \leq \varepsilon \leq 1200 \text{ veh/h} \rightarrow \Delta\varepsilon = 300 \text{ veh/h}$;
- $1200 \text{ veh/h} < \varepsilon \leq 1744 \text{ veh/h} \rightarrow \Delta\varepsilon = 544 \text{ veh/h}$.

Osservando come sono state definite le classi, è prevedibile che la distribuzione di frequenza risulti, questa volta, dotata di una maggior simmetria rispetto a tutti i casi precedenti.

Valutando la frequenza degli errori ricadenti nelle classi così definite, si osservano i risultati mostrati in Tabella 8-5.

Tabella 8-5 Classi d'errore assoluto e frequenza osservata – residuo valutato sulle misurazioni delle ore 8:00

Classe	Intervallo	Archi con sensore		Categoria A		Categoria D		Categoria E	
	$\varepsilon_{\min}; \varepsilon_{\max}$	f	$f[\%]$	f	$f[\%]$	f	$f[\%]$	f	$f[\%]$
1	[-1360; -1200]	2	1%	0	0%	1	1%	1	1%
2	[-1200; -900]	2	1%	0	0%	1	1%	1	1%
3	[-900; -600]	9	5%	0	0%	8	9%	1	1%
4	[-600; -300]	25	14%	0	0%	9	10%	16	19%
5	[-300; 0]	47	27%	0	0%	25	28%	22	26%
6	(0; 300]	51	29%	0	0%	23	26%	28	33%
7	(300; 600]	21	12%	0	0%	13	15%	8	10%
8	(600; 900]	10	6%	0	0%	5	6%	5	6%
9	(900; 1200]	5	3%	0	0%	3	3%	2	2%
10	(1200; 1744]	2	1%	1	100%	1	1%	0	0%
TOT	[-1360; 1744]	174	100%	1	100%	89	100%	84	100%

Osservando i dati esposti in Tabella 8-5, si possono constatare i seguenti risultati:

- Gli errori di sottostima dei flussi, intervallo [-1360 veh/h; 0], ricoprono il 49% dei casi totali;
- Gli errori di sovrastima comprendono il rimanente 51% dei casi, di cui il 41% ricadenti nell'intervallo (0; 600 veh/h], ed il restante 10% nel range (600 veh/h; 1744 veh/h];
- I casi più favorevoli, con errore inferiore a ± 300 veh/h, sono complessivamente il 56%;
- L'errore si distribuisce in maniera analoga sulle strade di categoria D e di categoria E, anche se nel primo caso si riscontrano una maggior frequenza nelle sottostime ed alcune sovrastime più marcate, con un conseguente incremento della dispersione;
- L'errore medio ($DIFF_{med}$) risulta pari a 15 veh/h.

Rispetto al caso precedente, relativo al confronto con le misurazioni delle ore 7:00, si osserva una coda sinistra più estesa, al contrario di quella destra che risulta più contratta, ed un bilancio tra errori negativi e positivi quasi perfettamente equilibrato.

Diagrammando i risultati attraverso l'istogramma delle frequenze, si ottiene la distribuzione in Figura 8-28.

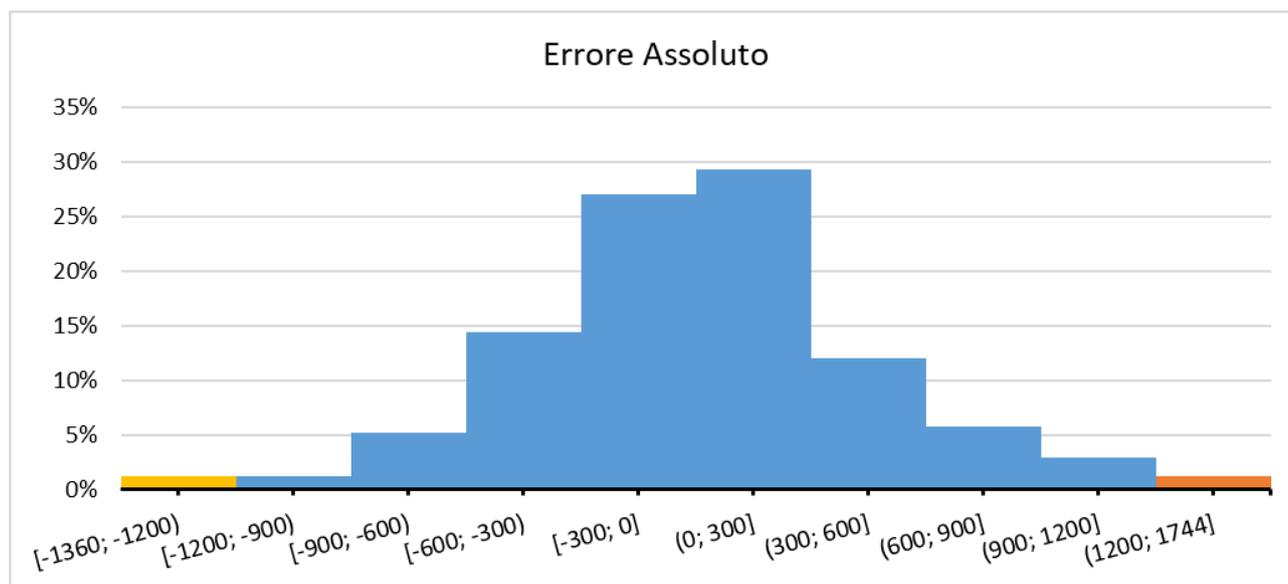


Figura 8-28 Distribuzione di frequenza osservata per l'errore assoluto – residuo valutato sulle misurazioni delle ore 8:00

Come preannunciato, la distribuzione di frequenza risulta dotata di una buona simmetria, e, anche se si ha un leggero sbilanciamento sul semiasse positivo, la media degli scarti appare sempre più prossima al valore nullo.

In definitiva, quest'ultima rappresentazione risulta molto prossima alla distribuzione normale standard.

8.3.2.3 Distribuzione spaziale dell'errore assoluto

In questa sezione si effettua una valutazione basata sulla distribuzione spaziale dell'errore assoluto, calcolato come residuo tra flussi stimati ed osservati.

Poiché, su Q-GIS, non risulta possibile attribuire stili differenti in base al verso di percorrenza di uno stesso arco, l'unico modo per visualizzare l'errore sulle tratte bidirezionali, consiste nel riportarne il valore complessivo, dato dalla somma degli scarti nelle due direzioni.

I dati, necessari per ottenere la rappresentazione desiderata, possono essere calcolati su Excel, generando il foglio *CSV_Validazione*, strutturato come in Tab. 5-21 e compilato con le formule presenti in Tab. 5-22. I risultati, così ottenuti, possono successivamente essere salvati su un file CSV, importati su Q-GIS e trasferiti sul vettore *OT_DUE*, ottenuto nel corso del paragrafo 8.1.2, effettuando un join con il campo LINKNR.

Il risultato grafico relativo all'errore assoluto, valutato come differenza tra i flussi stimati e quelli misurati alle ore 7:00, è riportato in Figura 8-29.

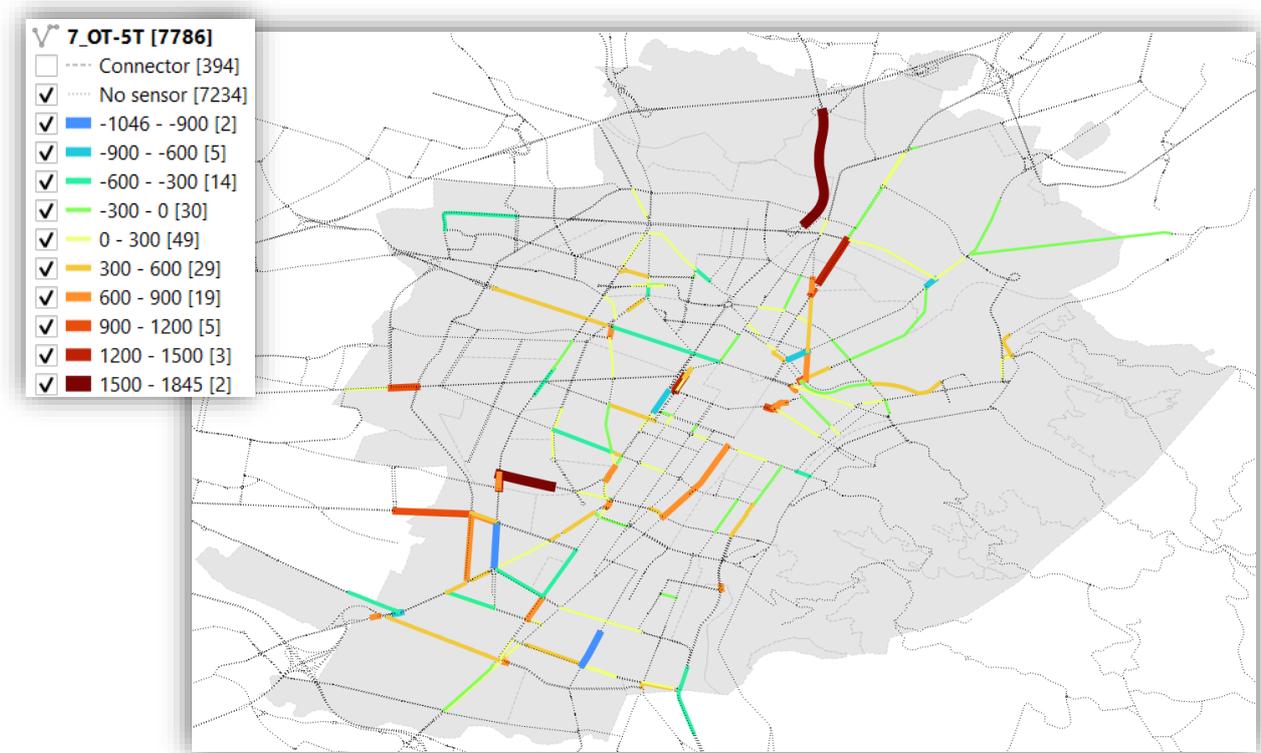


Figura 8-29 Distribuzione spaziale dell'errore assoluto, calcolato come residuo tra i flussi stimati e le misurazioni delle ore 7:00

Dall'analisi dei risultati in Figura 8-29, scaturiscono le seguenti osservazioni:

- Le sovrastime più marcate, superiori ai 900 veh/h, risultano tutte riferite alle corsie rivolte verso il centro città, e, più precisamente, verso la zona di Porta Nuova.

Le strade interessate da quest'errore sono le seguenti, elencate per entità dell'errore decrescente: lo svincolo autostradale di Corso Grosseto, l'intersezione tra Corso Carlo e Nello Rosselli e Corso Trapani, Corso San Martino, Corso Giulio Cesare, Corso Regio Parco, Piazza Castello, Corso Francia e Corso Giuseppe Allamano.

Nonostante l'errore elevato su Corso Rosselli, non si osservano particolari sovrastime sul nodo di Largo Orbassano, in cui confluisce il viale. Si ricorda che su tale intersezione, nel corso del paragrafo

8.2, era stato individuato un tasso di saturazione apparentemente eccessivo rispetto al “Typical Traffic” di Google.

- Gli errori di sovrastima più contenuti, compresi tra i 300 ed i 900 veh/h, appaiono tendenzialmente riferiti ai flussi diretti verso il centro città, ma non in tutti i casi.
- Le sottostime più evidenti, con differenze superiori ai 600 veh/h, non sembrano avere una direzione preferenziale, e si riferiscono alle strade seguenti: Via Pio VII, Corso Siracusa, Corso Orbassano, Piazza Sofia, Via Bologna e Corso Inghilterra.
- Gli errori di sottostima più contenuti, compresi tra -300 e -600 veh/h, tendono, invece, ad essere rivolti in direzione Nord-Ovest.

In definitiva, si osserva, dunque, una generale sovrastima dei flussi in ingresso, mentre per le sottostime non è ben definito un orientamento prevalente, ed è possibile che siano dovute esclusivamente al processo di assegnazione, inficiato da un valore d’impedenza eccessivo.

La distribuzione spaziale dell’errore assoluto, valutato sulla base dei flussi misurati alle ore 8:00, è, invece, riportato in Figura 8-30.

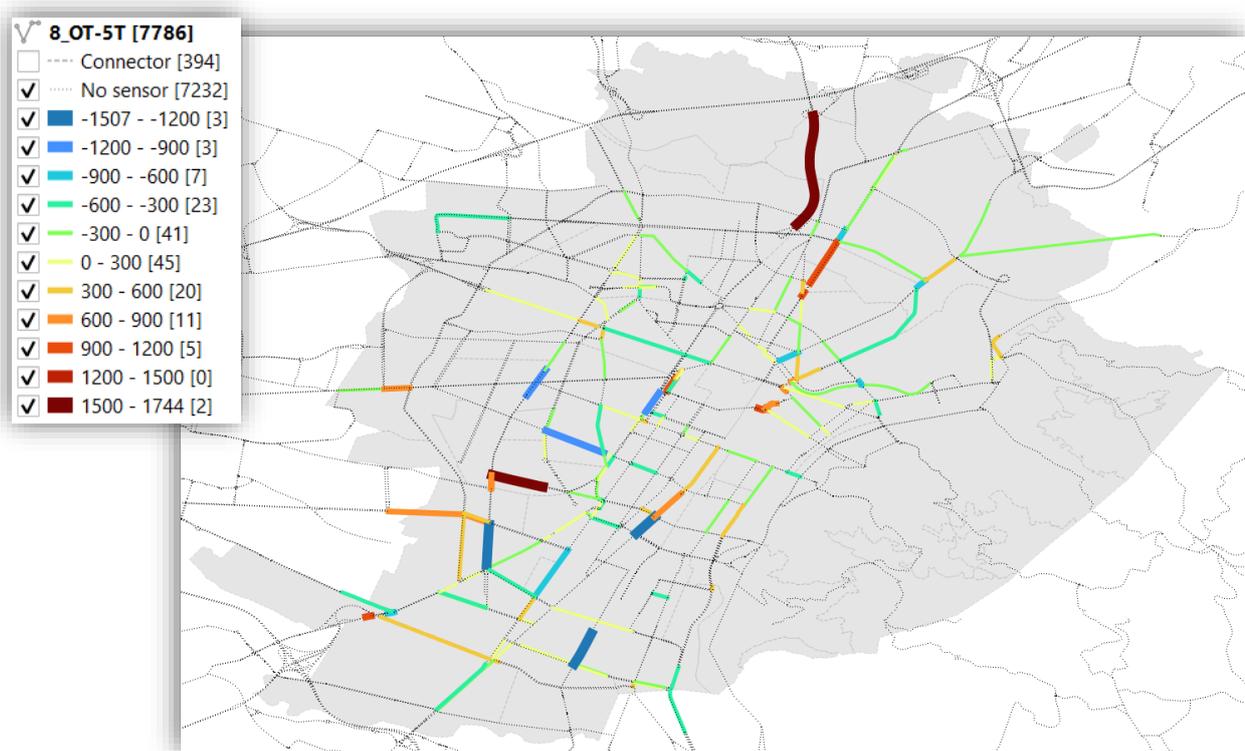


Figura 8-30 Distribuzione spaziale dell’errore assoluto, calcolato come residuo tra i flussi stimati e le misurazioni delle ore 8:00

Analizzando gli errori riportati in Figura 8-30, si osserva quanto segue:

- Le sovrastime più marcate, superiori ai 900 veh/h, risultano, anche in questo caso, tutte riferite alle corsie rivolte verso il centro città, e, più precisamente, verso la zona di Porta Nuova.

Le strade interessate da quest’errore vengono, di seguito, elencate in ordine di severità decrescente: lo svincolo autostradale di Corso Grosseto, Corso Carlo e Nello Rosselli, Corso Orbassano, Corso San Martino, Corso Giulio Cesare e Piazza Castello.

Le sovrastime risultano meno numerose e più contenute rispetto al caso precedente.

- Errori di sovrastima più contenuti, compresi tra i 300 ed i 900 veh/h, appaiono tendenzialmente riferiti ai flussi diretti verso il centro città, ma non in tutti i casi.
- Le sottostime più evidenti, con differenze superiori ai 600 veh/h, non sembrano avere una direzione preferenziale, e si riferiscono alle strade seguenti: Corso Filippo Turati, Via Pio VII, Corso Inghilterra, Corso Lecce, Corso Siracusa, Corso Peschiera, Corso Orbassano, Piazza Sofia, Via Bologna, Corso Giulio Cesare, Corso Novara e Corso Giovanni Agnelli.
- Anche per gli errori di sottostima più contenuti, compresi tra -300 e -600 veh/h, non si individua una direzione predominante.

In conclusione, dunque, si osserva una generale sovrastima dei flussi, anche in questo caso, diretti verso il centro città, mentre per le sottostime sembrerebbero imputabili al processo di assegnazione adottato, che tende a concentrare eccessivamente i flussi sui percorsi con impedenza minore.

Rispetto al caso precedente si riscontra una diminuzione dell'entità e della numerosità delle sovrastime, mentre, al contrario, aumentano le sottostime.

8.3.2.4 Errore standard delle stime

In ultima analisi si propone di valutare la deviazione standard degli errori previsti, anche nota come errore standard delle stime, come metro di giudizio dei risultati complessivi e con l'ulteriore finalità di scegliere quale delle due fasce orarie considerate è meglio approssimata dai risultati del modello.

Nel caso di stime derivanti da una regressione lineare, si potrebbe valutare la bontà della predizione passando, innanzitutto, attraverso il calcolo degli scarti: indicando il valore osservato con x , il valore predetto con \hat{x} ed il valor medio con \bar{x} , lo scarto è esprimibile come differenza $x - \bar{x}$, od anche come somma del "residuo spiegato" ($\hat{x} - \bar{x}$) con il "residuo non spiegato" ($x - \hat{x}$).

In questo caso, tuttavia, la regressione lineare non viene utilizzata per la costruzione di un modello statistico ma, esclusivamente, come criterio di valutazione della bontà delle stime, prodotte attraverso il processo di assegnazione all'equilibrio di tipo deterministico, rispetto ai flussi di traffico misurati dai sensori 5T.

Adottando, dunque, la simbologia sopraesposta, una misura sintetica dell'accuratezza dei risultati dell'assegnazione, può essere espressa, appunto, attraverso l'errore standard delle stime, calcolato come in Formula 8-3.

Formula 8-3 Errore standard delle stime

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(x - \hat{x})^2}{N}}$$

Dal confronto tra i valori stimati ed i flussi misurati alle ore 7:00 si ottiene, quindi, un errore standard pari a 476 veh/h, e, ipotizzando una distribuzione normale standard dei residui, si potrebbe garantire un livello di confidenza pari a 68.27% per l'intervallo [-476 veh/h; +476 veh/h]. Poiché, come specificato in precedenza, le stime non derivano effettivamente da un modello di regressione lineare ma da un processo di assegnazione, la distribuzione degli errori, mostrata nel paragrafo 8.3.2.2, non è di tipo normale, non è

centrata sullo zero ($\bar{\varepsilon} = 183 \text{ veh/h}$) e la quota di errori che ricadono nell'intervallo risulta, quindi, pari al 76.3%.

Ragionando analogamente per il confronto tra i valori stimati ed i flussi misurati alle ore 8:00, si ottiene un errore standard pari a 471 veh/h e si ipotizza un livello di confidenza del 68.27% per l'intervallo $[-471 \text{ veh/h}; +471 \text{ veh/h}]$. In questo caso, l'istogramma di frequenza dell'errore risulta molto simile ad una distribuzione normale, il residuo medio è prossimo allo zero ($\bar{\varepsilon} = 15 \text{ veh/h}$) ed anche la quota effettiva di errori interni all'intervallo, pari al 73%, si avvicina maggiormente al livello di confidenza atteso.

Per interpretare meglio la natura delle differenze riscontrate, andando oltre la misura sintetica dell'RMSE, si propone l'osservazione dei diagrammi di dispersione mostrati in Figura 8-31 e Figura 8-32. Ribadendo che le stime non derivano da un modello di regressione lineare, si sottolinea che la retta di regressione, presentata nei diagrammi, serve, esclusivamente, per comprendere quanto i valori predetti risultino differenti dai flussi osservati. Poiché, idealmente, i flussi stimati e misurati dovrebbero coincidere, si è scelto di diagrammare tale retta imponendo l'intercetta a zero. In questo modo, valutando la distanza dei punti dalla retta centrale, sarà possibile intuire l'entità dell'errore commesso nella stima derivante dall'assegnazione.

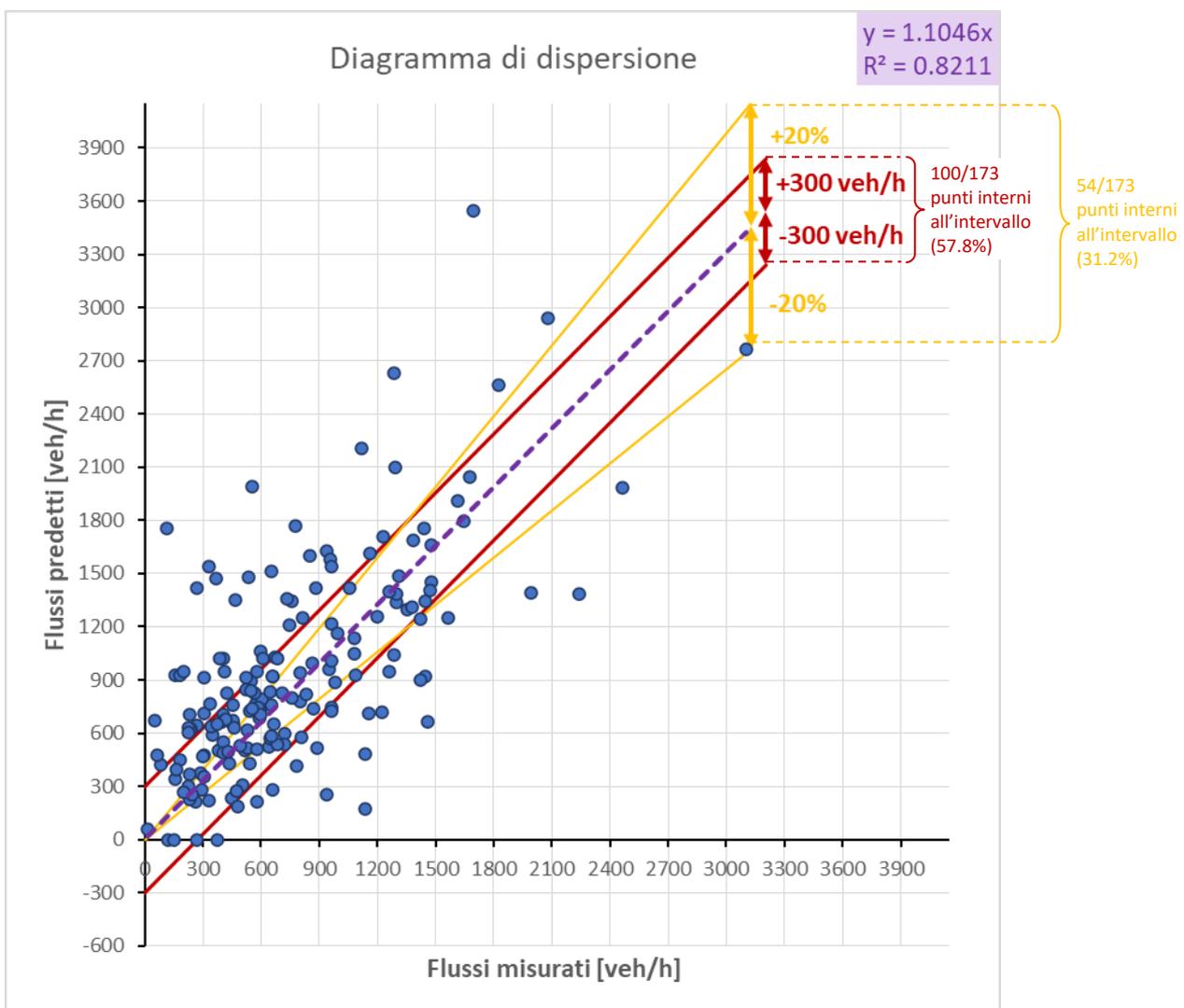


Figura 8-31 Diagramma di dispersione derivante dal confronto tra flussi stimati e le misurazioni effettuate alle ore 7:00

Dal diagramma riportato in Figura 8-31 si osserva, innanzitutto, una prevalenza di punti giacenti al di sopra della retta di regressione, il che indica che l'assegnazione ha prodotto, per lo più, valori sovrastimati e, quindi, flussi eccessivamente concentrati su pochi archi.

In secondo luogo, è possibile notare una forte concentrazione di punti per valori di flusso relativamente bassi, in gran parte inferiori a 1200 veh/h. Per questa ragione, quindi, un giudizio espresso sulla base dell'errore relativo risulta più penalizzante rispetto alla valutazione del corrispondente valore assoluto.

I punti ricadenti nella fascia delimitata dalle linee rosse, comprendente gli errori inclusi nel range ± 300 veh/h, sono complessivamente 100/173 e, quindi, il 57.8% dei punti totali.

Quelli ricadenti nella banda delimitata dalle rette arancioni, che, invece, comprendono gli errori inferiori al $\pm 20\%$, risultano essere 54/173 e, dunque, il 31.2% dei punti totali.

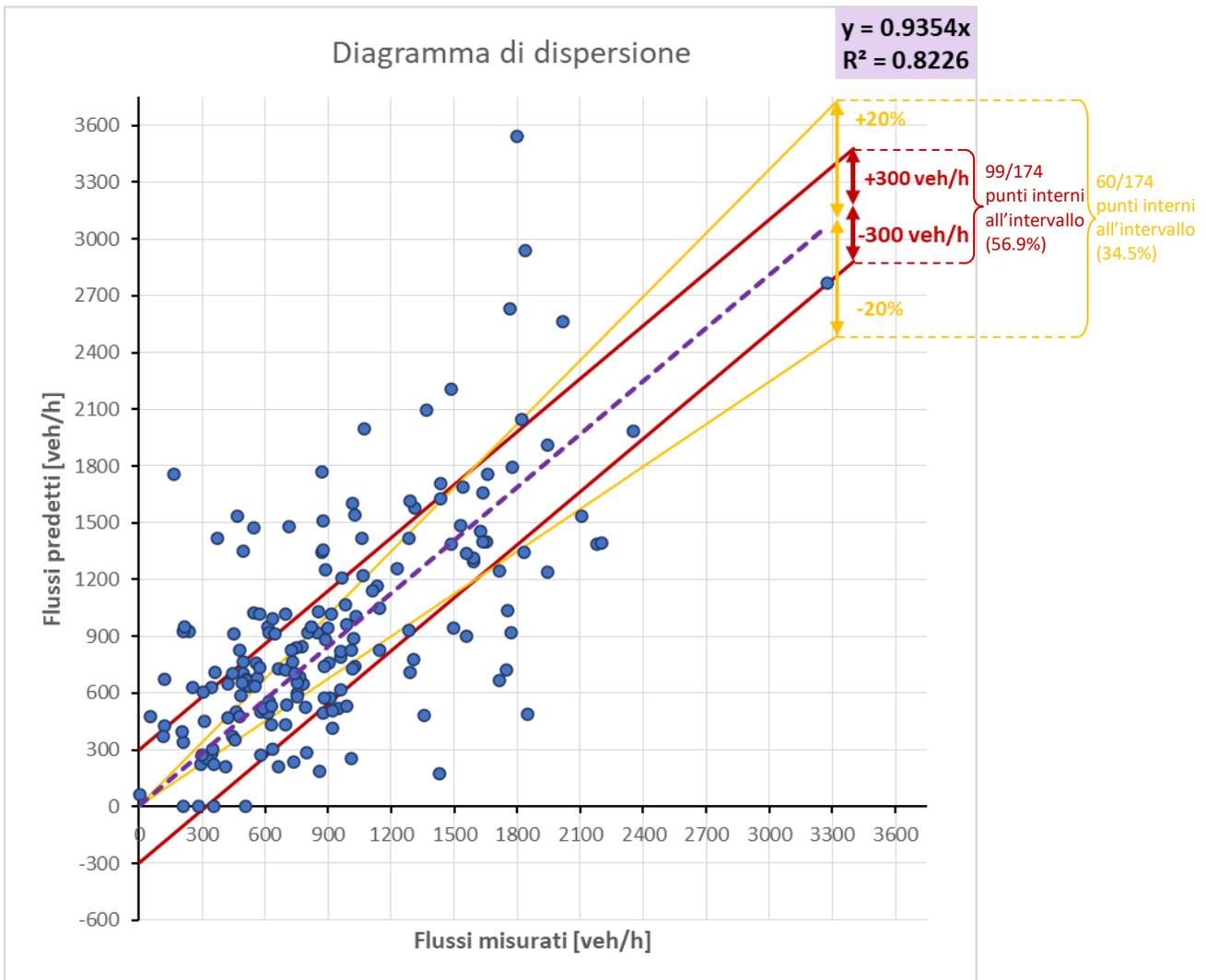


Figura 8-32 Diagramma di dispersione derivante dal confronto tra flussi stimati e le misurazioni effettuate alle ore 8:00

Nel diagramma in Figura 8-29 si osserva, a differenza del caso precedente, che il numero di punti sottesi alla retta risulta discretamente bilanciato da quelli posti al di sopra di essa. Ciò indica che il numero di flussi sovrastimati e quelli sottostimati tendono a coincidere ma, come si può notare dal grafico, l'entità delle sovrastime tende ad essere più accentuata.

Anche in questo caso si assiste ad una concentrazione di punti per valori di flusso inferiori a 1200 veh/h e, dunque, la valutazione dell'errore relativo risulta, nuovamente, quella più penalizzante.

I punti ricadenti nella fascia delimitata dalle linee rosse, range ± 300 veh/h, ammontano a 99/174, pari al 56.9% dei punti totali.

Quelli ricadenti nella banda delimitata dalle rette arancioni, comprendente gli errori inferiori al $\pm 20\%$, risultano essere 60/174, corrispondente al 34.5% dei punti totali.

In entrambe i casi, Figura 8-31 e Figura 8-29, si nota un coefficiente di determinazione (R^2) molto simile e superiore a 0.82. Anche se tale valore, discretamente prossimo all'unità, lascierebbe pensare che l'errore delle stime sia contenuto, si sconsiglia di fare affidamento su questo indicatore. Nel modello di regressione lineare senza intercetta, infatti, il calcolo di R^2 perde ogni significato, perché la retta non passa dal punto medio del sistema e, dunque, non vale più la scomposizione della varianza.

In definitiva, il calcolo del RMSE congiuntamente con i risultati illustrati nei paragrafi 8.3.2.1 e 8.3.2.2, mostrano una maggiore corrispondenza delle stime con i flussi misurati alle ore 8:00.

8.3.3 Validazione integrativa - confronto tra flussi stimati e TGM da grafo BDTRE

L'ulteriore validazione, che si propone in questa fase, pur ribadendone la minore attendibilità, è in grado di fornire un risultato molto più esteso rispetto al precedente, poiché il termine di confronto con i flussi stimati, rappresentato dal traffico giornaliero medio, è, questa volta, disponibile per l'intero grafo stradale.

Avendo stabilito, nel corso della validazione primaria, una maggiore compatibilità tra i flussi stimati e le misurazioni delle ore 8:00, per le analisi a seguire verrà adottato definitivamente tale orario.

Tralasciando le inesattezze intrinseche al parametro TGM, dovute ad errori di stima ed alle fluttuazioni periodiche rispetto al dato puntuale, per poter procedere con il processo comparativo, occorre risolvere le maggiori incompatibilità con i dati stimati:

- Il TGM, estratto dal grafo BDTRE, è fornito come somma dei flussi nelle due direzioni, mentre le stime prodotte sono differenziate per verso di percorrenza.

Non conoscendo l'orientamento degli archi BDTRE, tuttavia, non risulta possibile risalire al direzionamento dei flussi e, quindi, intervenire sul valore complessivo del TGM. Quel che si può adattare, però, sono i flussi stimati dal processo di assegnazione, sommando, per ciascun arco bidirezionale, i valori individuati nei due versi di percorrenza.

Lo stesso adattamento viene eseguito per i dati 5T, sommando i flussi misurati nelle due direzioni attraverso i sensori associati ad uno stesso arco. Questo risultato verrà impiegato per condurre la verifica di congruenza tra i dati tratti dal grafo BDTRE e le misure 5T, sulla base delle quali è stato stimato il TGM.

- Il TGM rappresenta, per definizione, il valore giornaliero di traffico, ma lo si vuole porre a confronto con le stime di flusso orarie.

In questo caso, risulta possibile convertire il dato giornaliero nel corrispondente valore orario, selezionando opportunamente la quota di traffico associata all'ora scelta per l'analisi. Considerando che il TGM è stato valutato, tra le altre fonti, anche sui dati dei sensori induttivi, si è deciso, al fine di garantire una maggiore coerenza, di adottare la quota di traffico delle ore 8:00 tratta dalla distribuzione oraria dei flussi 5T, presentata nel paragrafo 7.3.

Il flusso orario sarà dunque calcolato come prodotto tra il TGM e la quota di traffico relativa alle ore 8:00, pari al 7.89%.

Per procedere con l'analisi, occorre, innanzitutto, recuperare il dato relativo al TGM, contenuto sul layer *Archi* ottenuto nel corso del paragrafo 5.3.1.5 e, successivamente proiettarlo sul vettore *OT_DUE*, eseguendo un join tra gli identificativi degli archi. Il contenuto presente nei campi *LINKNR*, *DIRECTION*, *LENGTH* e *TGM*, dunque, può essere copiato dal file *OT_DUE.dbf* al foglio *Links_TGM*, contenuto sulla cartella di lavoro *ValidazioneRisultati.xlsx* e predisposto come in Tab. 5-17.

Una volta importati i parametri necessari sul foglio di calcolo, si può eseguire la conversione del TGM in flusso orario e calcolare la somma dei valori di traffico nelle due direzioni, attraverso le formule esposte in Tab. 5-18.

È possibile, a questo punto, eseguire la verifica di congruenza tra i flussi misurati da 5T e quelli ottenuti dal TGM estratto dal grafo BDTRE, così da constatarne la presunta affidabilità prima di approcciare l'effettivo processo di validazione integrativa.

8.3.3.1 Verifica di congruenza tra flussi misurati dai sensori 5T e TGM da grafo BDTRE

In virtù del fatto che il valore del traffico giornaliero medio, estratto dal grafo BDTRE, è stato calcolato sulla base di dati provenienti da diverse fonti, tra le quali si ritrovano anche le misurazioni dei sensori 5T, si ritiene legittimo verificare la congruenza del valore stimato del TGM con il dato grezzo fornito da 5T.

Convertendo il TGM in flusso orario, se ne può calcolare la differenza con le letture dei sensori, così da quantificare l'entità dell'errore complessivo, dato dalla somma dei seguenti contributi:

- errore nella stima del TGM, teoricamente inferiore al 20%;
- errori introdotti nelle varie fasi di ri-proiezione geometrica;
- eventuale errore dovuto al processo di imputazione statistica;
- errore di conversione del TGM in flusso orario;
- variabilità periodica del dato reale rispetto al valore medio.

Avendo già predisposto i dati necessari all'interno del foglio *Links_TGM*, come mostrato in Tab. 5-17, si può completare l'elaborazione aggiungendo al foglio di calcolo la tabella mostrata sulla destra di Tab. 5-19, ed introducendo le formule elencate in Tab. 5-20.

Ricordando che il confronto viene eseguito esclusivamente per gli archi del grafo associati ai sensori di traffico, che sono stati selezionati durante la fase di validazione primaria, aggregando le letture dei flussi nelle due direzioni, la valutazione degli errori relativi ed assoluti si riduce ad un elenco di 160 archi univoci.

8.3.3.1.1 Distribuzione di frequenza dell'errore relativo

Per procedere con l'analisi dei residui (ε), occorre, innanzitutto, definire l'ampiezza delle classi d'errore ($\Delta\varepsilon$) e, successivamente, costruire l'istogramma delle frequenze.

Le classi definite per l'errore relativo sono le seguenti:

- $-100\% \leq \varepsilon \leq 200\% \rightarrow \Delta\varepsilon = 20\%$;
- $200\% < \varepsilon \leq 800\% \rightarrow \Delta\varepsilon = 200\%$;
- $800\% < \varepsilon \leq +\infty \rightarrow \Delta\varepsilon = 1831\%$.

In Tabella 8-6, si riportano le classi così definite e la loro rispettiva frequenza osservata.

Tabella 8-6 Classi d'errore relativo e frequenza osservata – residuo valutato sulle misurazioni delle ore 8:00

Classe	Intervallo	Archi con sensore	
	$\% \varepsilon_{\min}; \% \varepsilon_{\max}$	f	$f [\%]$
1	[-100; -80)	3	2%
2	[-80; -60)	6	4%
3	[-60; -40)	21	13%
4	[-40; -20)	19	12%
5	[-20; 0]	30	19%
6	(0; 20]	18	11%
7	(20; 40]	10	6%
8	(40; 60]	9	6%
9	(60; 80]	14	9%
10	(80; 100]	8	5%
11	(100; 120]	7	4%
12	(120; 140]	5	3%
13	(140; 160]	2	1%
14	(160; 180]	1	1%
15	(180; 200]	2	1%
16	(200; 400]	1	1%
17	(400; 600]	2	1%
18	(600; 800]	1	1%
19	(800; 2631]	1	1%
TOT	[-100; 2631]	160	100%

Da quanto mostrato in Tabella 8-6, si osservano i seguenti risultati:

- Gli errori dovuti ad una sottostima dei flussi, intervallo [-100%; 0], ricoprono il 49% dei casi totali;
- Gli errori di sovrastima comprendono una quota pari al 51% dei casi, di cui il 37% ricadenti nell'intervallo (0; 100%], ed il restante 14% nel range (100%; +∞);
- I casi più favorevoli, con errore inferiore a $\pm 20\%$, sono complessivamente il 30%;
- L'errore medio (ERR_{med}) vale 43.72%.

Rispetto alla distribuzione di frequenza dell'errore relativo riscontrato per i flussi stimati dall'assegnazione, si osserva lo stesso bilancio tra i residui di segno negativo e positivo, ma si riducono i risultati favorevoli mentre cresce l'entità delle sovrastime, generando una coda molto estesa lungo il semiasse positivo.

In compenso non si osservano archi completamente scarichi, dunque, non si riscontrano errori pari al -100% e le sottostime risultano leggermente più concentrate intorno allo zero.

Diagrammando la frequenza osservata degli errori relativi ricadenti nelle 19 classi, per i 160 archi univoci totali, si ottiene la distribuzione riportata in Figura 8-33.

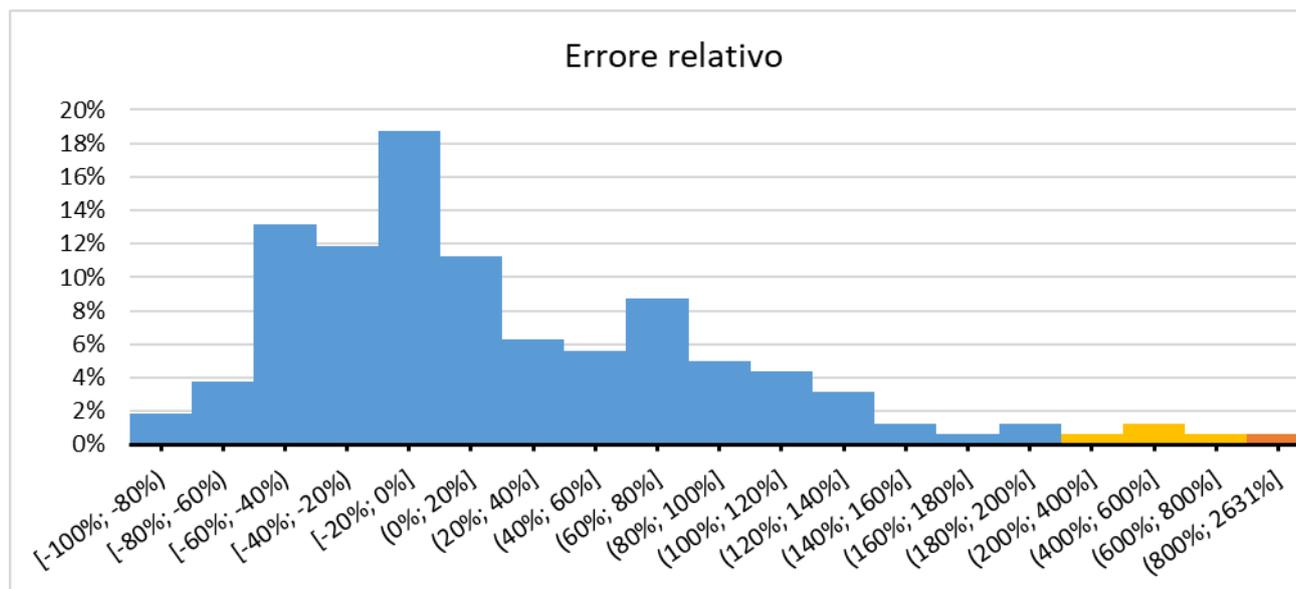


Figura 8-33 Distribuzione di frequenza osservata per l'errore relativo – residuo valutato sulle misurazioni delle ore 8:00

Osservando il diagramma di distribuzione di frequenza empirica, si osserva una discreta concentrazione dell'errore intorno allo zero, ed una coda piuttosto assottigliata ma molto estesa sul semiasse positivo.

8.3.3.1.2 Distribuzione di frequenza dell'errore assoluto

Passando alla valutazione dell'errore assoluto, si definisce, innanzitutto, l'ampiezza delle classi, come riportato nel seguito:

- $-1495 \text{ veh/h} \leq \varepsilon < -1200 \text{ veh/h} \rightarrow \Delta\varepsilon = 295 \text{ veh/h}$;
- $-1200 \text{ veh/h} \leq \varepsilon \leq 1800 \text{ veh/h} \rightarrow \Delta\varepsilon = 300 \text{ veh/h}$;
- $1800 \text{ veh/h} < \varepsilon \leq 2496 \text{ veh/h} \rightarrow \Delta\varepsilon = 696 \text{ veh/h}$.

Sulla base delle classi così definite, si ottengono i risultati riportati in Tabella 8-7.

Tabella 8-7 Classi d'errore assoluto e frequenza osservata – residuo valutato sulle misurazioni delle ore 8:00

Classe	Intervallo	Archi con sensore	
	$\varepsilon_{\min}; \varepsilon_{\max}$	f	f [%]
1	[-1495; -1200]	3	2%
2	[-1200; -900]	7	4%
3	[-900; -600]	11	7%
4	[-600; -300]	20	13%
5	[-300; 0]	38	24%
6	(0; 300]	34	21%
7	(300; 600]	25	16%
8	(600; 900]	12	8%
9	(900; 1200]	5	3%
10	(1200; 1500]	2	1%
11	(1500; 1800]	2	1%
12	(1800; 2496]	1	1%
TOT	[-1495; 2496]	160	100%

Osservando i risultati esposti in Tabella 8-7, si riscontra quanto segue:

- Gli errori di sottostima dei flussi, intervallo [-1495 veh/h; 0], ricoprono il 49% dei casi totali;
- Gli errori di sovrastima comprendono il rimanente 51% dei casi, di cui il 37% ricadenti nell'intervallo (0; 600 veh/h], ed il restante 14% nel range (600 veh/h; 2496 veh/h);
- I casi più favorevoli, con errore inferiore a ± 300 veh/h, sono complessivamente il 45%;
- L'errore medio ($DIFF_{med}$) vale 37 veh/h.

Anche in questo caso, rispetto alla distribuzione di frequenza riscontrata per i flussi stimati dall'assegnazione, si riducono i risultati favorevoli mentre cresce l'entità delle sovrastime, generando una maggior dispersione degli errori con coda più estesa lungo l'asse positivo.

Riportando i risultati sull'istogramma di frequenza, si ottiene la distribuzione mostrata in Figura 8-34.

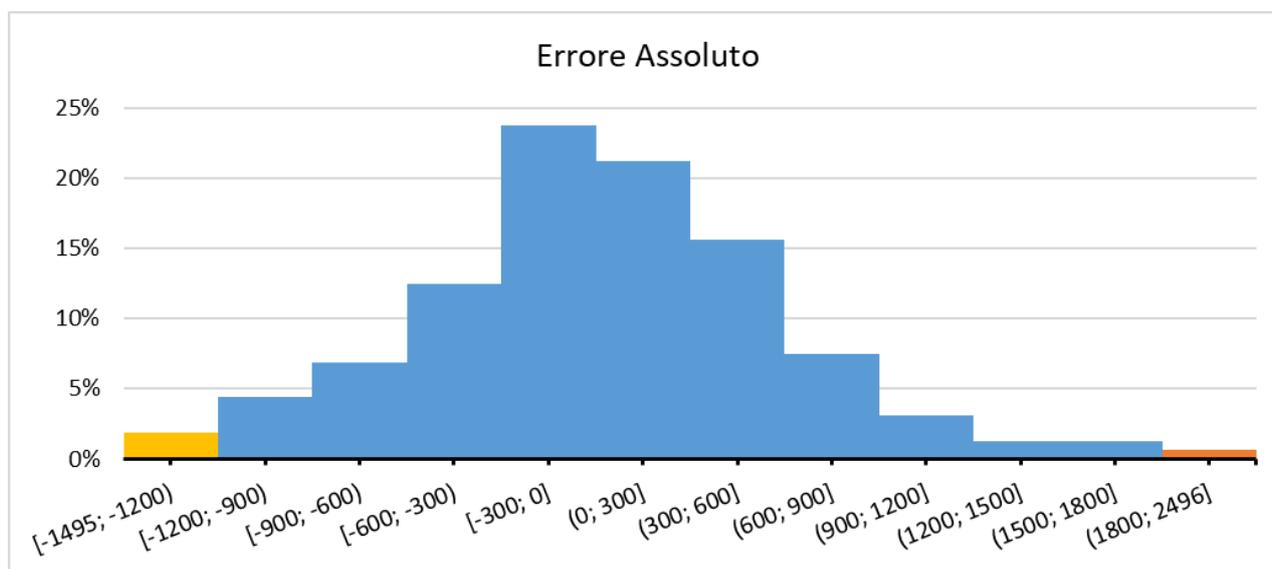


Figura 8-34 Distribuzione di frequenza osservata per l'errore assoluto – residuo valutato sulle misurazioni delle ore 8:00

Nonostante la maggiore estensione della coda sul semiasse positivo, la distribuzione appare discretamente simmetrica e centrata su un valore prossimo allo zero.

8.3.3.1.3 Errore standard delle stime

L'errore standard delle stime, calcolato in analogia con quanto presentato nel paragrafo 8.3.2.4, risulta pari a 602 veh/h, e, ipotizzando una distribuzione normale standard dei residui, si potrebbe garantire un livello di confidenza pari a 68.27% per l'intervallo [-602 veh/h; +602 veh/h]. L'effettiva distribuzione degli errori non è, tuttavia, di tipo normale, non è centrata sullo zero e la quota di errori che ricadono nell'intervallo di confidenza risulta superiore al valore teorico, raggiungendo il 73.8%.

La deviazione standard degli errori risulta, in questo caso, sensibilmente più spiccata rispetto al valore ottenuto per i flussi stimati dell'assegnazione, probabilmente perché accentuata da tutte le incertezze introdotte durante le varie fasi di rimaneggiamento delle informazioni e dalle naturali fluttuazioni periodiche dei flussi reali rispetto al TGM.

In definitiva, si ritiene possibile procedere con la validazione integrativa al solo fine di ottenere una valutazione estesa all'intera rete, ma, vista la ridotta affidabilità, gli esiti che ne scaturiranno avranno un peso minore rispetto ai giudizi derivanti dalla validazione primaria.

8.3.3.2 Confronto tra i flussi stimati dall'assegnazione ed il traffico orario derivato dal TGM

Il confronto effettuato in quest'ultima fase costituisce il vero e proprio processo di validazione integrativa, dal quale scaturiscono le osservazioni finali sulla bontà delle stime prodotte.

I dati necessari sono già stati predisposti sul foglio *Links_TGM*, all'interno della Tab. 5-17, ma prima di procedere occorre soffermarsi su un'ulteriore problematica.

Come anticipato, il TGM, tratto dal grafo BDTRE, non può essere differenziato in base al direzionamento dei flussi e viene, dunque, fornito come somma dei valori nelle due direzioni. Per legittimare il confronto, quindi, anche i flussi ricavati dall'assegnazione sono stati riportati come somma dei valori nelle due direzioni, ma questo espediente non si rivela risolutivo in tutti i casi.

In effetti, sul grafo BDTRE si è frequentemente riscontrato che gli archi stradali che convergono nelle rotonde, anche se bidirezionali, si biforcano sulle estremità mostrando la distinzione tra le corsie di ingresso e di uscita dal nodo. Il TGM complessivo delle due direzioni viene, in questi casi, associato solo alle corsie d'ingresso o a quelle di uscita dal nodo, lasciando l'arco diretto nel verso opposto scarico. Le informazioni mancanti sono, poi, state completate durante il processo di imputazione statistica e, quindi, su entrambi i bracci in entrata/uscita risulta associato il TGM dato dalla somma delle due direzioni, ottenendo, nel migliore dei casi, la situazione riportata in Figura 8-35.

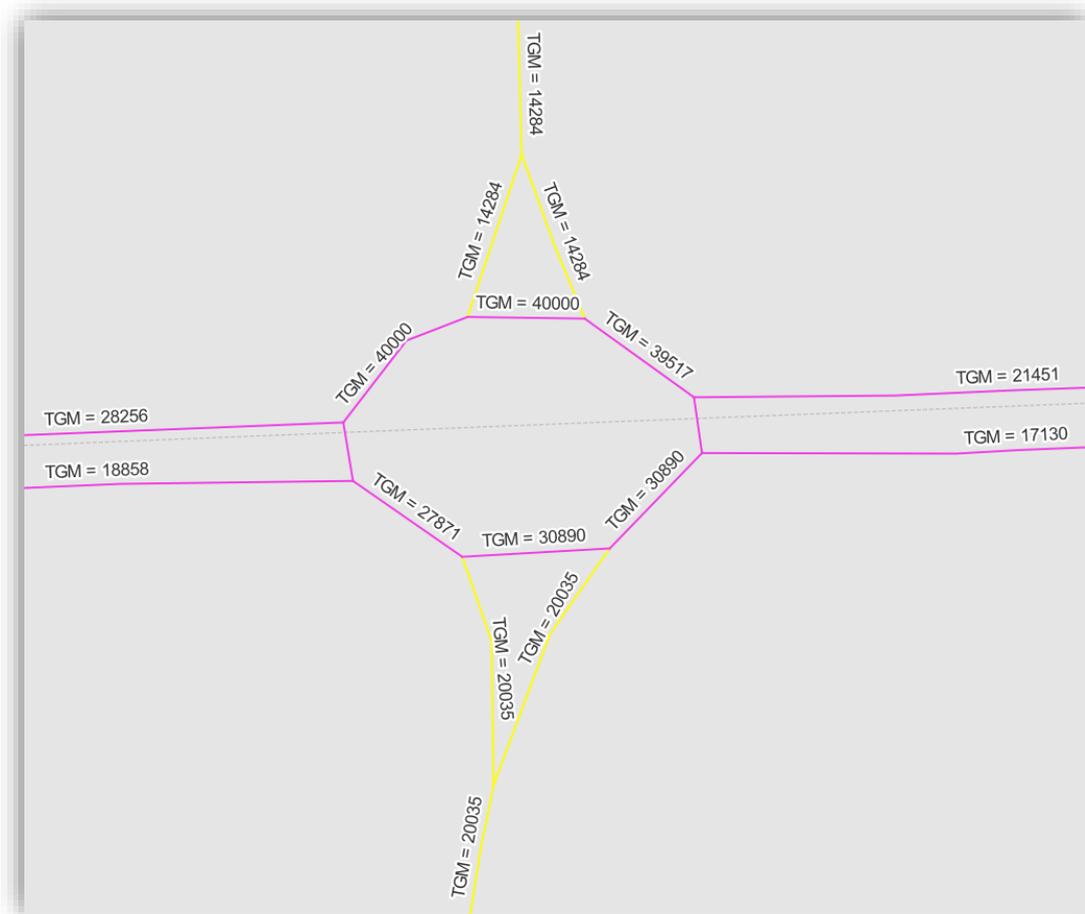


Figura 8-35 Esempio di assegnazione del TGM per i bracci delle rotonde

Il problema, in queste situazioni, è dovuto all'impossibilità di sommare i valori nelle due direzioni dei flussi ricavati dall'assegnazione, poiché associati a geometrie distinte e non ad un unico arco bidirezionale.

Considerando che, generalmente, gli archi che ricadono in questa casistica risultano di estensione ridotta, si potrebbe pensare di bypassare il problema escludendo dal processo di validazione gli elementi sotto una prestabilita lunghezza minima.

Per tale ragione, sul foglio *Links_TGM* è stato importato anche il campo LENGTH e le elaborazioni, mostrate sulla tabella di sinistra in Tab. 5-19 ed effettuate attraverso le formule elencate in Tab. 5-20, sono state condotte prevedendo la possibilità di filtrare gli elementi in base alla lunghezza.

Provando a variare il vincolo sulla lunghezza minima degli archi, si è, tuttavia, riscontrato un incremento dell'errore standard delle stime, proporzionale al valore di lunghezza introdotto come soglia. In definitiva, si è, dunque, stabilito di non applicare quest'ulteriore scrematura degli elementi, adottando un valore di lunghezza minima pari a zero, così da minimizzare l'errore standard complessivo.

La validazione è stata, inoltre, ristretta ai soli 6380 archi caricati, in fase di assegnazione, con un flusso orario maggiore di zero.

8.3.3.2.1 Distribuzione di frequenza dell'errore relativo

L'errore relativo (ε), derivante da questo processo di validazione, può essere valutato sulla base della frequenza di appartenenza alle classi di ampiezza $\Delta\varepsilon$, definite come in segue:

- $-100\% \leq \varepsilon \leq 300\% \rightarrow \Delta\varepsilon = 33.33\%$;
- $300\% < \varepsilon \leq 800\% \rightarrow \Delta\varepsilon = 100\%$;
- $800\% < \varepsilon \leq +\infty \rightarrow \Delta\varepsilon = 19935\%$.

Sulla base delle classi così definite, si ottengono i risultati riportati in Tabella 8-8.

Tabella 8-8 Classi d'errore relativo e frequenza osservata – residuo valutato sulla quota oraria di TGM delle 8:00

Classe	Intervallo	Archi con sensore	
	% ε_{\min} ; % ε_{\max}	f	f [%]
1	[-100; -67)	1044	16%
2	[-67; -33)	1177	18%
3	[-33; 0)	1048	16%
4	(0; 33]	928	15%
5	(33; 67]	621	10%
6	(67; 100]	464	7%
7	(100; 133]	269	4%
8	(133; 167]	175	3%
9	(167; 200]	134	2%
10	(200; 233]	100	2%
11	(233; 267]	59	1%
12	(267; 300]	55	1%
13	(300; 400]	91	1%
14	(400; 500]	62	1%
15	(500; 600]	28	0%
16	(600; 700]	21	0%
17	(700; 800]	24	0%
18	(800; 20735]	80	1%
TOT	[-100; 20735]	6380	100%

Da quanto mostrato in Tabella 8-8, si osservano i seguenti risultati:

- Gli errori dovuti ad una sottostima dei flussi, intervallo $[-100\%; 0]$, ricoprono il 51% dei casi totali, di cui ben il 16% ricadente nell'intervallo $[-100\%; -67\%]$;
- Gli errori di sovrastima comprendono una quota pari al 49% dei casi, di cui il 32% ricadenti nell'intervallo $(0; 100\%]$, ed il restante 17% nel range $(100\%; +\infty)$;
- I casi più favorevoli, con errore inferiore a $\pm 33\%$, sono complessivamente il 31%;
- L'errore medio (ERR_{med}) vale 54.99%.

Il bilancio tra gli errori con segno positivo e negativo sembra essere equilibrato, ma la frequenza delle sottostime è molto elevata anche per le classi estreme, mentre la coda lungo l'asse positivo risulta molto estesa. Nonostante l'esclusione dal processo di validazione degli archi con flusso nullo, il risultato indica, dunque, la presenza di numerose sottostime di entità relativamente importante.

Diagrammando la frequenza osservata degli errori relativi ricadenti nelle 18 classi, per i 6380 archi univoci totali, si ottiene la distribuzione riportata in Figura 8-36.

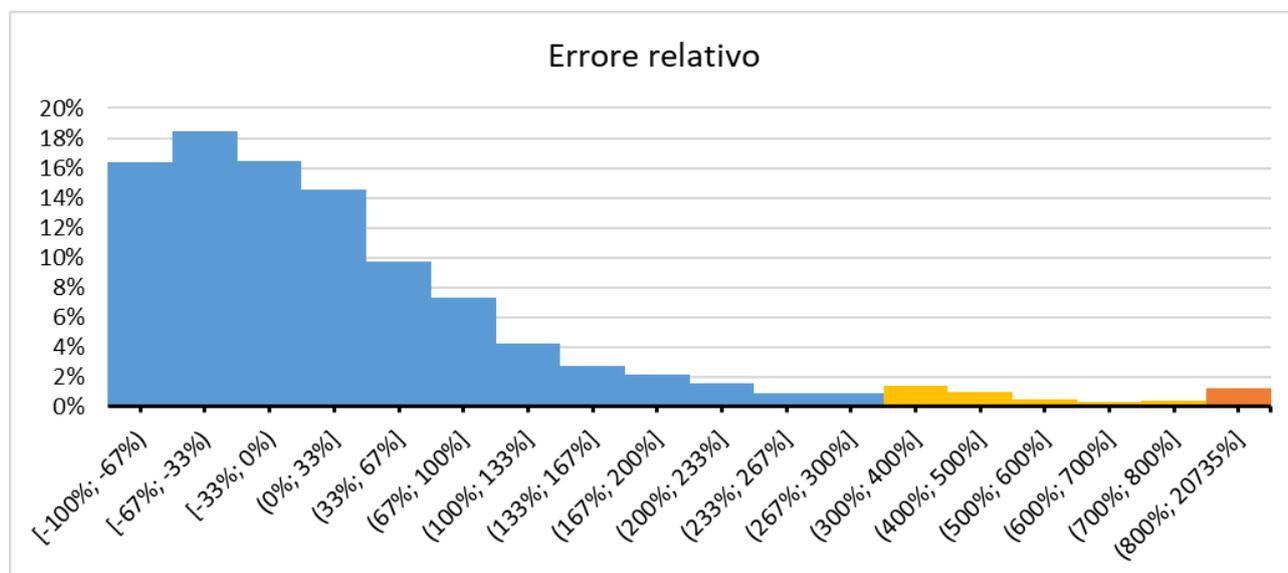


Figura 8-36 Distribuzione di frequenza osservata per l'errore relativo – residuo valutato sulla quota oraria di TGM delle 8:00

Per via della presenza di forti sottostime e di una lunga coda sul lato opposto, la distribuzione di frequenza degli errori relativi risulta fortemente asimmetrica.

8.3.3.2 Distribuzione di frequenza dell'errore assoluto

Passando alla valutazione dell'errore assoluto, si definisce, innanzitutto, l'ampiezza delle classi, come riportato nel seguito:

- $-3121 \text{ veh/h} \leq \varepsilon < -1500 \text{ veh/h} \rightarrow \Delta\varepsilon = 1621 \text{ veh/h}$;
- $-1500 \text{ veh/h} \leq \varepsilon \leq 1500 \text{ veh/h} \rightarrow \Delta\varepsilon = 300 \text{ veh/h}$;
- $1500 \text{ veh/h} < \varepsilon \leq 4042 \text{ veh/h} \rightarrow \Delta\varepsilon = 2542 \text{ veh/h}$.

In Tabella 8-9, si riportano le classi così definite e la loro rispettiva frequenza osservata.

Tabella 8-9 Classi d'errore assoluto e frequenza osservata – residuo valutato sulla quota oraria di TGM delle 8:00

Classe	Intervallo	Archi con sensore	
	$\varepsilon_{\min}; \varepsilon_{\max}$	f	f [%]
1	[-3121; -1500]	85	1%
2	[-1500; -1200]	84	1%
3	[-1200; -900]	188	3%
4	[-900; -600]	360	6%
5	[-600; -300]	968	15%
6	[-300; 0]	1584	25%
7	(0; 300]	1470	23%
8	(300; 600]	783	12%
9	(600; 900]	431	7%
10	(900; 1200]	220	3%
11	(1200; 1500]	103	2%
12	(1500; 4042]	104	2%
TOT	[-3121; 4042]	6380	100%

Osservando i risultati esposti in Tabella 8-9, si riscontra quanto segue:

- Gli errori di sottostima dei flussi, intervallo [-3121 veh/h; 0], ricoprono il 51% dei casi totali;
- Gli errori di sovrastima comprendono il rimanente 49% dei casi, di cui il 35% ricadenti nell'intervallo (0; 600 veh/h], ed il restante 14% nel range (600 veh/h; 4042 veh/h];
- I casi più favorevoli, con errore inferiore a ± 300 veh/h, sono complessivamente il 48%;
- L'errore medio ($DIFF_{\text{med}}$) vale 12 veh/h.

Anche in questo caso, il bilancio tra errori positivi e negativi è equilibrato e la presenza di una coda estesa anche sull'asse negativo lascia presagire una buona simmetria della distribuzione di frequenza.

Rispetto alla distribuzione degli errori relativi, in questo caso, si osserva una frequenza molto ridotta dei residui più grandi. Questo risultato indica che gli errori di sottostima coinvolgono prevalentemente gli archi stradali poco trafficati, per i quali l'errore assoluto non può che risultare di ridotta entità.

Se, per esempio, si osservasse un arco con flusso effettivo di 300 veh/h e flusso stimato di 30 veh/h, ne risulterebbero, infatti, un errore assoluto sufficientemente ridotto (270 veh/h) ed un errore relativo molto rilevante (-90%).

Riportando i risultati sull'istogramma di frequenza, si ottiene, infine, la distribuzione mostrata in Figura 8-37.

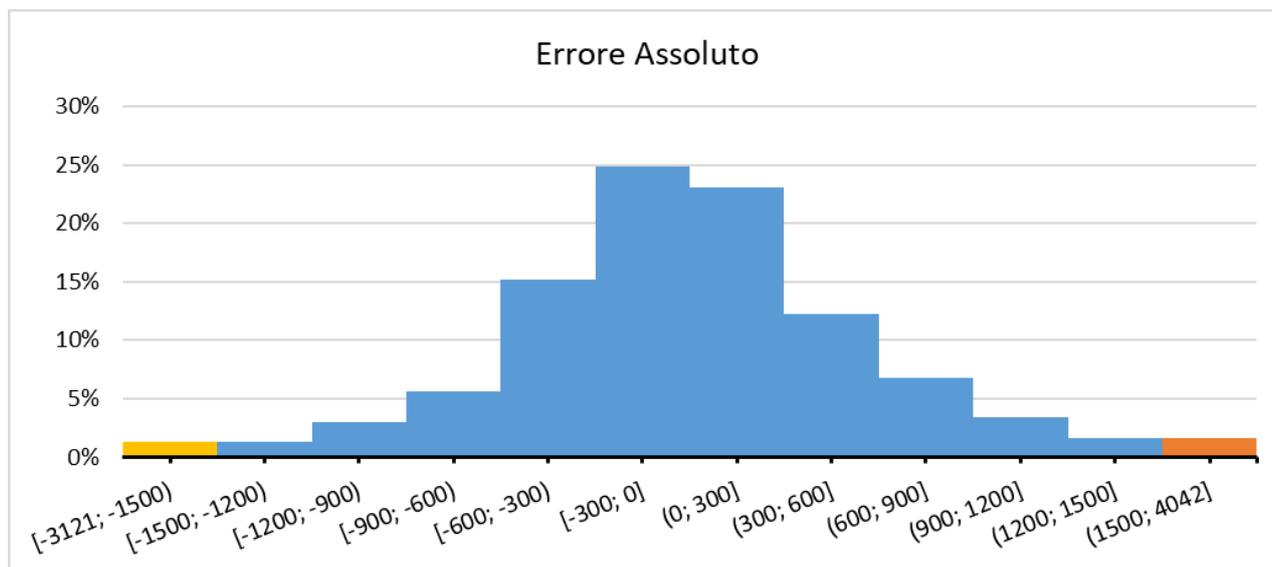


Figura 8-37 Distribuzione di frequenza osservata per l'errore assoluto – residuo valutato sulla quota oraria di TGM delle 8:00

Come preannunciato, la distribuzione di frequenza risulta fortemente simmetrica e centrata in un punto sufficientemente prossimo allo zero, avvicinandosi molto ad una distribuzione standardizzata di tipo normale.

Su entrambi i quadranti, positivo e negativo, si osserva la presenza di errori elevati ma poco frequenti, mentre la numerosità dei residui cresce in maniera monotona avvicinandosi allo zero.

8.3.3.2.3 Distribuzione spaziale dell'errore assoluto

Giunti a questo punto, si riporta l'errore assoluto sugli archi del grafo, ottenendo così la distribuzione spaziale mostrata nella seguente Figura 8-38.

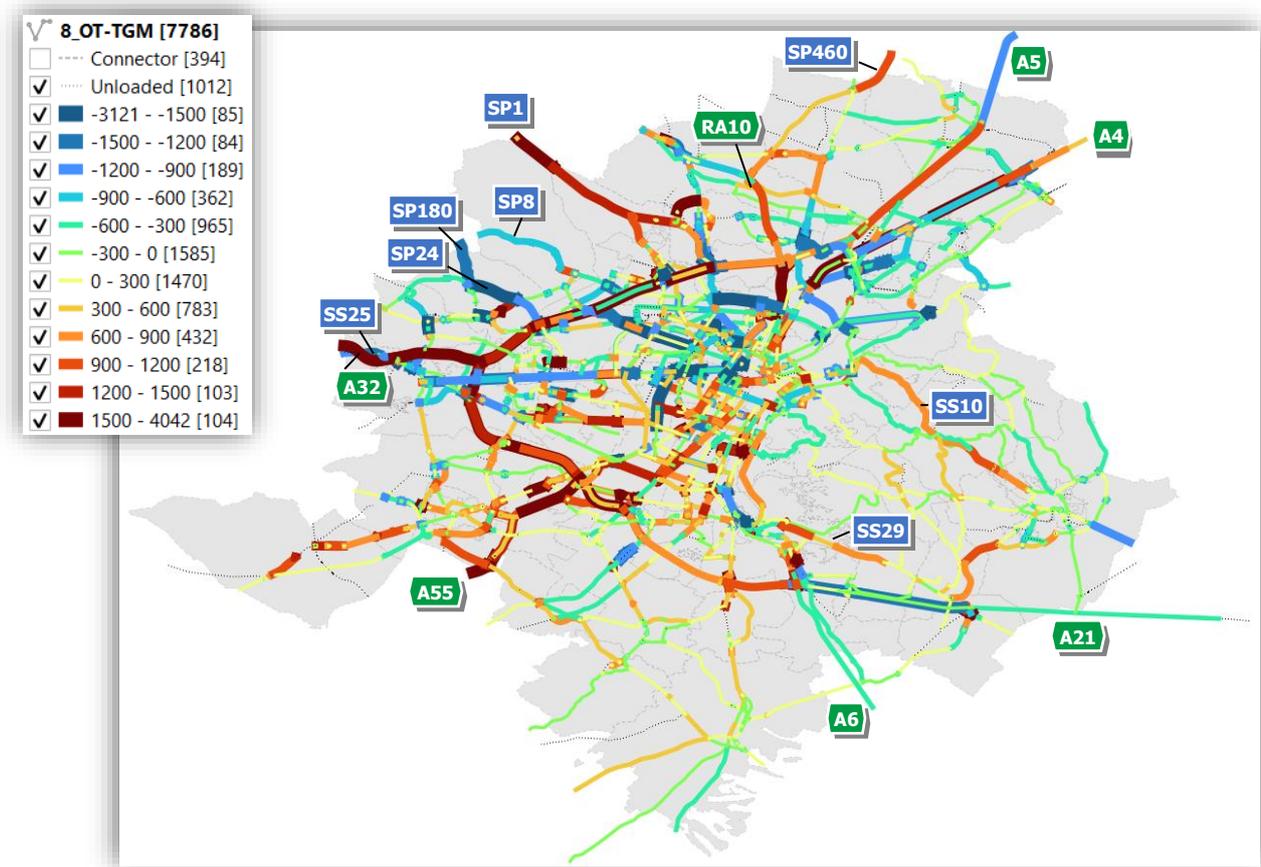


Figura 8-38 Distribuzione spaziale dell'errore assoluto, calcolato come residuo tra i flussi stimati e la quota oraria di TGM delle 8:00

Dai risultati mostrati in Figura 8-38, si ricavano le seguenti osservazioni:

- Le sovrastime maggiori interessano prevalentemente gli archi autostradali, come la A32, l'intera A55 (autostrada del Pinerolese e tangenziale) e le corsie in ingresso della A4, della A5 e del RA10. Le sovrastime riscontrate sulla A5 e sulla tangenziale Sud, tuttavia, si interrompono bruscamente in prossimità dei comuni della cintura, senza raggiungere le zone esterne.
- Osservando, invece, le sottostime che interessano i percorsi autostradali, si riscontrano risultati particolarmente distorti per le corsie della A4 e della A5 in uscita dall'area di studio, per la A21 e la A6.
- Le sovrastime più evidenti che riguardano le tratte extraurbane si individuano sulla SP460, sulla SP1, sulla SS29, sulla SS10, su Via Torino e su Strada Orbassano.
- Al contrario, le sottostime sui percorsi extraurbani si individuano, prevalentemente, sulla SP180, sulla SP24, sulla SP8, sulla SS25 e su Via Padana Inferiore.
- In ambito urbano, le maggiori sovrastime riguardano Via Luigi Settembrini, Corso Giovanni Agnelli, Corso Unione Sovietica, Corso Giuseppe Allamano, Corso Carlo e Nello Rosselli, Corso Spezia, Corso Castelfidardo e Corso Giulio Cesare.
- Le sottostime più marcate sugli archi stradali urbani riguardano, infine, Corso Regina Margherita, Corso Francia, Via Guglielmo Reiss, Via Borgaro e Corso Principe Eugenio.

Trascurando l'entità degli errori, poiché ritenuta poco attendibile, i risultati appaiono globalmente coerenti con le principali osservazioni derivanti dal confronto con il "Typical Traffic" di Google e dal processo di validazione primaria.

8.3.3.2.4 Errore standard delle stime

Dal calcolo dell'errore standard delle stime risulta, infine, un valore di 618 veh/h, e, ipotizzando una distribuzione normale standard dei residui, si potrebbe garantire un livello di confidenza pari a 68.27% per l'intervallo [-618 veh/h; +618 veh/h]. La quota di errori che ricadono nell'intervallo di confidenza risulta, tuttavia, superiore al valore teorico, raggiungendo il 76.3%.

9. Conclusioni

In questo studio si è cercato di esplorare il potenziale dell'applicazione di tecniche di analisi dei dati cellulari in ambito trasportistico, al fine di produrre una stima dei flussi veicolari orari, relativi all'ora di punta del mattino del giorno 13/02/2019, per l'area di studio di Torino e cintura.

Come pronosticato, le informazioni analizzate, per questioni di rispetto della privacy degli utenti, sono risultate strutturate in maniera inefficiente per il conseguimento delle finalità prefissate in questo studio. Il dato aggregato, infatti, non ha permesso di stabilire a priori né i tempi di viaggio, né i tragitti effettivamente intrapresi e, conseguentemente, neanche le distanze di percorrenza. Le preelaborazioni effettuate a monte, inoltre, hanno prodotto un dato cosiddetto "di destinazione" non sempre conforme con il concetto di destinazione finale adottato in ambito trasportistico, introducendo così ulteriori incertezze nella distinzione tra destinazioni e transiti.

La destinazione riportata sul dataset, infatti, essendo limitata ad una percorrenza di 60 minuti (o al limite di 120 minuti, come ipotizzato al termine del paragrafo 3.5), potrebbe non essere rappresentativa dell'effettiva meta finale relativa ai viaggi più lunghi e, indicando solo l'ultima ACE raggiunta al termine dell'intervallo orario, porterebbe celare la presenza di spostamenti intermedi di breve entità effettuati in tempi ravvicinati. Poiché gli spostamenti con tempo di percorrenza superiore ai 60 minuti dovrebbero, per lo più, risultare diretti verso l'area di studio esterna, per essi non è strettamente necessario conoscere la destinazione finale esatta ma è sufficiente individuarne le principali direttrici di uscita. Il problema maggiore, dunque, potrebbe essere costituito dalla mancata individuazione degli spostamenti brevi ma, non potendo verificare il sussistere di tale eventualità, si è stabilito di procedere senza tener conto di questa possibile lacuna.

Pertanto, trascurando le inesattezze relative all'informazione sulla destinazione, le altre nozioni fondamentali sono, quindi, state ricavate dall'albero dei cammini minimi estratto dal grafo stradale, che è stato appositamente modellato per adattarsi al livello di aggregazione spaziale dei dati di mobilità.

Si è, dunque, riusciti a porre rimedio alle principali difficoltà previste, seppur adottando alcune assunzioni fortemente semplificative, ma, nel corso dell'analisi, sono emerse altre criticità non contemplate inizialmente.

Innanzitutto, secondo la documentazione fornita a corredo del dataset, la destinazione dovrebbe indicare l'area dove viene individuata una generica SIM nell'ora successiva all'orario d'analisi, ciò lascia intendere che lo spostamento dovrebbe durare al massimo 60 minuti, eppure si sono individuate destinazioni evidentemente incompatibili con tali tempistiche. Poiché l'informazione, archiviata all'interno del dataset, non è associata ad un istante specifico ma ad un intervallo orario, si è, dunque, ipotizzato che la destinazione riportata potesse rappresentare l'ultima località raggiunta nell'arco massimo di 120 minuti oppure, per spostamenti più lunghi, la prima area individuata, così da giustificare la presenza di destinazioni anche più distanti di due ore.

La problematica maggiore, tuttavia, è stata la determinazione del tasso di campionamento poiché, dalle verifiche condotte, è risultato molto maggiore della quota di mercato detenuta da TIM (27.9%) nello stesso anno di riferimento dei dati (2019). La numerosità del campione è risultata, invece, molto prossima al totale complessivo degli spostamenti stimati dai dati IMQ, e, in alcuni casi, anche superiore a tale valore. Per queste ragioni si è quindi assunto che il dato fosse già stato ponderato riferendolo al totale della popolazione residente durante le fasi di preelaborazione condotte da Olivetti e che, a causa di un possibile effetto ping-pong tra celle telefoniche contigue o sovrapposte, gli errori locali di sovracampionamento siano, addirittura, stati amplificati.

Infine, durante l'analisi dell'ora di punta, si è riscontrata una possibile incongruenza tra l'orario associato al dataset TIM, con buone probabilità espresso nel fuso orario universale UTC+0, e quello riferito ai flussi di traffico misurati da 5T, indicato secondo l'ora locale UTC+1. Non essendo stato possibile richiedere ulteriori precisazioni direttamente alla fonte, si è eseguita l'assegnazione dei flussi veicolari campionati alle ore 7:00 ed i valori risultanti sono stati comparati con il traffico registrato dai sensori 5T sia delle ore 7:00 che delle 8:00. Da questa verifica si è riscontrata, come ipotizzato, una maggior coerenza con il traffico relativo alle 8:00 del fuso orario locale.

Per quantificare l'entità degli errori commessi nella stima dei flussi si è, quindi, eseguita una procedura di validazione basata, principalmente, sul confronto con i valori di traffico misurati per i 174 archi dotati di sensoristica 5T. Da tale processo di validazione primaria si è riscontrato un errore di assegnazione relativo, contenuto al di sotto del $\pm 20\%$ per il 36% degli archi, ed un errore assoluto, inferiore a 300 veicoli/ora nel 56% dei casi. L'errore medio assoluto risulta pari a 15 veicoli/ora, mentre l'errore standard delle stime ammonta complessivamente a 471 veicoli/ora.

Al fine di estendere la validazione dei flussi stimati a tutti i 6380 archi del grafo caricati, si è eseguito un secondo confronto, questa volta con il traffico giornaliero medio estratto dal grafo BDTRE, opportunamente scalato al traffico orario delle ore 8:00. Da questa validazione secondaria si è ottenuto un errore relativo inferiore al 33% per il 31% degli archi caricati, ed un errore assoluto pari a 300 veicoli/ora nel 48% dei casi. L'errore medio assoluto risulta pari a 12 veicoli/ora, mentre l'errore standard delle stime ammonta complessivamente a 618 veicoli/ora.

Analizzando la distribuzione spaziale dell'errore nelle stime sono, infine, emerse le seguenti osservazioni:

- In generale il processo di assegnazione ha portato alla sovrastima dei flussi autostradali in ingresso all'area di studio, in particolare, in prossimità dell'interscambio di Bruere (all'innesto della A32 sulla tangenziale) ed una conseguente sottostima del traffico sui percorsi extraurbani alternativi, prevalentemente strade provinciali o statali. Si ritiene che l'errore sulle tratte extraurbane potrebbe essere dovuto ad una zonizzazione esterna troppo grossolana, ad una caratterizzazione inefficace degli archi fittizi o dal mancato inserimento dei costi generalizzati legati ai pedaggi autostradali.
- Il sovracampionamento degli spostamenti di scambio tra Torino e la cintura e tra la cintura e la provincia, attribuito ad un effetto ping-pong tra le celle telefoniche, causa una sovrastima dei flussi veicolari, particolarmente spiccato sulla SP1 e sulla SS10.
- In ambito urbano, l'eccessiva concentrazione dei flussi sulle strade maggiori è, principalmente, dovuta alla mancata selezione di alcuni archi importanti o, più in generale, ad un livello di dettaglio non sempre sufficiente. Una maggiore dispersione dei flussi si potrebbe ottenere, tuttavia, intervenendo opportunamente sui coefficienti di calibrazione della funzione di costo BPR o rettificando i parametri di velocità e capacità associati agli archi del grafo.

In conclusione, grazie al metodo definito nel corso della trattazione, risulta possibile adoperare i dati cellulari per ricavare una stima verosimile dei flussi di traffico. Le principali incongruenze riscontrate sono, prevalentemente, imputabili alla carenza conoscitiva sulla natura dei dati di input ed alle inevitabili approssimazioni introdotte durante la modellazione dell'offerta infrastrutturale.

Per eventuali sviluppi futuri si suggerisce di ampliare le conoscenze in merito ai dati cellulari, auspicando un maggior scambio di informazioni con il provider, e di adottare un modello d'offerta più raffinato e completo di quello prodotto in questa trattazione sulla base dei soli dati open source. Il modello d'offerta potrebbe, inoltre, essere migliorato adottando una zonizzazione esterna più dettagliata, individuando una seconda cintura di comuni che gravitano intorno al polo torinese, come ad esempio quelli ricadenti nella rispettiva

Conclusioni

area funzionale (FUA). Anche la modellazione di un grafo relativo alla mobilità collettiva e l'introduzione dei costi legati ai pedaggi autostradali potrebbero apportare grandi benefici al risultato finale.

Disponendo delle opportune informazioni e di mezzi adeguati sarebbe, dunque, possibile sfruttare al meglio questa preziosa risorsa per la produzione sistematica di stime di traffico continuamente aggiornate senza necessità di specifiche infrastrutture per la sua misura.

Appendici

A.1 Dettagli sull'analisi e caratterizzazione del campione TIM (file Analisi_CampioneTIM.xlsx)

In Tab. 1-1 si importano, innanzitutto, i dati di presenza del solo comune di Torino (LayerID = 01|001|272|ASC|ACE) relativi al giorno 13/02/2019, tratti dal dataset "TIM – City Forecast" ed etichettati come "PresenceData".

Tab. 1-1 Analisi_CampioneTIM.xlsx - Foglio Pres_TO-TIM

	A	B	C	D	E	F	G
1	Date	Time	LayerID	Tot	Vr	Vp	Ora
2	13/02/2019	11:00 - 12:00	01 001 272 001 018	57596	16394	19814	12
3	13/02/2019	10:00 - 11:00	01 001 272 001 018	55442	16108	19213	11
4	13/02/2019	09:00 - 10:00	01 001 272 001 018	51814	16482	18002	10
5	13/02/2019	08:00 - 09:00	01 001 272 001 018	46709	17778	15143	09
6	13/02/2019	07:00 - 08:00	01 001 272 001 018	40449	20703	8791	08
7	13/02/2019	06:00 - 07:00	01 001 272 001 018	34557	23661	2748	07
8	13/02/2019	05:00 - 06:00	01 001 272 001 018	32989	24595	1325	06
9	13/02/2019	04:00 - 05:00	01 001 272 001 018	33675	24992	1326	05
10	13/02/2019	03:00 - 04:00	01 001 272 001 018	34760	25358	1540	04
11	13/02/2019	02:00 - 03:00	01 001 272 001 018	35634	25605	1713	03
...
1432	13/02/2019	00:00 - 01:00	01 001 272 008 000	2139	1522	109	01
1433	13/02/2019	17:00 - 18:00	01 001 272 008 000	2767	1328	408	18
1434	13/02/2019	16:00 - 17:00	01 001 272 008 000	2847	1230	501	17
1435	13/02/2019	15:00 - 16:00	01 001 272 008 000	2870	1178	552	16
1436	13/02/2019	08:00 - 09:00	01 001 272 008 000	2383	1096	482	09
1437	13/02/2019	07:00 - 08:00	01 001 272 008 000	2160	1239	308	08
1438	13/02/2019	06:00 - 07:00	01 001 272 008 000	1982	1395	134	07
1439	13/02/2019	14:00 - 15:00	01 001 272 008 000	2870	1167	572	15
1440	13/02/2019	13:00 - 14:00	01 001 272 008 000	2770	1150	535	14
1441	13/02/2019	12:00 - 13:00	01 001 272 008 000	2737	1100	546	13

La colonna addizionale, presente in Tab. 1-1, può essere compilata attraverso la formula riportata in Tab. 1-2.

Tab. 1-2 Formule utilizzate sul foglio Pres_TO-TIM (Tab. 1-1)

Cella	Parametro	Formula
G2	Ora	=SINISTRA(DESTRA(\$B\$2:\$B\$1441; 5); 2)

Dettagli sull'analisi e caratterizzazione del campione TIM (file Analisi_CampioneTIM.xlsx)

Successivamente, si introducono in Tab. 1-3 le destinazioni relative all'intera Città metropolitana di Torino (LayerID_O = 01|001|COM|ASC|ACE), riferite al giorno 12/02/2019 e contraddistinte sul dataset con la denominazione "DestinationData".

Tab. 1-3 Analisi_CampioneTIM.xlsx - Foglio Dest_TOT-TIM

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Date	Time	LayerID_O	LayerID_D	Tot	Vr	Vp	Ora	REG_O	REG_D	IMQ_O	IMQ_D	O	D
2	13/02/2019	11:00 - 12:00	01 001 272 001 018	01 001 120 000 000	23	7	8	12	01	01		C002	T	C
3	13/02/2019	11:00 - 12:00	01 001 272 001 018	01 001 120 000 002	17	5	6	12	01	01		C002	T	C
4	13/02/2019	11:00 - 12:00	01 001 272 001 018	01 001 120 000 001	6	2	2	12	01	01		C002	T	C
5	13/02/2019	11:00 - 12:00	01 001 272 001 018	01 001 193 000 000	3	1	1	12	01	01		C070	T	C
6	13/02/2019	11:00 - 12:00	01 001 272 001 018	01 001 028 000 000	9	3	3	12	01	01		C005	T	C
...
430069	13/02/2019	06:00 - 07:00	01 001 095 000 000	01 001 027 000 000	3	2	0	07	01	01			P	P
430070	13/02/2019	06:00 - 07:00	01 001 095 000 000	01 001 004 000 000	3	2	0	07	01	01			P	P
430071	13/02/2019	06:00 - 07:00	01 001 095 000 000	01 001 042 000 000	3	2	0	07	01	01			P	P
430072	13/02/2019	06:00 - 07:00	01 001 095 000 000	01 001 125 000 001	6	5	0	07	01	01			P	P
430073	13/02/2019	06:00 - 07:00	01 001 095 000 000	01 001 125 000 000	3	2	0	07	01	01			P	P

Le colonne addizionali, presenti in Tab. 1-3, possono essere compilate attraverso le formule riportate in Tab. 1-4.

Tab. 1-4 Formule utilizzate sul foglio Dest_TOT-TIM (Tab. 1-1)

Cella	Parametro	Formula	Analisi
H2	Ora	=SINISTRA(DESTRA(\$B\$2:\$B\$430073; 5); 2)	Preliminare
I2	REG_O	=SINISTRA(\$C\$2:\$C\$430073;2)	
J2	REG_D	=SINISTRA(\$D\$2:\$D\$430073;2)	
K2	IMQ_O	=SE.NON.DISP.(INDICE('IMQ-TIM'!\$B\$3:\$B\$55;CONFRONTA(0&\$C\$2:\$C\$430073;'IMQ-TIM'!\$A\$3:\$A\$55;0));""))	Spostamenti tra macroaree
L2	IMQ_D	=SE.NON.DISP.(INDICE('IMQ-TIM'!\$B\$3:\$B\$55;CONFRONTA(0&\$D\$2:\$D\$430073;'IMQ-TIM'!\$A\$3:\$A\$55;0));""))	
M2	O	=SE(SINISTRA(\$C\$2:\$C\$430073;10)="01 001 272";"T"; SE(\$K\$2#<>"";"C"; SE(SINISTRA(\$C\$2:\$C\$430073;6)="01 001"; "P"; SE(SINISTRA(\$C\$2:\$C\$430073;2)="01"; "R"; SINISTRA(\$C\$2:\$C\$430073;2))))	
N2	D	=SE(SINISTRA(\$D\$2:\$D\$430073;10)="01 001 272";"T"; SE(\$L\$2#<>"";"C"; SE(SINISTRA(\$D\$2:\$D\$430073;6)="01 001"; "P"; SE(SINISTRA(\$D\$2:\$D\$430073;2)="01"; "R"; SINISTRA(\$D\$2:\$D\$430073;2))))	

In Tab. 1-5 si riportano i calcoli per la quantificazione dell'errore relativo commesso nella stima delle presenze all'ora H+1 per ciascun'area ACE, ottenuta dall'equilibrio tra presenze, uscite ed ingressi riportati per l'ora H.

Poiché i dati di destinazione relativi alle ore 00 non sono disponibili, il bilancio delle ore 01 non può essere effettuato, come anche il conteggio per le ore 23, per il quale occorrerebbero i dati di presenza del giorno successivo (ore 00 del 14/02/2019).

Tab. 1-5 Analisi_CampioneTIM.xlsx - Foglio **BilancioTO**

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Bilancio tra i dati orari di presenza e di spostamento in ingresso e uscita per le 60 ACE del comune di Torino (13/02/2019)								
2	Ora	LayerID	Presenze H (P)	Uscite H (U)	Ingressi H (I)	Presenze* H+1 (P - U + I)	Presenze H+1	ERR	DIFF
3	00	01 001 272 001 014	36824	0	0	null	34931	null	null
4	00	01 001 272 001 015	32692	0	0	null	30795	null	null
5	00	01 001 272 001 017	23483	0	0	null	21959	null	null
6	00	01 001 272 001 018	40567	0	0	null	37464	null	null
...
723	12	01 001 272 001 014	41578	4967	4411	41022	41849	-2.0%	-827
724	12	01 001 272 001 015	51308	6563	5432	50177	51312	-2.2%	-1135
725	12	01 001 272 001 017	38370	4580	4192	37982	39095	-2.8%	-1113
726	12	01 001 272 001 018	57596	7158	6610	57048	58442	-2.4%	-1394
727	12	01 001 272 001 096	30820	3272	3210	30758	31505	-2.4%	-747
728	12	01 001 272 002 020	15292	1464	1448	15276	15817	-3.4%	-541
...
1439	23	01 001 272 009 160	15109	214	196	15091	null	null	null
1440	23	01 001 272 010 010	43125	666	674	43133	null	null	null
1441	23	01 001 272 010 092	21668	342	348	21674	null	null	null
1442	23	01 001 272 010 094	8355	108	141	8388	null	null	null

I dati in Tab. 1-5 possono essere calcolati attraverso le formule riportate in Tab. 1-6.

Tab. 1-6 Formule utilizzate sul foglio **BilancioTO** (Tab. 1-5)

Cella	Parametro	Formola
A2	Ora	=TESTO.PRECEDENTE(DATI.ORDINA('Pres_TO-TIM'!\$G\$2# & "-" & 'Pres_TO-TIM'!\$C\$2:\$C\$1441); "-")
B2	LayerID	=TESTO.SUCCESSIVO(DATI.ORDINA('Pres_TO-TIM'!\$G\$2# & "-" & 'Pres_TO-TIM'!\$C\$2:\$C\$1441); "-")
C2	Presenze (P)	=SOMMA.PIÙ.SE('Pres_TO-TIM'!\$D\$2:\$D\$1441; 'Pres_TO-TIM'!\$C\$2:\$C\$1441; \$B\$3#; 'Pres_TO-TIM'!\$G\$2#; \$A\$3#)
D2	Uscite (U)	=SOMMA.PIÙ.SE('Dest_TOT-TIM'!\$E\$2:\$E\$430073; 'Dest_TOT-TIM'!\$C\$2:\$C\$430073; \$B\$3#; 'Dest_TOT-TIM'!\$H\$2#; \$A\$3#)
E2	Entrate (E)	=SOMMA.PIÙ.SE('Dest_TOT-TIM'!\$E\$2:\$E\$430073; 'Dest_TOT-TIM'!\$D\$2:\$D\$430073; \$B\$3#; 'Dest_TOT-TIM'!\$H\$2#; \$A\$3#)
F2	Bilancio (P - U + I)	=SE(\$A\$3#="00"; "null"; \$C\$3# - \$D\$3# + \$E\$3#)
G2	Presenze h+1	=SE(\$A\$3#="23"; "null"; SOMMA.PIÙ.SE('Pres_TO-TIM'!\$D\$2:\$D\$1441; 'Pres_TO-TIM'!\$C\$2:\$C\$1441; \$B\$3#; 'Pres_TO-TIM'!\$G\$2#; TESTO(ORARIO(\$A\$3#+1;0;0); "hh"))
H2	ERR	=SE(VAL.NUMERO(\$F\$3#+\$G\$3#); \$F\$3# / \$G\$3# - 1; "null")
I2	DIFF	=SE(VAL.NUMERO(\$F\$3#+\$G\$3#); \$F\$3#-\$G\$3#; "null")

Dettagli sull'analisi e caratterizzazione del campione TIM (file Analisi_CampioneTIM.xlsx)

Nella seguente Tab. 1-7 si riportano gli spostamenti campionati da TIM diretti verso tutte le regioni italiane ed una stima dei tempi di percorrenza tratta da Google Maps.

Tab. 1-7 Analisi_CampioneTIM.xlsx - Foglio T_Perc

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Ora	09						Risultati Anomali	0.16%
2	Dataset	DestinationData							
3									
4	Regione di Destinazione	Codice regione	Spost. TIM	Città di riferimento¹	Tempo minimo di viaggio²	Mezzo più veloce³	Tempo in aereo⁴	Aeroporto di destinazione	Raggiungibile in 2 ore⁵
5	Piemonte	01	116933	Torino	0	-	0		VERO
6	Valle d'Aosta	02	33	Aosta	70	Macchina	-		VERO
7	Lombardia	03	609	Milano	75	Treno	-		VERO
8	Trentino-Alto Adige	04	6	Trento	210	Macchina	-		FALSO
9	Veneto	05	24	Venezia	220	Macchina	+		FALSO
10	Friuli-Venezia Giulia	06	3	Trieste	300	Macchina	+		FALSO
11	Liguria	07	99	Genova	110	Macchina	+		VERO
12	Emilia-Romagna	08	96	Bologna	154	Treno	+		FALSO
13	Toscana	09	48	Firenze	195	Treno	+		FALSO
14	Umbria	10	0	Perugia	310	Macchina	+		FALSO
15	Marche	11	15	Ancona	290	Macchina	+		FALSO
16	Lazio	12	60	Roma	287	Treno	70	Leonardo da Vinci International Airport (FCO)	VERO
17	Abruzzo	13	3	L'Aquila	390	Macchina	80	Abruzzo Airport (PSR)	VERO
18	Molise	14	0	Campobasso	470	Macchina	+		FALSO
19	Campania	15	6	Napoli	394	Treno	90	Naples International Airport (NAP)	VERO
20	Puglia	16	21	Bari	520	Macchina	90	Bari International Airport-Karol Wojtyla (BRI)	VERO
21	Basilicata	17	0	Potenza	540	Macchina	+		FALSO
22	Calabria	18	0	Catanzaro	660	Macchina	100	Lamezia Terme International Airport (SUF)	VERO
23	Sicilia	19	0	Palermo	998	Macchina	95	Palermo Airport (PMO)	VERO
24	Sardegna	20	0	Cagliari	860	Macchina	85	Cagliari Elmas Airport (CAG)	VERO

I dati presenti in Tab. 1-7 sono stati stimati attraverso i criteri riportati in Tab. 1-8 e calcolati con le formule riportate in Tab. 1-9.

Tab. 1-8 Criteri adottati per la stima dei tempi di percorrenza presenti sul foglio T_Perc (Tab. 1-7)

Criteriono	Parametro	Descrizione
1	Città di riferimento	Per effettuare la stima dei tempi minimi di viaggio si è scelta come destinazione la città capoluogo di regione, ipotizzando che, anche se più distante da Torino rispetto ad altri comuni della stessa regione, sia servita meglio e quindi raggiungibile per vie più rapide.
2	Tempo minimo di viaggio	Stima tratta da Google Maps valutando la partenza da Torino il giorno mercoledì tra le 08:00 e le 09:00 del mattino. È stato scelto il mercoledì per coerenza con i dati dell'indagine ma la data della stima è riferita al giorno 27/04/2022, poiché le informazioni sui mezzi pubblici non vengono conservate da Google Maps (è possibile valutare a ritroso, al massimo, sino a 9 giorni prima della data di interrogazione).
3	Mezzo più veloce	Valutando i risultati di Google Maps si è scelta la soluzione più rapida per raggiungere la destinazione: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Per le auto è stato scelto tempo di viaggio minimo; ▪ Per i mezzi pubblici viene riportato il solo tempo di viaggio se la partenza avviene entro le ore 09:00, altrimenti la soluzione viene scartata.
4	Tempo in aereo	Per l'aereo si riporta il solo tempo di viaggio tratto da Google Flights, trascurando data ed orario di partenza. I risultati "-" indicano l'impossibilità di raggiungere la destinazione in aereo partendo da Torino. I risultati "+" indicano che la destinazione è raggiungibile in aereo partendo da Torino ma, esclusivamente, facendo scalo in una terza regione (generalmente Roma, Campania e Puglia) o fuori dall'Italia (es. Nizza ed Amsterdam). In alcuni casi la soluzione "+" risulta più rapida di quella in auto o treno ma essa viene scartata poichè paradossale: Venezia, ad esempio, risulta raggiungibile in 3 ore e 20 min partendo da Torino e facendo scalo a Fiumicino dopo 1 ora e 10 minuti di volo. In questo caso, però, la destinazione fornita da TIM dovrebbe risultare Fiumicino e non Venezia.
5	Raggiungibile in 2 ore	Partendo dal presupposto che la destinazione indica dove l'utente in movimento si troverà nell'ora successiva, bisogna considerare un aspetto: non è data l'ora esatta di partenza ma un intervallo di 60 min e lo stesso vale per la destinazione. Questo implica che l'intervallo tra partenza ed arrivo potrebbe durare, in realtà, anche due ore: se, ad esempio, uno spostamento avvenisse con partenza alle 08:00, ricadente nell'intervallo 08:00 - 09:00, ed arrivo alle 09:59, ricade nell'intervallo 09:00 - 10:00, il tempo di percorrenza sarebbe di 119 minuti.

Tab. 1-9 Formule utilizzate sul foglio sul foglio T_Perc (Tab. 1-7)

Cella	Parametro	Formula
C5	Spont. TIM	=SOMMA.PIÙ.SE("Dest_TOT-TIM"!\$E\$2:\$E\$430073; 'Dest_TOT-TIM'!\$M\$2#; "T"; 'Dest_TOT-TIM'!\$J\$2#;\$B\$5:\$B\$24;'Dest_TOT-TIM'!\$H\$2#;\$B\$1)
I5	Raggiungibile in 2 ore	=(E5:E24 <= 120) + (G5:G24 <= 120) > 0
I1	Risultati Anomali	=SOMMA.SE(I5:I24; FALSO; C5:C24) / SOMMA(C5:C24)

A supporto dell'analisi del campione TIM, si fa ricorso ai dati dell'indagine IMQ 2013 (Agenzia della mobilità piemontese, 2014)⁵⁸, estraendo le informazioni d'interesse dalle tabelle "interviste" e "spostamenti", contenute sul file *IMQ2013_opendata.mdb*, per introdurle rispettivamente sui fogli di calcolo *IMQ_inter* e *IMQ_spost*, come mostrato nelle seguenti Tab. 1-10 e Tab. 1-12.

Tab. 1-10 Analisi_CampioneTIM.xlsx - Foglio *IMQ_inter*

	A	B	C	D	E	F
1	ID_INT	COD_ZONA_RES	RESIDENZA	N_SPOST	ATTIVITA	TASSO_CAMP
2	08138545	C011	Cintura	3	1	3.226149915
3	08138565	C006	Cintura	2	8	3.083700441
4	08138615	C011	Cintura		10	2.829181495
5	08138661	C011	Cintura	2	9	3.131850924
6	08138684	C006	Cintura	2	8	3.127358999
7	08138692	C003	Cintura	2	8	2.999491612
8	08138699	C006	Cintura		8	3.083700441
9	08138702	C004	Cintura	3	1	3.140722671
10	08138709	C002	Cintura	2	10	2.78824416
11	08138711	C009	Cintura		3	3.156832156
...
52111	07821069	T000	Torino	2	8	1.003199862
52112	07821118	T000	Torino	2	5	1.003613007
52113	07821119	T000	Torino	2	3	0.960728131
52114	07821120	T000	Torino	2	4	0.959079284
52115	07821153	T000	Torino	2	3	1.012373453
52116	07821177	T000	Torino	2	3	0.998166633
52117	07821182	T000	Torino		3	0.933552993
52118	07821218	T000	Torino	2	4	0.980246547
52119	07821232	T000	Torino	2	8	0.774874289
52120	07821241	T000	Torino	4	12	1.003613007

Nella seguente Tab. 1-11, si riporta la codifica delle attività elencate in colonna E del foglio *IMQ_inter*.

Tab. 1-11 Codifica delle attività elencate in colonna E del foglio *IMQ_inter* (Tab. 1-10)

Colonna	Cod_Activita	Label
E	1	Imprenditore/Libero professionista
	2	Funzionario/Dirigente
	3	Impiegato/Addetto al commercio
	4	Operaio
	5	Insegnante
	6	Rappresentante
	7	Artigiano/Commerciante..
	8	Studente
	9	Casalinga
	10	Pensionato
	11	In attesa 1° impiego
	12	Disoccupato
	13	Altro

⁵⁸ <https://mtm.torino.it/it/dati-statistiche/indagini/indagine-imq-2013/base-dati-imq-2013/>

Tab. 1-12 Analisi_CampioneTIM.xlsx - Foglio *IMQ_spost*

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	ID_INT	COD_ZONA_RES	SCOPO	COD_ZONA_PAR	COD_ZONA_ARR	TASSO_CAMP	Motivo	O	D	IN/OUT
2	07252905	R308	04	R308	R308	0.975975976	Altro	R	R	IN
3	07252905	R308	08	R308	R308	0.975975976	Ritorno	R	R	IN
4	07252915	R306	05	R306	R306	1.020573465	Altro	R	R	IN
5	07252915	R306	08	R306	R306	1.020573465	Ritorno	R	R	IN
6	07252915	R306	07	R306	R306	1.020573465	Altro	R	R	IN
7	07252915	R306	08	R306	R306	1.020573465	Ritorno	R	R	IN
8	07252930	R302	04	R302	R300	1.048427359	Altro	R	R	OUT
9	07252930	R302	02	R300	R300	1.048427359	Lav/Stud	R	R	IN
10	07252930	R302	08	R300	R302	1.048427359	Ritorno	R	R	OUT
11	07252933	R308	08	R308	R308	0.970873786	Ritorno	R	R	IN
...
105090	09001107	E048	04	E048	E048	1.000909918	Altro	P	P	IN
105091	09001107	E048	08	E048	E048	1.000909918	Ritorno	P	P	IN
105092	09001295	E048	04	E048	E048	1.076630779	Altro	P	P	IN
105093	09001295	E048	08	E048	E048	1.076630779	Ritorno	P	P	IN
105094	09001380	E048	04	E048	Q001	0.958188153	Altro	P	T	OUT
105095	09001380	E048	08	Q001	E048	0.958188153	Ritorno	T	P	OUT
105096	09001451	E047	04	E047	E047	0.958657879	Altro	P	P	IN
105097	09001451	E047	08	E047	E047	0.958657879	Ritorno	P	P	IN
105098	09001456	E047	04	E047	E045	0.958657879	Altro	P	P	OUT
105099	09001456	E047	08	E045	E047	0.958657879	Ritorno	P	P	OUT

Le informazioni aggiuntive presenti sul foglio *IMQ_spost* vengono introdotte attraverso le formule riportate in Tab. 1-14.

Nella seguente Tab. 1-13, si riporta la codifica degli scopi di spostamento elencati in colonna C del foglio *IMQ_spost*.

Tab. 1-13 Codifica degli scopi di spostamento elencati nella colonna C del foglio *IMQ_spost* (Tab. 1-12)

Colonna	Cod_Scopo	Label	Macro-classificazione
C	01	Recarsi al lavoro	Lav/Stud
	02	Motivi di lavoro	Lav/Stud
	03	Studio	Lav/Stud
	04	Acquisti/Commissioni	Altro
	05	Accompagnamento	Altro
	06	Cure/Visite mediche	Altro
	07	Sport/Svago	Altro
	08	Ritorno a casa	Ritorno
	09	Visite a parenti/amici	Altro
	10	Altro	Altro
	11	Ritorno a casa nella giornata di intervista	Ritorno

In Tab. 1-14, vengono mostrate le formule utilizzate per completare le informazioni presenti sul foglio *IMQ_spost*.

Tab. 1-14 Formule utilizzate sul foglio sul foglio *IMQ_spost* (Tab. 1-7)

Cella	Parametro	Formula
G2	Motivo	=SE(NUMERO.VALORE(\$C\$2:\$C\$105099) < 4 ; "Lav/Stud"; SE((\$C\$2:\$C\$105099="08") + (\$C\$2:\$C\$105099="11") > 0; "Ritorno"; "Altro"))
H2	O	=SE(SINISTRA(\$D\$2:\$D\$105099;1) = "Q"; "T"; SE(SINISTRA(\$D\$2:\$D\$105099;1) = "E"; "P"; SE(SINISTRA(\$D\$2:\$D\$105099;1) = ""; "EXT"; SINISTRA(\$D\$2:\$D\$105099;1))))
I2	D	=SE(SINISTRA(\$E\$2:\$E\$105099;1) = "Q"; "T"; SE(SINISTRA(\$E\$2:\$E\$105099;1) = "E"; "P"; SE(SINISTRA(\$E\$2:\$E\$105099;1) = ""; "EXT"; SINISTRA(\$E\$2:\$E\$105099;1))))
J2	IN/OUT	=SE(\$D\$2:\$D\$105099 = \$E\$2:\$E\$105099; "IN"; SE((SINISTRA(\$D\$2:\$D\$105099;1) = "Q") * (SINISTRA(\$E\$2:\$E\$105099;1) = "Q") > 0; "IN"; "OUT"))

Per poter stimare il tasso di campionamento si è cercato di ricostruire l'universo di riferimento, in questo caso, focalizzando l'attenzione sulla popolazione insistente sul territorio per ragioni di studio o lavoro.

Il dato sulla popolazione insistente per la Città metropolitana di Torino e per il Comune di Torino, aggiornato al 31/12/2018, è stato estratto dal file *Allegato-statistico-2018_17_05_2021.xlsx* (Istituto Nazionale di Statistica - ISTAT, 2021)⁵⁹, reperibile sul sito www.istat.it alla pagina "Popolazione insistente per studio e lavoro nel 2018" presente all'interno della sezione "Statistiche sperimentali".

Il dato per la Città metropolitana di Torino, estrapolato dalla Tav. 3 - Città metropolitane, viene importato sul foglio POP_INS-ISTAT, mostrato in Tab. 1-15.

Tab. 1-15 Analisi_CampioneTIM.xlsx - Foglio POP_INS-ISTAT (parte 1)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	POP Insistente ISTAT 2018*				IMQ 2013				TIM		Tasso di campionamento
2											
3	Città Metropolitana di Torino				Res universo IMQ (esclusi < 11 anni)						
4	Residenti 31/12/2018		2 238 663	→	2 071 046						
5											
6					Individui	Spostamenti	Spost pro-capite				
7	Individui statici (no attività)		1 014 718	→	1 003 509	1 796 465	1.79				
8	Mobilità per studio/lavoro										
9	Mobilità interna al proprio comune		620 809	→	409 066	465 710	1.14	→	337 458	⇒	48%
10	Mobilità in uscita dal proprio comune	TOT	653 246	→	358 601	381 631	1.06	→	395 462	⇒	57%
11		di cui per lavoro	550 765								
12		dest. int. Prov TO	531 318	→	336 721	358 322	1.06	→	375 337	⇒	66%
13		di cui per lavoro	436 303								
14	Mobilità in entrata in un comune della città Metropolitana	TOT	720 173	→	367 639	390 941	1.06	→	375 337	⇒	49%
15		di cui per lavoro	582 564								
16		orig. int. Prov TO	531 318	→	336 721	358 322	1.06	→	375 337	⇒	66%
17		di cui per lavoro	436 303								
18	Popolazione insistente diurna totale		2 358 002	→	1 780 213						

⁵⁹ https://www.istat.it/it/files//2021/06/Allegato-statistico-2018_17_05_2021.xlsx

Dettagli sull'analisi e caratterizzazione del campione TIM (file Analisi_CampioneTIM.xlsx)

Anche il dato per il comune di Torino, estrapolato dalla Tav. 2 - Grandi Comuni, viene importato sul foglio POP_INS-ISTAT, come mostrato in Tab. 1-16

Tab. 1-16 Analisi_CampioneTIM.xlsx - Foglio POP_INS-ISTAT (parte 2)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	POP Insistente ISTAT 2018*				IMQ 2013				TIM		Tasso di campionamento
...
20	Comune di Torino				Res universo IMQ (esclusi < 11 anni)						
21	Residenti 31/12/2018		860 793	→	827 471						
22											
23					Individui	Spostamenti	Spost pro-capite				
24	Individui statici (no attività)		418 047	→	363 500	694 206	1.91				
25	Mobilità per studio/lavoro										
26	Mobilità interna al proprio comune		352 726	→	277 158	310 459	1.12	→	304 209	⇒	77%
27	Mobilità in uscita dal proprio comune	TOT	125 051	→	74 580	76 487	1.03	→	109 608	⇒	85%
28		di cui per lavoro	117 299								
29		dest. int. Prov TO	76 577	→	67 206	69 113	1.03	→	100 919	⇒	128%
30		di cui per lavoro	71 419								
31	Mobilità in entrata nel comune	TOT	307 306	→	154 844	156 760	1.01	→	65 585	⇒	21%
32		di cui per lavoro	230 164								
33		orig. int. Prov TO	183 479	→	133 209	135 125	1.01	→	65 585	⇒	35%
34		di cui per lavoro	144 423								
35	Popolazione insistente diurna totale		1 079 328	→	795 501						

Le formule necessarie per completare i dati IMQ, le destinazioni TIM ed il calcolo del tasso di campionamento, sono riportate nelle seguenti Tab. 1-17, Tab. 1-19 e Tab. 1-21.

Le formule necessarie per completare i dati IMQ del foglio POP_INS-ISTAT (Tab. 1-15 e Tab. 1-16) sono riportate nella seguente Tab. 1-17.

Tab. 1-17 Formule utilizzate sul foglio POP_INS-ISTAT (Tab. 1-15 e Tab. 1-16) per completare i dati IMQ

Celle	Parametro	Formula
E4	Res universo IMQ	=SOMMA(FILTRO(100/IMQ_inter!\$F\$2:\$F\$52120; (SINISTRA(IMQ_inter!\$B\$2:\$B\$52120;1)="T") + (SINISTRA(IMQ_inter!\$B\$2:\$B\$52120;1)="C") + (SINISTRA(IMQ_inter!\$B\$2:\$B\$52120;1)="E")))
E21		=SOMMA(FILTRO(100/IMQ_inter!\$F\$2:\$F\$52120; (SINISTRA(IMQ_inter!\$B\$2:\$B\$52120;1)="T")))
E7	Individui (statici)	=SOMMA(FILTRO(100/IMQ_inter!\$F\$2:\$F\$52120; (IMQ_inter!\$E\$2:\$E\$52120>8) * ((SINISTRA(IMQ_inter!\$B\$2:\$B\$52120;1)="T") + (SINISTRA(IMQ_inter!\$B\$2:\$B\$52120;1)="C") + (SINISTRA(IMQ_inter!\$B\$2:\$B\$52120;1)="E"))))
E24		=SOMMA(FILTRO(100/IMQ_inter!\$F\$2:\$F\$52120; (IMQ_inter!\$E\$2:\$E\$52120>8) * (SINISTRA(IMQ_inter!\$B\$2:\$B\$52120;1)="T")))
F7	Spostamenti (individui statici)	=SOMMA(FILTRO(100/IMQ_inter!\$F\$2:\$F\$52120 * IMQ_inter!\$D\$2:\$D\$52120; (IMQ_inter!\$E\$2:\$E\$52120>8) * ((SINISTRA(IMQ_inter!\$B\$2:\$B\$52120;1)="T") + (SINISTRA(IMQ_inter!\$B\$2:\$B\$52120;1)="C") + (SINISTRA(IMQ_inter!\$B\$2:\$B\$52120;1)="E"))))
F24		=SOMMA(FILTRO(100/IMQ_inter!\$F\$2:\$F\$52120 * IMQ_inter!\$D\$2:\$D\$52120; (IMQ_inter!\$E\$2:\$E\$52120>8) * (SINISTRA(IMQ_inter!\$B\$2:\$B\$52120;1)="T")))
E18	TOT (individui)	=E7 + E9 + E14
E35		=E24 + E26 + E31
G7, G9, G10, G12, G14, G16, G24, G26, G27, G29, G31, G33	Spost pro-capite	= Spostamenti(colonna F, riga i-esima) / Individui(colonna E, riga i-esima)
E9, E10, E12, E14, E16, E26, E27, E29, E31, E33	Individui (in mobilità)	=SOMMA(100/NUMERO.VALORE(TESTO.SUCCESSIVO(UNICI(FILTRO(IMQ_spost!\$A\$2:\$A\$105099 &"-" & IMQ_spost!\$F\$2:\$F\$105099; (IMQ_spost!\$G\$2#="Lav/Stud") * COND_O/D * COND_IN/OUT)); "-"))
F9, F10, F12, F14, F16, F26, F27, F29, F31, F33	Spostamenti (individui in mobilità)	=SOMMA(FILTRO(100/IMQ_spost!\$F\$2:\$F\$105099; (IMQ_spost!\$G\$2#="Lav/Stud") * COND_O/D * COND_IN/OUT))

I parametri COND_O/D e COND_IN/OUT presenti in Tab. 1-17 sono esplicitati nella seguente Tab. 1-18.

Tab. 1-18 Condizioni applicate alla funzione FILTRO utilizzata nelle formule del foglio POP_INS-ISTAT riportate in Tab. 1-17

Area	O/D	Mobilità rispetto al proprio comune	COND_O/D	COND_IN/OUT
Città metropolitana di Torino	Prov/Prov	Interna	((IMQ_spost!\$H\$2#="T") + (IMQ_spost!\$H\$2#="C") + (IMQ_spost!\$H\$2#="P"))	(IMQ_spost!\$J\$2#="IN")
	Prov/*	Uscita		(IMQ_spost!\$J\$2#="OUT")
	Prov/Prov	Uscita o Entrata	((IMQ_spost!\$H\$2#="T") + (IMQ_spost!\$H\$2#="C") + (IMQ_spost!\$H\$2#="P")) * ((IMQ_spost!\$I\$2#="T") + (IMQ_spost!\$I\$2#="C") + (IMQ_spost!\$I\$2#="P"))	
	*/Prov	Entrata	((IMQ_spost!\$I\$2#="T") + (IMQ_spost!\$I\$2#="C") + (IMQ_spost!\$I\$2#="P"))	
Comune di Torino	TO/TO	Interna	(IMQ_spost!\$H\$2#="T")	(IMQ_spost!\$J\$2#="IN")
	TO/*	Uscita		(IMQ_spost!\$J\$2#="OUT")
	TO/Prov	Uscita	(IMQ_spost!\$H\$2#="T") * ((IMQ_spost!\$I\$2#="T") + (IMQ_spost!\$I\$2#="C") + (IMQ_spost!\$I\$2#="P"))	
	*/TO	Entrata	(IMQ_spost!\$I\$2#="T")	
	Prov/TO	Entrata	((IMQ_spost!\$H\$2#="T") + (IMQ_spost!\$H\$2#="C") + (IMQ_spost!\$H\$2#="P")) * (IMQ_spost!\$I\$2#="T")	

Le formule necessarie per completare i dati di destinazione TIM del foglio *POP_INS-ISTAT* (Tab. 1-15 e Tab. 1-16) sono riportate nella seguente Tab. 1-19.

Tab. 1-19 Formule utilizzate sul foglio *POP_INS-ISTAT* (Tab. 1-15 e Tab. 1-16) per completare i dati di destinazione TIM

Celle	Parametro	Formula
19, 110, 112, 114, 116	TIM (Destinazioni)	=SOMMA(FILTRO('Dest_TOT-TIM'!\$G\$2:\$G\$430073; COND_O/D * (SINISTRA('Dest_TOT-TIM'!\$C\$2:\$C\$430073;10) OPERATORE SINISTRA('Dest_TOT-TIM'!\$D\$2:\$D\$430073;10))))
126, 127, 129, 131, 133		=SOMMA(FILTRO('Dest_TOT-TIM'!\$G\$2:\$G\$430073; COND_O * COND_D))

I parametri **COND_O/D**, **OPERATORE**, **COND_O** e **COND_D** presenti in Tab. 1-19 sono esplicitati nella seguente Tab. 1-20.

Tab. 1-20 Condizioni applicate alla funzione *FILTRO* utilizzata nelle formule del foglio *POP_INS-ISTAT* riportate in Tab. 1-19

Area	O/D	Mobilità rispetto al proprio comune	COND_O/D	OPERATORE
Città metropolitana di Torino	Prov/Prov	Interna	(SINISTRA('Dest_TOT-TIM'!\$C\$2:\$C\$430073;6) = "01 001")	=
	Prov/*	Uscita		<>
	Prov/Prov	Uscita o Entrata	(SINISTRA('Dest_TOT-TIM'!\$C\$2:\$C\$430073;6) = "01 001") * (SINISTRA('Dest_TOT-TIM'!\$D\$2:\$D\$430073;6) = "01 001")	
	*/Prov	Entrata	(SINISTRA('Dest_TOT-TIM'!\$D\$2:\$D\$430073;6) = "01 001")	

Area	O/D	Mobilità rispetto al proprio comune	COND_O	COND_D
Comune di Torino	TO/TO	Interna	('Dest_TOT-TIM'!\$M\$2# = "T")	('Dest_TOT-TIM'!\$N\$2# = "T")
	TO/*	Uscita		('Dest_TOT-TIM'!\$N\$2# <> "T")
	TO/Prov	Uscita		(('Dest_TOT-TIM'!\$N\$2# = "C") + ('Dest_TOT-TIM'!\$N\$2# = "P"))
	*/TO	Entrata	('Dest_TOT-TIM'!\$M\$2# <> "T")	('Dest_TOT-TIM'!\$N\$2# = "T")
	Prov/TO	Entrata	(('Dest_TOT-TIM'!\$M\$2# = "C") + ('Dest_TOT-TIM'!\$M\$2# = "P"))	

Le formule necessarie per il calcolo del tasso di campionamento, riportato nella colonna K del foglio *POP_INS-ISTAT* (Tab. 1-15 e Tab. 1-16), sono illustrate nella seguente Tab. 1-21.

Tab. 1-21 Formule utilizzate sul foglio *POP_INS-ISTAT* (Tab. 1-15 e Tab. 1-16) per il calcolo del tasso di campionamento

Celle	Parametro	Formula
K9, K10, K12, K14, K16 K26, K27, K29, K31, K33	Tasso di campionamento	<i>Spostamenti_TIM</i> (colonna I, riga i-esima) / (<i>POP_ISTAT</i> (colonna C, riga i-esima) * <i>Spost_ProCapite</i> (colonna G, riga i-esima))

In Tab. 1-22 viene, innanzitutto, esplicitata l'associazione tra le aree ACE, identificate dal LayerID (REG|PRO|COM|ASC|ACE), e le zone IMQ della cintura, ricavata per sovrapposizione dei due layer su Q-GIS.

Tab. 1-22 Analisi_CampioneTIM.xlsx - Foglio **IMQ-TIM** (parte 1)

	A	B
1	LayerID --> IMQ cintura	
2	LayerID	COD_IMQ
3	001 001 120 000 000	C002
4	001 001 120 000 001	C002
5	001 001 120 000 002	C002
6	001 001 090 000 000	C003
7	001 001 090 000 001	C003
8	001 001 090 000 002	C003
9	001 001 090 000 003	C003
10	001 001 292 000 002	C004
11	001 001 292 000 000	C004
12	001 001 292 000 001	C004
13	001 001 028 000 000	C005
14	001 001 265 000 000	C006
15	001 001 265 000 001	C006
16	001 001 265 000 002	C006
17	001 001 265 000 003	C006
18	001 001 249 000 000	C007
19	001 001 192 000 000	C008
20	001 001 156 000 003	C009
21	001 001 156 000 000	C009
22	001 001 156 000 001	C009
23	001 001 156 000 002	C009
24	001 001 183 000 000	C010
25	001 001 164 000 000	C011
26	001 001 164 000 001	C011
27	001 001 164 000 002	C011
28	001 001 164 000 003	C011
29	001 001 051 000 000	C012

	A	B
1	LayerID --> IMQ cintura	
2	LayerID	COD_IMQ
...
30	001 001 024 000 000	C013
31	001 001 171 000 000	C014
32	001 001 171 000 001	C014
33	001 001 214 000 000	C015
34	001 001 219 000 003	C016
35	001 001 219 000 000	C016
36	001 001 219 000 001	C016
37	001 001 219 000 002	C016
38	001 001 008 000 000	C017
39	001 001 189 000 000	C018
40	001 001 099 000 000	C019
41	001 001 130 000 000	C020
42	001 001 078 000 000	C021
43	001 001 078 000 001	C021
44	001 001 078 000 002	C021
45	001 001 280 000 000	C022
46	001 001 048 000 000	C023
47	001 001 257 000 000	C024
48	001 001 063 000 000	C064
49	001 001 314 000 000	C065
50	001 001 018 000 000	C066
51	001 001 127 000 000	C067
52	001 001 058 000 000	C068
53	001 001 309 000 000	C069
54	001 001 193 000 000	C070
55	001 001 194 000 000	C071

Dettagli sull'analisi e caratterizzazione del campione TIM (file Analisi_CampioneTIM.xlsx)

In Tab. 1-23 viene effettuata una stima del tasso di campionamento relativo alla mobilità tra le macroaree, differenziando le ragioni di spostamento presunte.

Tab. 1-23 Analisi_CampioneTIM.xlsx - Foglio **IMQ-TIM** (parte 2)

	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1		IMQ				TIM				Tasso di campionamento [%]			
2		TOT	Stud/Lav	Ritorno a casa	Altro	TOT	Stud/Lav	Ritorno a casa	Altro	TOT	Stud/Lav	Ritorno a casa	Altro
3	T-->T	1 657 877	310 459	771 880	575 538	1 616 615	304 209	857 821	454 585	98%	98%	111%	79%
4	T-->C	220 805	57 528	128 532	34 745	428 726	82 307	228 548	117 871	194%	143%	178%	339%
5	T-->P	100 566	11 585	80 254	8 727	89 014	18 612	44 449	25 953	89%	161%	55%	297%
6	T-->R	37 095	3 931	28 579	4 586	23 587	5 351	10 959	7 277	64%	136%	38%	159%
7	C-->T	220 154	77 693	81 245	61 216	422 862	59 879	252 183	110 800	192%	77%	310%	181%
8	P-->T	100 946	57 433	17 404	26 110	92 136	5 706	65 713	20 717	91%	10%	378%	79%
9	C-->C	755 892	92 182	369 352	294 358	784 191	113 800	471 579	198 812	104%	123%	128%	68%
10	C-->P	73 341	12 806	50 395	10 140	237 523	33 010	145 046	59 467	324%	258%	288%	586%
11	C-->R	9 173	2 270	5 189	1 713	26 427	3 596	16 042	6 789	288%	158%	309%	396%
12	P-->C	72 892	27 509	20 013	25 370	237 002	20 541	165 252	51 209	325%	75%	826%	202%
13	P-->P	1 093 926	176 837	523 995	393 094	929 898	74 731	640 206	214 961	85%	42%	122%	55%
14	P-->R	26 755	7 114	12 226	7 415	85 222	6 032	61 585	17 605	319%	85%	504%	237%

I risultati in Tab. 1-23 vengono calcolati attraverso le formule mostrate in Tab. 1-25.

In Tab. 1-24 si riporta il tasso di campionamento riscontrato per le zone IMQ della cintura di Torino, calcolato con le formule mostrate in Tab. 1-26.

Tab. 1-24 Analisi_CampioneTIM.xlsx - Foglio IMQ-TIM (parte 3)

	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD
1	IMQ				TIM				Tasso di campionamento [%]				
2	C-->T	T-->C	C-->P	P-->C	C-->T	T-->C	C-->P	P-->C	C-->T	T-->C	C-->P	P-->C	
3	C002	21 928	22 331	3 434	3 328	49 847	50 038	6 551	6 503	227%	224%	191%	195%
4	C003	18 538	18 112	2 286	2 445	43 692	45 924	10 578	11 086	236%	254%	463%	453%
5	C004	13 773	13 841	2 250	2 121	32 235	31 820	6 950	7 006	234%	230%	309%	330%
6	C005	5 797	5 891	1 911	1 884	11 973	11 984	4 056	4 076	207%	203%	212%	216%
7	C006	13 917	14 024	5 494	5 515	28 169	29 493	18 062	18 419	202%	210%	329%	334%
8	C007	8 462	8 615	1 755	1 665	17 012	16 924	5 238	5 094	201%	196%	298%	306%
9	C008	2 510	2 480	94	94	8 124	8 838	2 445	2 498	324%	356%	2614%	2671%
10	C009	23 445	23 753	4 515	4 356	50 669	50 039	9 307	9 220	216%	211%	206%	212%
11	C010	1 531	1 531	29	29	2 652	2 693	929	934	173%	176%	3196%	3213%
12	C011	13 205	13 196	995	995	28 750	28 822	4 902	4 797	218%	218%	493%	482%
13	C012	1 685	1 685	880	880	2 383	2 378	3 661	3 758	141%	141%	416%	427%
14	C013	9 237	9 369	1 469	1 371	15 462	15 642	4 067	4 009	167%	167%	277%	293%
15	C014	7 198	7 131	6 014	6 077	15 651	16 372	15 753	15 577	217%	230%	262%	256%
16	C015	5 706	5 933	3 438	3 347	9 650	10 098	13 810	13 616	169%	170%	402%	407%
17	C016	15 946	15 752	7 827	8 093	23 913	24 315	25 080	24 707	150%	154%	320%	305%
18	C017	3 973	3 970	2 523	2 523	4 627	4 888	7 573	7 267	116%	123%	300%	288%
19	C018	4 945	4 878	2 439	2 406	9 538	9 823	7 562	7 524	193%	201%	310%	313%
20	C019	3 392	3 391	585	487	5 716	5 758	5 381	4 977	169%	170%	920%	1023%
21	C020	5 030	5 159	2 289	2 392	8 957	8 669	8 743	9 219	178%	168%	382%	385%
22	C021	6 221	6 120	6 389	6 361	6 885	6 966	13 402	13 056	111%	114%	210%	205%
23	C022	3 323	3 385	369	369	4 892	4 715	2 469	2 713	147%	139%	669%	735%
24	C023	1 838	1 838	356	321	2 099	2 251	2 313	2 293	114%	122%	649%	715%
25	C024	2 469	2 528	795	702	1 901	2 371	4 373	4 216	77%	94%	550%	600%
26	C064	8 750	8 620	4 194	4 293	11 968	12 594	13 232	13 096	137%	146%	315%	305%
27	C065	3 759	3 726	3 248	3 215	6 391	6 299	10 766	10 909	170%	169%	332%	339%
28	C066	1 071	1 038	286	286	2 465	2 403	1 334	1 378	230%	231%	466%	482%
29	C067	2 092	2 131	478	373	3 324	3 161	1 323	1 384	159%	148%	277%	371%
30	C068	1 827	1 827	1 276	1 276	2 933	2 944	6 685	6 805	161%	161%	524%	533%
31	C069	3 730	3 699	1 369	1 369	6 554	6 452	3 813	3 823	176%	174%	279%	279%
32	C070	730	761	492	492	1 327	1 244	2 273	2 269	182%	163%	462%	461%
33	C071	4 125	4 090	3 862	3 830	3 103	2 808	14 892	14 773	75%	69%	386%	386%

Tab. 1-25 Formule utilizzate sul foglio **IMQ-TIM** (Tab. 1-23)

Celle	Parametro	Formula
E2	TOT	=SOMMA(FILTRO(100/IMQ_spost!\$F\$2:\$F\$105099; (IMQ_spost!\$H\$2#=#SINISTRA(\$D3;1)) * (IMQ_spost!\$I\$2#=#DESTRA(\$D3;1))))
F2	Stud/Lav	=SOMMA(FILTRO(100/IMQ_spost!\$F\$2:\$F\$105099; (IMQ_spost!\$H\$2#=#SINISTRA(\$D3;1)) * (IMQ_spost!\$I\$2#=#DESTRA(\$D3;1)) * (IMQ_spost!\$G\$2#=#"Lav/Stud"))))
G2	Ritorno a casa	=SOMMA(FILTRO(100/IMQ_spost!\$F\$2:\$F\$105099; (IMQ_spost!\$H\$2#=#SINISTRA(\$D3;1)) * (IMQ_spost!\$I\$2#=#DESTRA(\$D3;1)) * (IMQ_spost!\$G\$2#=#"Ritorno"))))
H2	Altro	=SOMMA(FILTRO(100/IMQ_spost!\$F\$2:\$F\$105099; (IMQ_spost!\$H\$2#=#SINISTRA(\$D3;1)) * (IMQ_spost!\$I\$2#=#DESTRA(\$D3;1)) * (IMQ_spost!\$G\$2#=#"Altro"))))
I2	TOT	=SOMMA(FILTRO('Dest_TOT-TIM'!\$E\$2:\$E\$430073; ('Dest_TOT-TIM'!\$M\$2#=#SINISTRA(\$D3;1)) * ('Dest_TOT-TIM'!\$N\$2#=#DESTRA(\$D3;1))))
J2	Stud/Lav	=SOMMA(FILTRO('Dest_TOT-TIM'!\$G\$2:\$G\$430073; ('Dest_TOT-TIM'!\$M\$2#=#SINISTRA(\$D3;1)) * ('Dest_TOT-TIM'!\$N\$2#=#DESTRA(\$D3;1))))
K2	Ritorno a casa	=SOMMA(FILTRO('Dest_TOT-TIM'!\$F\$2:\$F\$430073; ('Dest_TOT-TIM'!\$M\$2#=#SINISTRA(\$D3;1)) * ('Dest_TOT-TIM'!\$N\$2#=#DESTRA(\$D3;1))))
L2	Altro	=I3 - J3 - K3
M2	Tasso di Camp.	=I3 / E3

Tab. 1-26 Formule utilizzate sul foglio **IMQ-TIM** (Tab. 1-24)

Cella	Parametro	Formula
S3	Spost IMQ	=SE(SINISTRA(\$S\$2;1)="#C"; SOMMA(FILTRO(100/IMQ_spost!\$F\$2:\$F\$105099; (IMQ_spost!\$D\$2:\$D\$105099=#R3) * (IMQ_spost!\$I\$2#=#DESTRA(\$S\$2;1)))); SOMMA(FILTRO(100/IMQ_spost!\$F\$2:\$F\$105099; (IMQ_spost!\$E\$2:\$E\$105099=#R3) * (IMQ_spost!\$H\$2#=#SINISTRA(\$S\$2;1)))))
W3	Spost TIM	=SE(SINISTRA(\$S\$2;1)="#C"; SOMMA(FILTRO('Dest_TOT-TIM'!\$E\$2:\$E\$430073; ('Dest_TOT-TIM'!\$K\$2#=#R3) * ('Dest_TOT-TIM'!\$N\$2#=#DESTRA(\$S\$2;1)))); SOMMA(FILTRO('Dest_TOT-TIM'!\$E\$2:\$E\$430073; ('Dest_TOT-TIM'!\$L\$2#=#R3) * ('Dest_TOT-TIM'!\$M\$2#=#SINISTRA(\$S\$2;1)))))
AA3	Tasso di camp.	=W3/S3

A.2 Dettagli su zonizzazione, poli e centroidi (file Zone-Area_Studio.xlsx)

I dati geografici relativi alle sezioni di censimento, estratti dal file *R01_11_WGS84.shp* (Istituto Nazionale di Statistica - ISTAT (a), 2015)⁶⁰, ristretti ai soli comuni di Torino e della Cintura ed integrati, a seguito delle elaborazioni descritte nel paragrafo 0, con l'attributo LayerID e le coordinate baricentriche, sono riportati sul foglio di calcolo *R01_11_WGS84* mostrato in Tab. 2-1.

Tab. 2-1 Zone-Area_Studio.xlsx - Foglio R01_11_WGS84

	A	B	C	D	E	F	G
1	COD_ISTAT	SEZ2011	COD_ASC	ACE	LayerID	Xg	Yg
2	1001078	10780000177	0	0	001 001 078 000 000	7.79605368	45.01742334
3	1001078	10780000180	0	0	001 001 078 000 000	7.792273916	45.00522715
4	1001192	11920000036	0	0	001 001 192 000 000	7.791433449	45.05442036
5	1001309	13090000028	0	0	001 001 309 000 000	7.614688099	44.95797617
6	1001214	12140000043	0	0	001 001 214 000 000	7.504898036	45.03390098
7	1001127	11270000027	0	0	001 001 127 000 000	7.68661135	44.96287227
8	1001171	11710000053	0	0	001 001 171 000 000	7.583576916	44.98670123
9	1001249	12490000046	0	0	001 001 249 000 000	7.788033474	45.11009539
10	1001078	10780000186	0	0	001 001 078 000 000	7.800436316	44.99018083
11	1001280	12800000021	0	0	001 001 280 000 000	7.732121986	44.96350885
12	1001171	11710000054	0	0	001 001 171 000 000	7.568472962	45.03220287
13	1001193	11930000020	0	0	001 001 193 000 000	7.601292085	44.93669696
14	1001127	11270000017	0	0	001 001 127 000 000	7.680037651	44.95081707
15	1001127	11270000033	0	0	001 001 127 000 000	7.65915446	44.95737569
16	1001127	11270000006	0	0	001 001 127 000 000	7.656653874	44.95783672
17	1001127	11270000010	0	0	001 001 127 000 000	7.670646829	44.95422195
18	1001127	11270000018	0	0	001 001 127 000 000	7.672445152	44.94378144
...
6605	1001189	11890000025	0	0	001 001 189 000 000	7.559502811	45.10978599
6606	1001189	11890000024	0	0	001 001 189 000 000	7.562685034	45.1189286
6607	1001063	10630000039	0	0	001 001 063 000 000	7.61776574	45.17847392
6608	1001127	11270000026	0	0	001 001 127 000 000	7.68444337	44.96777164
6609	1001219	12190000114	0	0	001 001 219 000 000	7.501174871	45.05918554
6610	1001008	10080000010	0	0	001 001 008 000 000	7.541577072	45.09322278
6611	1001257	12570000017	0	0	001 001 257 000 000	7.799052989	44.9470516
6612	1001058	10580000011	0	0	001 001 058 000 000	7.69661209	44.91423675
6613	1001257	12570000015	0	0	001 001 257 000 000	7.794813603	44.93143074
6614	1001257	12570000014	0	0	001 001 257 000 000	7.789817287	44.92559724
6615	1001280	12800000018	0	0	001 001 280 000 000	7.723130403	44.95593969
6616	1001058	10580000021	0	0	001 001 058 000 000	7.614808235	44.88784792
6617	1001058	10580000092	0	0	001 001 058 000 000	7.615730848	44.88610627
6618	1001058	10580000026	0	0	001 001 058 000 000	7.642583332	44.88096901
6619	1001058	10580000020	0	0	001 001 058 000 000	7.643333867	44.89585407
6620	1001058	10580000019	0	0	001 001 058 000 000	7.635180726	44.8901252
6621	1001058	10580000014	0	0	001 001 058 000 000	7.689067134	44.90761014

⁶⁰ https://www.istat.it/storage/cartografia/basi_territoriali/WGS_84_UTM/2011/R01_11_WGS84.zip

Sul foglio CPA_2011, mostrato in Tab. 2-2, vengono, successivamente, importate le variabili relative al censimento della popolazione e delle abitazioni, tratte dal file R01_indicatori_2011_sezioni.csv (Istituto Nazionale di Statistica - ISTAT (b), 2016)⁶¹.

Tab. 2-2 Zone-Area_Studio.xlsx - Foglio CPA_2011

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	CODREG	CODPRO	CODCOM	SEZ2011	ACE	CODASC	P1	LayerID	Xg	Yg
2	1	1	1	10010000001	0		805			
3	1	1	1	10010000002	0		717			
4	1	1	1	10010000006	0		26			
5	1	1	1	10010000007	0		212			
6	1	1	1	10010000008	0		45			
7	1	1	1	10010000009	0		30			
8	1	1	1	10010000011	0		47			
9	1	1	1	10010000014	0		411			
10	1	1	1	10010000020	0		18			
...
98	1	1	8	10080000001	0		301	001 001 008 000 000	7.524600927	45.0961919
99	1	1	8	10080000002	0		295	001 001 008 000 000	7.524874255	45.09523312
100	1	1	8	10080000003	0		388	001 001 008 000 000	7.524356854	45.09788775
101	1	1	8	10080000004	0		461	001 001 008 000 000	7.521739935	45.09463422
102	1	1	8	10080000005	0		718	001 001 008 000 000	7.521378063	45.09659179
103	1	1	8	10080000006	0		674	001 001 008 000 000	7.524784693	45.09235791
104	1	1	8	10080000007	0		503	001 001 008 000 000	7.526638329	45.09329091
105	1	1	8	10080000008	0		616	001 001 008 000 000	7.528476997	45.09605689
106	1	1	8	10080000009	0		590	001 001 008 000 000	7.529847743	45.09105224
...
31823	1	103	77	1030770000004	0		329			
31824	1	103	77	1030770000005	0		58			
31825	1	103	77	1030770000006	0		236			
31826	1	103	77	1030770000007	0		7			
31827	1	103	77	1030770000008	0		5			
31828	1	103	77	1030770000009	0		7			
31829	1	103	77	1030770000011	0		20			
31830	1	103	77	1030770000012	0		13			

La Tab. 2-2 può essere completata con le formule mostrate nella seguente Tab. 2-3.

Tab. 2-3 Formule utilizzate sul foglio CPA_2011 (Tab. 2-3)

Cella	Parametro	Formola
H2	LayerID	=SE.NON.DISP.(INDICE('R01_11_WGS84'!E\$2:E\$6621; CONFRONTA(\$D\$2:\$D\$31831;'R01_11_WGS84'!\$B\$2:\$B\$6621;0)); "")
I2	Xg	=SE.NON.DISP.(INDICE('R01_11_WGS84'!F\$2:F\$6621; CONFRONTA(\$D\$2:\$D\$31831;'R01_11_WGS84'!\$B\$2:\$B\$6621;0)); "")
J2	Yg	=SE.NON.DISP.(INDICE('R01_11_WGS84'!G\$2:G\$6621; CONFRONTA(\$D\$2:\$D\$31831;'R01_11_WGS84'!\$B\$2:\$B\$6621;0)); "")

⁶¹ https://www.istat.it/storage/cartografia/variabili-censuarie/dati-cpa_2011.zip

Sul foglio *SCE_2011*, mostrato in Tab. 2-4, vengono importate, invece, le variabili relative al censimento dell'industria e dei servizi, tratte dal file *01_AttEcon_SCE_2011.txt* (Istituto Nazionale di Statistica - ISTAT (b), 2015)⁶².

Tab. 2-4 Zone-Area_Studio.xlsx - Foglio *SCE_2011*

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	CODREG	PROCOM	NSEZ	ATECO3	ADDETTI	ALTRI_RETRIB	VOLONTARI	SEZ2011	Personale_TOT	LayerID	Xg	Yg	Personale Pesato
2	1	1001	1	683	2			10010000001	2				
3	1	1001	1	960	4			10010000001	4				
4	1	1001	1	531	4			10010000001	4				
...
754	1	1008	1	478	2			10080000001	2	001 001 008 000 000	7.524600927	45.0961919	2
755	1	1008	1	475	1			10080000001	1	001 001 008 000 000	7.524600927	45.0961919	1
756	1	1008	1	462	1			10080000001	1	001 001 008 000 000	7.524600927	45.0961919	1
757	1	1008	1	432	2			10080000001	2	001 001 008 000 000	7.524600927	45.0961919	2
...
262030	1	96084	25	900	0	0	9	960840000025	9				
262031	1	96084	26	949	0	0	22	960840000026	22				
262032	1	96084	4	910	0	0	15	960840000004	15				

I dati in Tab. 2-4 possono essere completati con le formule mostrate nella seguente Tab. 2-5.

Tab. 2-5 Formule utilizzate sul foglio *SCE_2011* (Tab. 2-4)

Cella	Parametro	Formula
H2	SEZ2011	=B\$2:B\$262032 & TESTO(\$C\$2:\$C\$262032; "000000#")
I2	Personale_TOT	=E\$2:E\$262032 + F\$2:F\$262032 + G\$2:G\$262032
J2	LayerID	=SE.NON.DISP.(INDICE('R01_11_WGS84'!E\$2:E\$6621; CONFRONTA(VALORE(\$H\$2:\$H\$262032); 'R01_11_WGS84'!B\$2:B\$6621; 0)); "")
K2	Xg	=SE.NON.DISP.(INDICE('R01_11_WGS84'!F\$2:F\$6621; CONFRONTA(VALORE(\$H\$2:\$H\$262032); 'R01_11_WGS84'!B\$2:B\$6621; 0)); "")
L2	Yg	=SE.NON.DISP.(INDICE('R01_11_WGS84'!G\$2:G\$6621; CONFRONTA(VALORE(\$H\$2:\$H\$262032); 'R01_11_WGS84'!B\$2:B\$6621; 0)); "")
M2	Personale Pesato	=SE(\$J\$2# = ""; ""; \$I\$2# * INDICE(Ateco3!\$G\$3:\$G\$383; CONFRONTA(SCE_2011!\$D\$2:\$D\$262032; NUMERO.VALORE(Ateco3!\$D\$3#); 0)))

⁶² https://www.istat.it/storage/cartografia/variabili-censuarie/dati-sce_2011.zip

Dettagli su zonizzazione, poli e centroidi (file Zone-Area_Studio.xlsx)

L'elenco dei codici a sei cifre relativi alle attività economiche, tratto dal file *ateco_struttura_17dicembre_2008.xls* (Istituto Nazionale di Statistica - ISTAT, 2009)⁶³, viene importato sul foglio *Ateco3* e, successivamente, filtrato per ottenere la lista dei codici Ateco a tre cifre, come mostrato in Tab. 2-6.

Tab. 2-6 Zone-Area_Studio.xlsx - Foglio **Ateco3**

	A	B
1	Struttura Ateco 2007 (ateco_struttura_17dicembre_2008.xls)	
2	Codice Ateco 2007	Descrizione
3	A	AGRICOLTURA, SILVICOLTURA E PESCA
4	01	COLTIVAZIONI AGRICOLE E PRODUZIONE DI PRODOTTI ANIMALI, CACCIA E SERVIZI CONNESSI
5	01.1	COLTIVAZIONE DI COLTURE AGRICOLE NON PERMANENTI
6	01.11	Coltivazione di cereali (escluso il riso), legumi da granella e semi oleosi
7	01.11.1	Coltivazione di cereali (escluso il riso)
...
3138	U	ORGANIZZAZIONI ED ORGANISMI EXTRATERRITORIALI
3139	99	ORGANIZZAZIONI ED ORGANISMI EXTRATERRITORIALI
3140	99.0	ORGANIZZAZIONI ED ORGANISMI EXTRATERRITORIALI
3141	99.00	Organizzazioni ed organismi extraterritoriali
3142	99.00.0	Organizzazioni ed organismi extraterritoriali
3143	99.00.00	Organizzazioni ed organismi extraterritoriali

	D	E	F	G
1	ATECO3	Descrizione	Presente nell'area di studio [244]	Peso
2	[272]			
3	A	AGRICOLTURA, SILVICOLTURA E PESCA	-	1
4	01	COLTIVAZIONI AGRICOLE E PRODUZIONE DI PRODOTTI ANIMALI, CACCIA E SERVIZI CONNESSI	-	1
5	011	Coltivazione Di Colture Agricole Non Permanenti	FALSO	1
6	012	Coltivazione Di Colture Permanenti	FALSO	1
7	013	Riproduzione Delle Piante	FALSO	1
8	014	Allevamento Di Animali	FALSO	1
9	015	Coltivazioni Agricole Associate All'Allevamento Di Animali: Attività Mista	VERO	1
10	016	Attività Di Supporto All'Agricoltura E Attività Successive Alla Raccolta	VERO	1
11	017	Caccia, Cattura Di Animali E Servizi Connessi	FALSO	1
...
381	U	ORGANIZZAZIONI ED ORGANISMI EXTRATERRITORIALI	-	1
382	99	ORGANIZZAZIONI ED ORGANISMI EXTRATERRITORIALI	-	1
383	990	Organizzazioni Ed Organismi Extraterritoriali	FALSO	1

I codici Ateco a tre cifre, evidenziati in Tab. 2-6 con il colore verde, vengono selezionati tramite le formule mostrate nella seguente Tab. 2-7.

Tab. 2-7 Formule utilizzate sul foglio **Ateco3** (Tab. 2-6)

Cella	Parametro	Formula
D3	ATECO3	=SOSTITUISCI(FILTRO(\$A\$3:\$A\$3143; LUNGHEZZA(\$A\$3:\$A\$3143) <= 4); ". "; "")
E3	Descrizione	=SE(LUNGHEZZA(\$D\$3#)=3; MAIUSC.INIZ(INDICE(\$B\$3:\$B\$3143; CONFRONTA(D3#; SOSTITUISCI(\$A\$3:\$A\$3143; ". "; ""); 0))); INDICE(\$B\$3:\$B\$3143; CONFRONTA(D3#; SOSTITUISCI(\$A\$3:\$A\$3143; ". "; ""); 0))
F3	Presente nell'area di studio	=SE(LUNGHEZZA(\$D\$3#)=3; VAL.NUMERO(RICERCA(" "&\$D\$3#&" "; " "&TESTO.UNISCI(" "; VERO; TESTO(UNICI(FILTRO(SCE_2011!\$D\$2:\$D\$262032; SCE_2011!\$J\$2# <> "")); "000")&" "; 1)); "-")

⁶³ <https://www4.istat.it/it/files/2011/03/STRUTTURA.zip?title=Classificazione+Ateco+2007+--+01%2Fott%2F2009+--+Ateco+2007.zip>

Peso e coordinate dei poli e dei centroidi generatori vengono elaborati sul foglio *Gen*, come mostrato nella seguente Tab. 2-8.

Tab. 2-8 Zone-Area_Studio.xlsx - Foglio *Gen*

	A	B	C	D	E
1	Poli generatori [6379]				
2	SEZ2011	LayerID	Xg	Yg	P
3	10080000001	001 001 008 000 000	7.5246009266	45.0961918959	301
4	10080000002	001 001 008 000 000	7.5248742545	45.0952331207	295
5	10080000003	001 001 008 000 000	7.5243568541	45.0978877543	388
6	10080000004	001 001 008 000 000	7.5217399347	45.0946342203	461
7	10080000005	001 001 008 000 000	7.5213780627	45.0965917907	718
8	10080000006	001 001 008 000 000	7.5247846928	45.0923579064	674
9	10080000007	001 001 008 000 000	7.5266383289	45.0932909093	503
...
6376	13140000069	001 001 314 000 000	7.7947178703	45.1926303279	23
6377	13140000070	001 001 314 000 000	7.7481525799	45.2056841861	35
6378	13140000071	001 001 314 000 000	7.7682363732	45.1830093029	14
6379	13140000072	001 001 314 000 000	7.7859409064	45.1889730527	12
6380	13140000073	001 001 314 000 000	7.7655507802	45.1790105156	10
6381	13148888888	001 001 314 000 000	7.7755497944	45.2011250502	5

	G	H	I	J
1	Centroidi generatori [113]			
2	LayerID	P	Xg	Yg
3	001 001 008 000 000	16893	7.5243907038	45.0971563514
4	001 001 018 000 000	3783	7.8058825298	45.0694900796
5	001 001 024 000 000	18104	7.5914016281	45.0155696704
6	001 001 028 000 000	13620	7.6641991803	45.1509456387
7	001 001 048 000 000	6215	7.7774098554	44.9732713706
8	001 001 051 000 000	5566	7.5986042192	44.9584529238
9	001 001 058 000 000	9156	7.6700410518	44.9056803839
...
110	001 001 280 000 000	10911	7.7432954132	44.9829503024
111	001 001 292 000 002	15600	7.6351499736	45.1291484867
112	001 001 292 000 001	17931	7.6327990080	45.1206398010
113	001 001 292 000 000	210	7.6229986299	45.1494346680
114	001 001 309 000 000	14108	7.6299728909	44.9554012767
115	001 001 314 000 000	14998	7.7772329930	45.1990786845

I risultati in Tab. 2-8 vengono calcolati con le formule riportate in Tab. 2-9.

Tab. 2-9 Formule utilizzate sul foglio *Gen* (Tab. 2-8)

Cella	Parametro	Formola
A3	SEZ2011	=FILTRO(CPA_2011!\$D\$2:\$D\$31831; CPA_2011!\$H\$2# <> "")
B3	LayerID	=INDICE(CPA_2011!H\$2#; CONFRONTA(\$A\$3#; CPA_2011!\$D\$2:\$D\$31831; 0))
C3	Xg	=INDICE(CPA_2011!I\$2#; CONFRONTA(\$A\$3#; CPA_2011!\$D\$2:\$D\$31831; 0))
D3	Yg	=INDICE(CPA_2011!J\$2#; CONFRONTA(\$A\$3#; CPA_2011!\$D\$2:\$D\$31831; 0))
E3	P	=INDICE(CPA_2011!\$G\$2:\$G\$31831; CONFRONTA(\$A\$3#; CPA_2011!\$D\$2:\$D\$31831; 0))
G3	LayerID	=UNICI(B3#)
H3	P	=SOMMA.SE(\$B\$3#; \$G\$3#; \$E\$3#)
I3	Xg	=SOMMA(FILTRO(C\$3# * \$E\$3#; \$B\$3# = \$G3)) / \$H3
J3	Yg	=SOMMA(FILTRO(D\$3# * \$E\$3#; \$B\$3# = \$G3)) / \$H3

Le formule inserite nelle celle I3 e J3, riportate in Tab. 2-9, vanno estese sino all'ultima riga piena, ovvero la riga 115, come visibile in Tab. 2-8.

Dettagli su zonizzazione, poli e centroidi (file Zone-Area_Studio.xlsx)

Peso e coordinate dei poli e dei centroidi attrattori vengono elaborati sul foglio Att, come mostrato nella seguente Tab. 2-10.

Tab. 2-10 Zone-Area_Studio.xlsx - Foglio Att

	A	B	C	D	E
1	Poli attrattori [6110]				
2	SEZ2011	LayerID	Xg	Yg	P
3	10080000001	001 001 008 000 000	7.5246009266	45.0961918959	13
4	10080000010	001 001 008 000 000	7.5415770720	45.0932227849	1
5	10080000011	001 001 008 000 000	7.5199174474	45.0933512990	126
6	10080000012	001 001 008 000 000	7.5257553422	45.0889229276	95
7	10080000013	001 001 008 000 000	7.5202389060	45.0886391538	20
8	10080000014	001 001 008 000 000	7.5161122195	45.0859890404	72
9	10080000015	001 001 008 000 000	7.5163040529	45.0993789040	243
...
6107	12720000595	001 001 272 008 008	7.6975214504	45.0599706700	40
6108	12720000065	001 001 272 001 018	7.6879506080	45.0733754610	13
6109	12720000766	001 001 272 003 104	7.6604688788	45.0682751402	22
6110	12800000020	001 001 280 000 000	7.7603221014	44.9867093276	7
6111	13140000049	001 001 314 000 000	7.7663980675	45.2116590732	51
6112	13148888888	001 001 314 000 000	7.7755497944	45.2011250502	51

	G	H	I	J
1	Centroidi attrattori [113]			
2	LayerID	P	Xg	Yg
3	001 001 008 000 000	5942	7.5224192108	45.1018125767
4	001 001 018 000 000	539	7.8046895083	45.0708030334
5	001 001 024 000 000	7377	7.5913376641	45.0189332235
6	001 001 028 000 000	6476	7.6664352003	45.1470904645
7	001 001 048 000 000	2924	7.7730689933	44.9701006884
8	001 001 051 000 000	3561	7.5792308181	44.9692059388
9	001 001 058 000 000	2716	7.6737200839	44.9057036531
...
110	001 001 280 000 000	4262	7.7424315240	44.9795064501
111	001 001 292 000 002	6228	7.6305669108	45.1337129070
112	001 001 292 000 001	6463	7.6393145889	45.1177409337
113	001 001 292 000 000	200	7.6140484212	45.1502981871
114	001 001 309 000 000	4139	7.6315923374	44.9573876912
115	001 001 314 000 000	8007	7.7795362652	45.1940482726

I risultati in Tab. 2-10 vengono calcolati con le formule riportate in Tab. 2-11.

Tab. 2-11 Formule utilizzate sul foglio Att (Tab. 2-10)

Cella	Parametro	Formula
A3	SEZ2011	
B3	LayerID	
C3	Xg	
D3	Yg	
E3	P	
G3	LayerID	
H3	P	
I3	Xg	
J3	Yg	

Le formule inserite nelle celle I3 e J3, riportate in Tab. 2-11, vanno estese sino all'ultima riga piena, ovvero la riga 115, come visibile in Tab. 2-10.

Pesi e coordinate dei centroidi risultanti sono riportati sul foglio *Centroidi*, come mostrato in Tab. 2-12.

Tab. 2-12 Zone-Area_Studio.xlsx - Foglio **Centroidi**

	A	B	C	D
1	LayerID	P	Xg	Yg
2	001 001 078 000 000	5868	7.8312264051	44.9990755691
3	001 001 192 000 000	10436	7.7785524004	45.0403505053
4	001 001 309 000 000	18247	7.6303402328	44.9558518587
5	001 001 214 000 000	29199	7.5191763769	45.0188541477
6	001 001 127 000 000	11421	7.6694635689	44.9545004659
7	001 001 171 000 000	8889	7.5655344042	45.0179452384
8	001 001 249 000 000	27659	7.7590750646	45.1061390225
9	001 001 280 000 000	15173	7.7430527522	44.9819829460
10	001 001 193 000 000	5482	7.6117590425	44.9298361601
11	001 001 018 000 000	4322	7.8057337472	45.0696538191
12	001 001 090 000 000	6665	7.6080996699	45.1050000073
13	001 001 024 000 000	25481	7.5913831099	45.0165434521
14	001 001 257 000 000	15116	7.7754394410	44.9494916745
15	001 001 058 000 000	11872	7.6708827172	44.9056857073
...
101	001 001 090 000 003	21589	7.5783219044	45.0813483512
102	001 001 090 000 002	21075	7.5889761833	45.0731056361
103	001 001 272 004 040	27421	7.6189179768	45.0802049778
104	001 001 272 004 041	19675	7.6344228813	45.0776385709
105	001 001 272 004 046	21984	7.6566548931	45.0784668065
106	001 001 272 004 126	20861	7.6628820906	45.0812763777
107	001 001 164 000 001	20574	7.6414090318	44.9977791824
108	001 001 272 004 123	20765	7.6385236657	45.0819948314
109	001 001 272 003 037	17095	7.6408902353	45.0727835862
110	001 001 219 000 001	17680	7.5415873937	45.0744563614
111	001 001 219 000 003	21209	7.5124871747	45.0719865964
112	001 001 090 000 001	18392	7.5662475180	45.0769969542
113	001 001 219 000 002	27743	7.5368101647	45.0674600083
114	001 001 120 000 001	18019	7.5697156134	45.0647085845

La Tab. 2-12 può essere completata con le formule mostrate nella seguente Tab. 2-13.

Tab. 2-13 Formule utilizzate sul foglio **Centroidi** (Tab. 2-12)

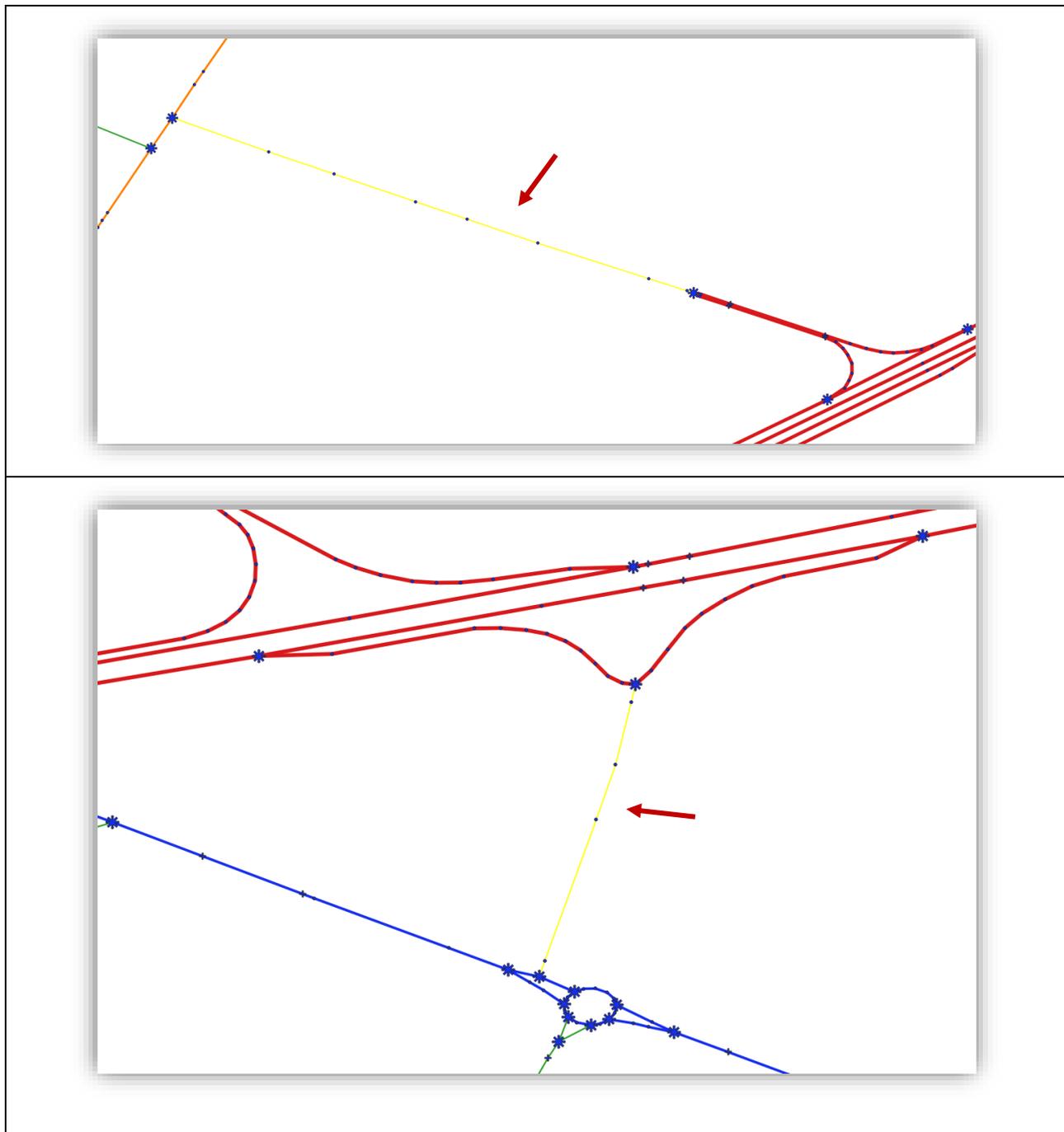
Cella	Parametro	Formola
A2	LayerID	=UNICI('R01_11_WGS84'!\$E\$2:\$E\$6621)
B2	P	=SOMMA.SE(Gen!\$G\$3#; \$A2#; Gen!\$H\$3#) + SOMMA.SE(Att!\$G\$3#; \$A2#; Att!\$H\$3#)
C2	Xg	=(FILTRO(Gen!!\$3:\$115 * Gen!\$H\$3#; Gen!\$G\$3# = \$A2) + FILTRO(Att!!\$3:\$115 * Att!\$H\$3#; Att!\$G\$3# = \$A2)) / \$B2
D2	Yg	=(FILTRO(Gen!!\$3:\$115 * Gen!\$H\$3#; Gen!\$G\$3# = \$A2) + FILTRO(Att!!\$3:\$115 * Att!\$H\$3#; Att!\$G\$3# = \$A2)) / \$B2

Le formule utilizzate nelle celle C2 e D2, riportate in Tab. 2-13, vanno estese sino all'ultima riga piena, ovvero la riga 114, come visibile in Tab. 2-12.

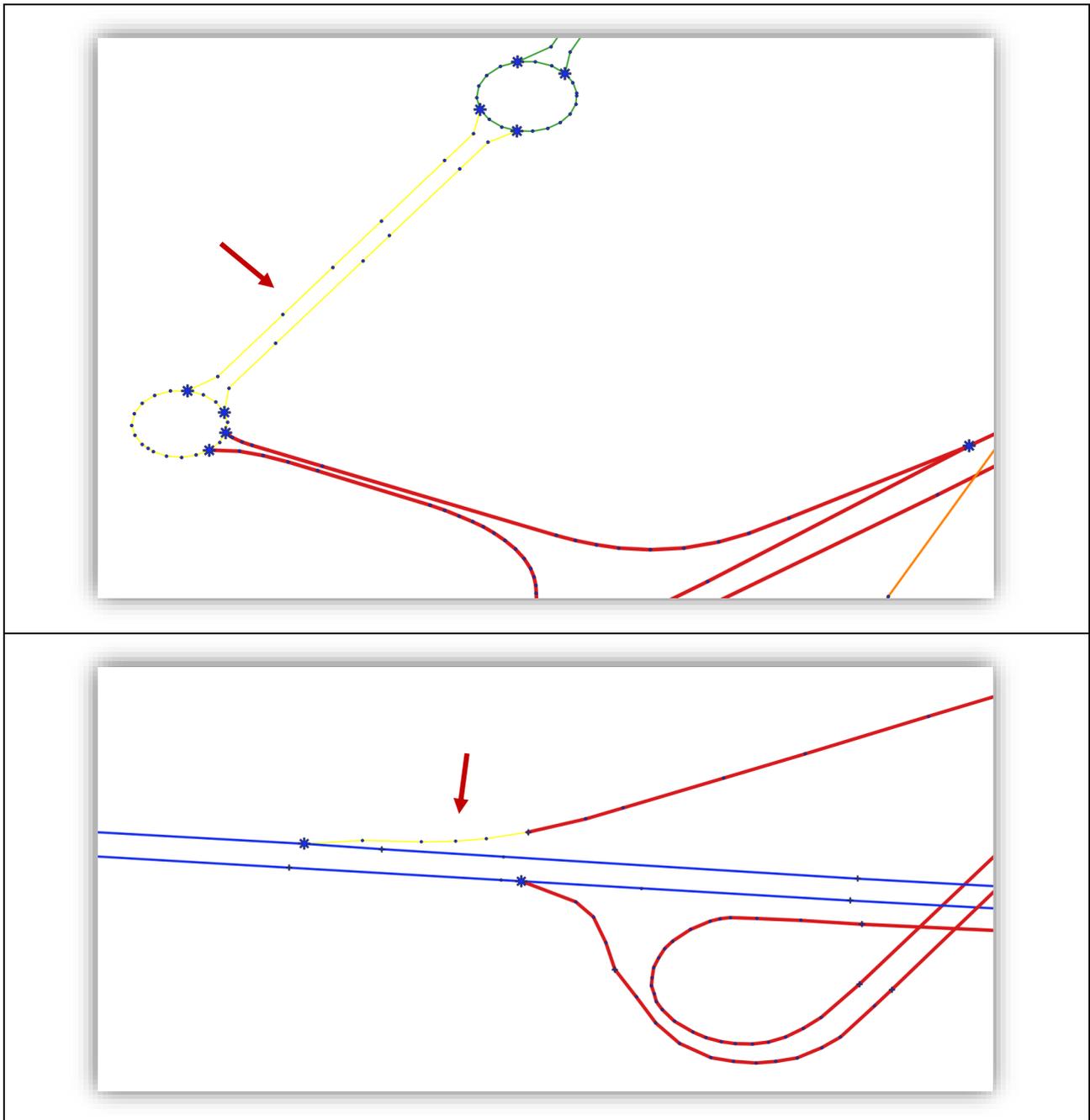
A.3 Costruzione del grafo di riferimento

Nella seguente Tab. 3-1 vengono mostrati gli archi OpenStreerMap che sono stati esclusi dalla selezione basata sulla classificazione (fclass) ma che occorre reinserire sul grafo, poiché sengmenti di svincolo della tangenziale A55.

Tab. 3-1 Reinserimento dei segmenti connettori degli svincoli autostradali (in giallo gli elementi aggiunti)



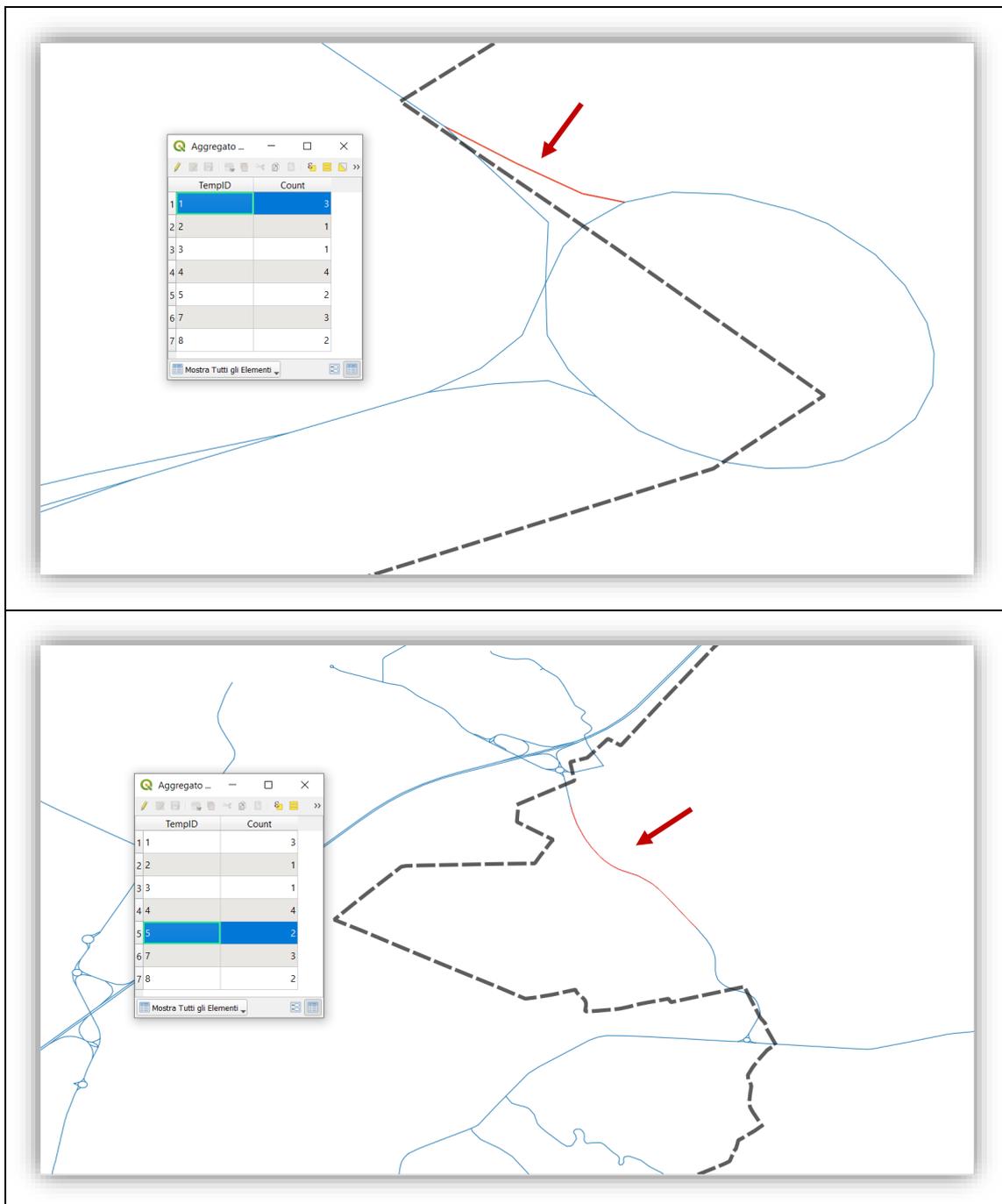
Tab. 3-1 Reinsediamento dei segmenti connettori degli svincoli autostradali (in giallo gli elementi aggiunti)



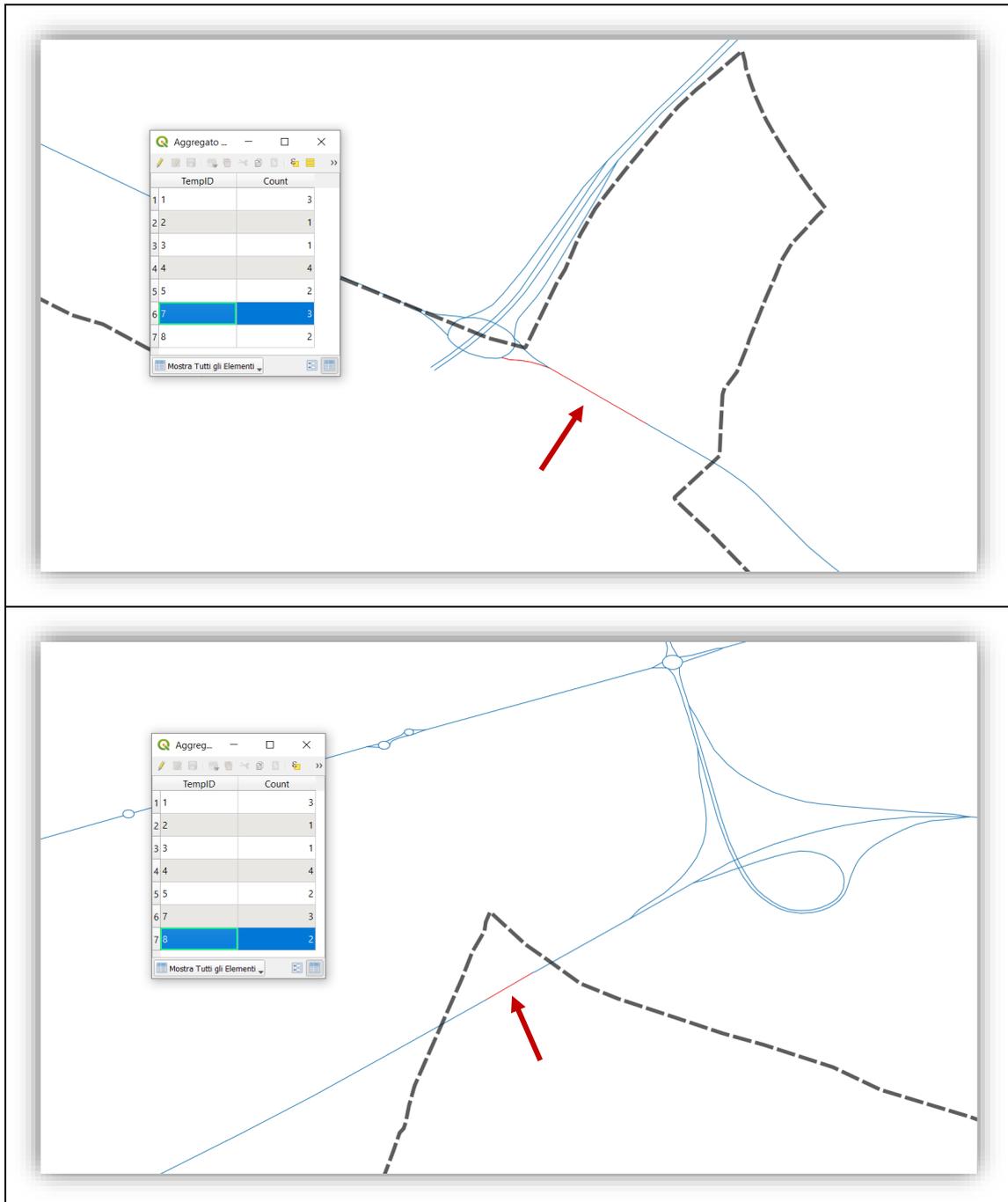
Costruzione del grafo di riferimento

Nella seguente Tab. 3-2 vengono mostrati gli archi che sono stati esclusi poiché ricadenti all'esterno dei confini dell'area di studio che, però, è necessario reinserire sul grafo per il completamento di alcuni percorsi.

Tab. 3-2 Elementi connettori reinseriti sul vettore delle strade principali a servizio dell'area di studio



Tab. 3-2 Elementi connettori reinseriti sul vettore delle strade principali a servizio dell'area di studio



Le informazioni riportate in Tab. 3-3 sono state ricavate come segue:

- Nella colonna “Nome attributo” vengono elencati i campi effettivamente presenti sul file geopackage nell’ordine in cui sono riportati;
- Le colonne “Origine” e “Descrizione” condensano le informazioni presentate all’interno dei documenti *DatiSVR2019_su_ElementoStradaleBDTRE_metadato.pdf* e *Modello_SVR.pdf*, contenuti nell’archivio *DatiSVR2019_su_ElementoStradaleBDTRE.zip* reperibile sul *Geoportale del Piemonte (CSI Piemonte, 2021)*⁶⁴;
- La colonna “Valori” riporta i valori delle principali variabili categoriche associate agli elementi BDTRE selezionati per l’area oggetto di studio.

Tab. 3-3 Attributi associati agli elementi stradali BDTRE

Nome attributo	Origine	Descrizione	Valori
id	BDTRE	identificativo univoco dell’elemento	-
uuid	BDTRE	identificativo univoco dell’elemento	-
data_acq	BDTRE	data di acquisizione del dato (metadato operativo)	• 20100101000000 (01/01/2010)
data_agg	BDTRE	data di aggiornamento del dato (metadato operativo)	• 20161231000000 (31/12/2016) • 20201231000000 (31/12/2020)
data_fin	BDTRE	data di fine validità del dato (metadato operativo)	• 99991231000000 (31/12/9999)
ente_for	BDTRE	ente fornitore del dato (metadato operativo)	• Comune di riferimento • REGIONE PIEMONTE
ente_prod	BDTRE	ente produttore del dato (metadato operativo)	• CSI PIEMONTE
modo_prod	BDTRE	modalità di produzione del dato (metadato operativo)	• elaborazione automatica e verifiche manuali • rilievo speditivo - ortofoto
sc_acq	BDTRE	scala di acquisizione del dato (metadato operativo)	• 1:10000
el_str_ty	BDTRE	descrizione tipo strada	• area a traffico non strutturato • di passaggio a livello • di piazza • di rampa/svincolo • di rotatoria • di tronco carreggiata • di tronco ordinario di carreggiata
cod_el_str	BDTRE	codice tipo strada	• 01 • 0101 • 0102 • 0104 • 0204 • 0205 • 03

⁶⁴https://www.geoportale.piemonte.it/geonetwork/srv/ita/catalog.search#/metadata/r_piemon:2bb551d2-bad8-488f-9070-07f5a65b5f11

Tab. 3-3 Attributi associati agli elementi stradali BDTRE

Nome attributo	Origine	Descrizione	Valori
el_str_cf	BDTRE	descrizione classifica tecnico-funzionale	<ul style="list-style-type: none"> • autostrada • strada extraurbana principale • strada extraurbana secondaria • strada locale • strada urbana di quartiere • strada urbana di scorrimento
cod_el_s_1	BDTRE	codice classifica tecnico-funzionale	<ul style="list-style-type: none"> • 01 • 02 • 03 • 04 • 05 • 06
el_str_sta	BDTRE	descrizione stato	<ul style="list-style-type: none"> • in costruzione • in disuso • in esercizio
cod_el_s_2	BDTRE	codice stato	<ul style="list-style-type: none"> • 01 • 02 • 03
el_str_fon	BDTRE	descrizione fondo	<ul style="list-style-type: none"> • non pavimentato • pavimentato
cod_el_s_3	BDTRE	codice fondo	<ul style="list-style-type: none"> • 01 • 02
el_str_cl	BDTRE	descrizione classe di larghezza	<ul style="list-style-type: none"> • larghezza minore di 3.5 m • larghezza compresa tra 3.5 m e 7.0 m • larghezza maggiore di 7.0 m • Non conosciuto
cod_el_s_4	BDTRE	codice classe di larghezza	<ul style="list-style-type: none"> • 01 • 02 • 03 • 91
el_str_sed	BDTRE	descrizione sede stradale	<ul style="list-style-type: none"> • a raso • in galleria • su ponte/viadotto/cavalcavia
cod_el_s_5	BDTRE	codice sede stradale	<ul style="list-style-type: none"> • 01 • 02 • 03
el_str_liv	BDTRE	descrizione livello	<ul style="list-style-type: none"> • in sottopasso • non in sottopasso
cod_el_s_6	BDTRE	codice livello	<ul style="list-style-type: none"> • 01 • 02
el_str_nc	BDTRE	numero corsie	<ul style="list-style-type: none"> • 1 • 2 • 3
es_amm_nom	BDTRE	nome estesa amministrativa	-
tp_str_nom	BDTRE	toponimo stradale	-
tp_str_loc	BDTRE	località/frazione	-
tp_str_aln	BDTRE	altro nome via	-

Tab. 3-3 Attributi associati agli elementi stradali BDTR

Nome attributo	Origine	Descrizione	Valori
hier_svr	SVR	Classe funzionale dell'arco	<ul style="list-style-type: none"> • 0 • 1 • 2 • 3 • 4 • 5
patr_svr	SVR	Patrimonialità dell'arco (A=autostradale, S=statale, R=regionale, P=provinciale, C=comunale)	<ul style="list-style-type: none"> • A • C • P • R • S
nlan_svr	SVR	Numero di corsie dell'arco	<ul style="list-style-type: none"> • 1 • 2 • 3 • 4 • 5 • 6 • 7 • 9 • 11
mfwl_dir_a	SVR	Traffico giornaliero medio Leggeri ⁶⁵ in direzione a (veicoli/giorno)	-
mfwl_dir_b	SVR	Traffico giornaliero medio Leggeri sull'arco in direzione b (veicoli/giorno)	-
mfwl_sum	SVR	Traffico giornaliero medio Leggeri sull'arco in entrambe le direzioni (veicoli/giorno)	-
mfwp_dir_a	SVR	Traffico giornaliero medio Pesanti ⁶⁶ sull'arco in direzione a (veicoli/giorno)	-
mfwp_dir_b	SVR	Traffico giornaliero medio Pesanti sull'arco in direzione b (veicoli/giorno)	-
mfwp_sum	SVR	Traffico giornaliero medio Pesanti sull'arco in entrambe le direzioni (veicoli/giorno)	-
mfw_sum	SVR	Traffico giornaliero medio Totale veicoli sull'arco in entrambe le direzioni (veicoli/giorno)	-
capa_sum	SVR	Capacità complessiva dell'arco stradale. Espresso in veicoli/ora. Derivato come somma dei valori delle due direzioni	-
sped_med	SVR	Velocità a flusso nullo, cioè valori di velocità di percorrenza sull'arco stradale a rete scarica nelle due direzioni. Espresso in km/h.	-
aspd_a	SVR	Velocità di percorrenza media giornaliera nell'anno di riferimento sull'arco in direzione a. Espresso in km/h.	-
aspd_b	SVR	Velocità di percorrenza media giornaliera nell'anno di riferimento sull'arco in direzione b. Espresso in km/h.	-

⁶⁵ Leggeri = Veicoli fino a 3.5 t e 9 passeggeri.

⁶⁶ Pesanti = Veicoli con massa superiore a 3.5 t o con più di 9 passeggeri.

Tab. 3-3 Attributi associati agli elementi stradali BDTRE

Nome attributo	Origine	Descrizione	Valori
aspd_med	SVR	(da cancellare dal tracciato record)	-
aspd_max	SVR	Velocità di percorrenza media giornaliera nell'anno di riferimento sull'arco nelle due direzioni. Espresso in km/h.	-
cong_m_a⁶⁷	SVR	valore puntuale dell'indice di congestione in direzione a	-
cong_m_b	SVR	valore puntuale dell'indice di congestione in direzione b	-
cong_m_max	SVR	valore puntuale dell'indice di congestione nelle due direzioni	-
cong_p_a⁶⁸	SVR	valore puntuale dell'indice di congestione in direzione a	-
cong_p_b	SVR	valore puntuale dell'indice di congestione in direzione b	-
cong_p_max	SVR	valore puntuale dell'indice di congestione nelle due direzioni	-
traf_m_a	SVR	valore secco sullo stato del traffico, in base ai range di IC ⁶⁹	<ul style="list-style-type: none"> • libero (IC >= 0.91) • intenso (IC tra 0.91 e 0.77) • rallentato (IC tra 0.77 e 0.50) • coda (IC <= 0.50)
traf_m_b	SVR	valore secco sullo stato del traffico, in base ai range di IC	<ul style="list-style-type: none"> • libero (IC >= 0.91) • intenso (IC tra 0.91 e 0.77) • rallentato (IC tra 0.77 e 0.50) • coda (IC <= 0.50)
traf_m_max	SVR	valore secco sullo stato del traffico, in base ai range di IC	<ul style="list-style-type: none"> • libero (IC >= 0.91) • intenso (IC tra 0.91 e 0.77) • rallentato (IC tra 0.77 e 0.50) • coda (IC <= 0.50)
traf_p_a	SVR	valore secco sullo stato del traffico, in base ai range di IC	<ul style="list-style-type: none"> • libero (IC >= 0.91) • intenso (IC tra 0.91 e 0.77) • rallentato (IC tra 0.77 e 0.50) • coda (IC <= 0.50)
traf_p_b	SVR	valore secco sullo stato del traffico, in base ai range di IC	<ul style="list-style-type: none"> • libero (IC >= 0.91) • intenso (IC tra 0.91 e 0.77) • rallentato (IC tra 0.77 e 0.50) • coda (IC <= 0.50)
traf_p_max	SVR	valore secco sullo stato del traffico, in base ai range di IC	<ul style="list-style-type: none"> • libero (IC >= 0.91) • intenso (IC tra 0.91 e 0.77) • rallentato (IC tra 0.77 e 0.50) • coda (IC <= 0.50)
lunghezza	BDTRE	lunghezza in metri dell'elemento	-
istat_comu	BDTRE	codice istat del comune di appartenenza	-

⁶⁷ m = Stato del Traffico relativo all'ora di punta del mattino: condizioni di deflusso del traffico su un arco stradale tra le 8 e le 9 del giorno feriale, convenzionalmente nel mese di novembre dell'anno di riferimento.

⁶⁸ p = Stato del Traffico relativo all'ora di punta del pomeriggio: condizioni di deflusso del traffico su un arco stradale tra le 17 e le 18 del giorno feriale, convenzionalmente nel mese di novembre dell'anno di riferimento.

⁶⁹ Per Indice di Congestione (IC) si intende il rapporto tra la velocità media di percorrenza nel periodo di riferimento e la velocità a flusso nullo sul medesimo arco stradale.

Dettagli sulla definizione della Matrice oraria dei flussi motorizzati (file Matr_Mob_Motorizzata.xlsx)

A.4 Dettagli sulla definizione della Matrice oraria dei flussi motorizzati (file Matr_Mob_Motorizzata.xlsx)

Nella Tab. 4-1 si riporta, innanzitutto, la matrice delle distanze in km, ottenuta importando la rete stradale su OmniTRANS ed esportando, successivamente, il file contenente l'albero dei cammini minimi (SkimMatrix_Dmin.txt).

Tab. 4-1 Matr_Mob_Motorizzata.xlsx - Foglio Matr_D

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	...	DX	DY	DZ	EA	EB	EC	ED	EE
1	O/D	1	2	3	4	5	6	7	8	...	127	128	129	130	131	132	133	134
2	1	0	7.949	14.086	9.144	7.273	6.225	23.744	10.195	...	50.155	65.75	94.797	158.799	277.879	163.832	132.913	60.052
3	2	7.976	0	6.891	4.301	4.381	3.935	19.867	8.752	...	49.405	72.464	101.51	152.661	272.819	158.772	139.627	67.243
4	3	14.03	6.891	0	7.5	9.4	9.618	21.221	12.436	...	46.995	78.519	107.565	153.098	268.989	154.941	145.682	72.964
5	4	9.034	4.281	7.512	0	2.142	2.57	16.043	5.368	...	51.439	73.417	102.463	151.454	272.384	158.337	140.58	67.718
6	5	7.233	4.383	9.418	2.125	0	1.341	16.585	5.049	...	51.244	71.412	100.459	153.361	274.29	160.243	138.575	65.714
7	6	6.28	4.013	9.552	2.631	1.343	0	17.831	6.295	...	50.31	70.654	99.701	153.84	274.424	160.377	137.818	64.956
8	7	23.636	19.742	21.08	15.903	16.5	17.726	0	16.182	...	59.554	87.816	116.862	158.784	280.499	166.451	154.979	82.117
9	8	10.121	8.693	12.39	5.33	5.021	6.213	16.13	0	...	55.307	74.301	103.347	155.411	276.602	162.555	141.464	68.081
...
128	127	50.078	49.394	47.01	51.498	51.23	50.319	59.977	55.269	...	0	112.898	141.944	181.492	290.848	176.8	180.061	109.404
129	128	65.861	72.93	78.734	73.377	71.367	70.622	87.838	74.289	...	113.427	0	138.781	223.32	343.037	228.989	176.898	104.596
130	129	94.797	101.866	107.669	102.313	100.303	99.557	116.773	103.224	...	142.362	138.67	0	252.255	371.972	257.925	205.833	133.532
131	130	158.285	152.383	153.08	151.19	153.091	153.517	159.385	155.19	...	179.773	222.774	251.82	0	400.718	286.671	289.937	217.219
132	131	273.802	268.852	265.012	268.398	270.297	270.515	276.504	272.525	...	286.431	338.291	367.337	398.019	0	393.328	405.454	333.127
133	132	163.631	158.682	154.842	158.227	160.126	160.345	166.334	162.354	...	176.26	228.12	257.166	287.848	397.204	0	295.283	222.957
134	133	133.417	140.486	146.29	140.933	138.923	138.177	155.394	141.845	...	180.983	177.291	206.337	290.876	410.593	296.545	0	172.152
135	134	59.925	66.994	72.798	67.441	65.431	64.685	81.901	68.353	...	109.243	106.579	136.609	217.383	336.966	222.919	174.726	0

Nella seguente Tab. 4-2 si riporta, invece, l'associazione zona/centroide (CentroidNr) con le rispettive aree ACE e con le macroaree d'analisi, ricavata nel capitolo 4 e contenuta sul file *Zonizzazione.shp*.

Tab. 4-2 Matr_Mob_Motorizzata.xlsx - Foglio **Zone**

	A	B	C
1	Zona/Centroide	LayerID	Tipo
2	1	001 001 272 006 058	Torino
3	2	001 001 272 008 008	Torino
4	3	001 001 272 008 000	Torino
5	4	001 001 272 001 014	Torino
6	5	001 001 272 001 015	Torino
7	6	001 001 272 001 017	Torino
8	7	001 001 214 000 000	Torino_C
9	8	001 001 272 004 040	Torino
10	9	001 001 272 004 041	Torino
11	10	001 001 272 004 046	Torino
12	11	001 001 272 002 028	Torino
13	12	001 001 309 000 000	Torino_C
14	13	001 001 272 002 020	Torino
15	14	001 001 272 002 021	Torino
16	15	001 001 249 000 000	Torino_C
17	16	001 001 272 002 025	Torino
18	17	001 001 272 002 026	Torino
19	18	001 001 063 000 000	Torino_C
20	19	001 001 257 000 000	Torino_C
21	20	001 001 194 000 000	Torino_C
22	21	001 001 189 000 000	Torino_C
...
395	115	001 001 071 000 000	Torino_P
396	120	001 001 304 000 000	Torino_P
397	121	001 001 158 000 000	Torino_P
398	115	001 001 142 000 000	Torino_P
399	116	001 001 303 000 000	Torino_P
400	118	001 001 121 000 000	Torino_P
401	117	001 001 248 000 000	Torino_P
402	117	001 001 279 000 000	Torino_P
403	118	001 001 231 000 000	Torino_P
404	129	001 003	Torino_R
405	129	001 103	Torino_R
406	126	001 004	Torino_R
407	128	001 096	Torino_R
408	129	001 002	Torino_R
409	127	001 005	Torino_R
410	127	001 006	Torino_R
411	134	002	EXT_R
412	133	003	EXT_R
413	130	007	EXT_R
414	132	008	EXT_R
415	131	009	EXT_R

Dettagli sulla definizione della Matrice oraria dei flussi motorizzati (file Matr_Mob_Motorizzata.xlsx)

All'interno della Tab. 4-3 vengono importati i "DestinationData" TIM relativi al giorno 13/02/2019 (LayerID_O = LayerId e LayerID_D = Told).

Tab. 4-3 Matr_Mob_Motorizzata.xlsx - Foglio TIM

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Date	Time	LayerID_O	LayerID_D	Tot	Zona_O	Zona_D	O_name	D_name	d [km]	f_TOT	Veh	Ora
2	13/02/2019	11:00 - 12:00	01 001 272 001 018	01 001 120 000 000	23	34	22	Torino	Torino_C	7.425	0.630	14.480	12
3	13/02/2019	11:00 - 12:00	01 001 272 001 018	01 001 120 000 002	17	34	24	Torino	Torino_C	9.866	0.630	10.703	12
4	13/02/2019	11:00 - 12:00	01 001 272 001 018	01 001 120 000 001	6	34	23	Torino	Torino_C	11.108	0.660	3.959	12
5	13/02/2019	11:00 - 12:00	01 001 272 001 018	01 001 193 000 000	3	34	52	Torino	Torino_C	18.367	0.660	1.979	12
6	13/02/2019	11:00 - 12:00	01 001 272 001 018	01 001 028 000 000	9	34	69	Torino	Torino_C	11.965	0.660	5.938	12
7	13/02/2019	11:00 - 12:00	01 001 272 001 018	01 001 272 008 080	209	34	44	Torino	Torino	2.217	0.080	16.726	12
8	13/02/2019	11:00 - 12:00	01 001 272 001 018	01 001 272 001 096	146	34	54	Torino	Torino	3.169	0.456	66.640	12
9	13/02/2019	11:00 - 12:00	01 001 272 001 018	01 001 272 007 157	172	34	97	Torino	Torino	3.912	0.456	78.508	12
10	13/02/2019	11:00 - 12:00	01 001 272 001 018	01 001 272 008 081	396	34	45	Torino	Torino	1.407	0.080	31.692	12
11	13/02/2019	11:00 - 12:00	01 001 272 001 018	03 015 146 001 010	3	34	133	Torino	EXT_R	138.075	0.650	1.951	12
12	13/02/2019	11:00 - 12:00	01 001 272 001 018	01 001 090 000 001	6	34	107	Torino	Torino_C	11.051	0.660	3.959	12
13	13/02/2019	11:00 - 12:00	01 001 272 001 018	01 001 255 000 000	6	34	116	Torino	Torino_P	23.459	0.660	3.959	12
...
43062	13/02/2019	20:00 - 21:00	01 001 095 000 000	01 001 056 000 000	3	120	119	Torino_P	Torino_P	41.499		0.000	21
43063	13/02/2019	19:00 - 20:00	01 001 095 000 000	01 001 264 000 000	3	120	119	Torino_P	Torino_P	41.499		0.000	20
43064	13/02/2019	19:00 - 20:00	01 001 095 000 000	01 001 056 000 000	3	120	119	Torino_P	Torino_P	41.499		0.000	20
43065	13/02/2019	06:00 - 07:00	01 001 095 000 000	01 001 269 000 000	3	120	119	Torino_P	Torino_P	41.499		0.000	07
43066	13/02/2019	06:00 - 07:00	01 001 095 000 000	01 001 125 000 002	3	120	119	Torino_P	Torino_P	41.499		0.000	07
43067	13/02/2019	06:00 - 07:00	01 001 095 000 000	01 001 265 000 002	3	120	93	Torino_P	Torino_C	20.912	0.660	1.979	07
43068	13/02/2019	06:00 - 07:00	01 001 095 000 000	01 001 056 000 000	3	120	119	Torino_P	Torino_P	41.499		0.000	07
43069	13/02/2019	06:00 - 07:00	01 001 095 000 000	01 001 027 000 000	3	120	119	Torino_P	Torino_P	41.499		0.000	07
43070	13/02/2019	06:00 - 07:00	01 001 095 000 000	01 001 004 000 000	3	120	119	Torino_P	Torino_P	41.499		0.000	07
43071	13/02/2019	06:00 - 07:00	01 001 095 000 000	01 001 042 000 000	3	120	119	Torino_P	Torino_P	41.499		0.000	07
43072	13/02/2019	06:00 - 07:00	01 001 095 000 000	01 001 125 000 001	6	120	119	Torino_P	Torino_P	41.499		0.000	07
43073	13/02/2019	06:00 - 07:00	01 001 095 000 000	01 001 125 000 000	3	120	119	Torino_P	Torino_P	41.499		0.000	07

Le formule utilizzate per il completamento del foglio TIM sono riportate in Tab. 4-4.

Dettagli sulla definizione della Matrice oraria dei flussi motorizzati (file Matr_Mob_Motorizzata.xlsx)

Tab. 4-4 Formule da inserire nell'intervallo **F2:J2** del foglio **TIM** (Tab. 4-3)

Cella	Parametro	Formula	Fase
F2	Zona_O	=SE(STRINGA.ESTRAI("0"&C2;5;3)="001"; INDICE(Zone!\$A\$2:\$A\$415; CONFRONTA("0"&C2;Zone!\$B\$2:\$B\$415;0)); SE(STRINGA.ESTRAI("0"&C2;1;3)="001"; INDICE(Zone!\$A\$2:\$A\$415; CONFRONTA(STRINGA.ESTRAI("0"&C2;1;8);Zone!\$B\$2:\$B\$415;0)); INDICE(Zone!\$A\$2:\$A\$415; CONFRONTA(STRINGA.ESTRAI("0"&C2;1;4);Zone!\$B\$2:\$B\$415;0))))	Preliminare
G2	Zona_D	=SE.ERRORE(SE(STRINGA.ESTRAI("0"&D2;5;3)="001"; INDICE(Zone!\$A\$2:\$A\$415; CONFRONTA("0"&D2;Zone!\$B\$2:\$B\$415;0)); SE(STRINGA.ESTRAI("0"&D2;1;3)="001"; INDICE(Zone!\$A\$2:\$A\$415; CONFRONTA(STRINGA.ESTRAI("0"&D2;1;8);Zone!\$B\$2:\$B\$415;0)); INDICE(Zone!\$A\$2:\$A\$415; CONFRONTA(STRINGA.ESTRAI("0"&D2;1;4); Zone!\$B\$2:\$B\$415;0)))) ;0)	
H2	O_name	=INDICE(Zone!\$C\$2:\$C\$415;CONFRONTA(\$F\$2:\$F\$430073;Zone!\$A\$2:\$A\$415;0))	
I2	D_name	=SE.NON.DISP.(INDICE(Zone!\$C\$2:\$C\$415;CONFRONTA(\$G\$2:\$G\$430073;Zone!\$A\$2:\$A\$415;0)); "err")	
J2	d [km]	=SE.ERRORE(INDICE(Matr_D!\$B\$2:\$EE\$135; CONFRONTA(F2;Matr_D!\$A\$2:\$A\$135;0); CONFRONTA(G2;Matr_D!\$B\$1:\$EE\$1;0)); 0)	
K2	f_TOT	=SE(E(H2="Torino";I2="Torino"); SE(E(J2>0;J2<=3); BackCalc!\$B\$34; SE(E(J2>3;J2<=10); BackCalc!\$C\$34; BackCalc!\$D\$34)); SE(E(H2="Torino_C"; I2="Torino_C"); SE(E(J2>0;J2<=3); BackCalc!\$E\$34; SE(E(J2>3;J2<=10); BackCalc!\$F\$34; BackCalc!\$G\$34)); SE(O(E(H2="Torino";I2="Torino_C"); E(H2="Torino_C";I2="Torino"); E(H2="Torino_P";O(I2="Torino";I2="Torino_C")); E(I2="Torino_P";O(H2="Torino";H2="Torino_C")))); SE(E(J2>0;J2<=3);BackCalc!\$H\$34; SE(E(J2>3;J2<=10);BackCalc!\$I\$34;BackCalc!\$J\$34)); SE(E(H2<>"Torino_P";I2="Torino_R");BackCalc!\$K\$34; SE(E(H2<>"Torino_P";I2="EXT_R");BackCalc!\$L\$34;""))))	Conclusiva
L2	Veh	=SE.ERRORE(E2*K2;0)	
M2	Ora	=SINISTRA(DESTRA(B2;5);2)	

Per completare i calcoli dell'intero foglio **TIM** è sufficiente estendere le formule, inserite nelle celle indicate in Tab. 4-4, sino all'ultima riga (43073).

Dettagli sulla definizione della Matrice oraria dei flussi motorizzati (file Matr_Mob_Motorizzata.xlsx)

Sulla base delle distanze e degli spostamenti riportati sui fogli Matr_D e TIM, vengono calcolati i raggi di mobilità caratteristici mostrati in Tab. 4-5.

Tab. 4-5 Matr_Mob_Motorizzata.xlsx - Foglio Raggio_Mob

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	Raggi di mobilità caratteristici d'area:																	
2																		
3		T_intraCom	C_intraCom	T <-> C	C <-> C	TC <-> P	TC --> R	TC --> IT										
4	r_min [km]	0.714	0.966	1.538	1.274	7.505	33.025	48.965										
5	r_max [km]	15.134	7.306	27.697	38.285	62.721	120.531	289.101										
6	r_med [km]	3.961	2.976	9.660	9.125	22.449	69.352	143.683										
7	Spost tot	1 616 615	179 093	851 588	605 098	655 675	50 014	20 777										
8	Spost [%]	41%	5%	21%	15%	16%	1%	1%										
9																		
10	Distribuzione spostamenti per raggio di mobilità ed area:																	
11																		
12	O/D	T_intraCom			C_intraCom			T <-> C			C <-> C			TC <-> P			TC --> R	TC --> IT
13	raggio [km]	3	10	>10	3	10	>10	3	10	>10	3	10	>10	3	10	>10	*	*
14	Spost per r	652 409	935 226	28 980	91 347	87 746	0	21 473	460 951	369 164	44 622	369 178	191 298	0	68 630	587 045	50 014	20 777
15	Spost [%]	40.4%	57.9%	1.8%	51.0%	49.0%	0.0%	2.5%	54.1%	43.4%	7.4%	61.0%	31.6%	0.0%	10.5%	89.5%	100.0%	100.0%

Le formule utilizzate per il completamento del foglio Raggio_Mob sono riportate in Tab. 4-6.

Tab. 4-6 Formule utilizzate sul foglio Raggio_Mob (Tab. 4-5)

Intervallo	Parametro	Formula	Analisi
B4:H4	r_min [km]	=MIN(FILTRO(TIM!\$J\$2:\$J\$430073; COND_A))	Raggi caratteristici
B5:H5	r_min [km]	=MAX(FILTRO(TIM!\$J\$2:\$J\$430073; COND_A))	
B6:H6	r_med [km]	=SOMMA(FILTRO(TIM!\$J\$2:\$J\$430073 * TIM!\$E\$2:\$E\$430073; COND_A)) / SOMMA(FILTRO(TIM!\$E\$2:\$E\$430073; COND_A))	
B7:H7	Spost tot	=SOMMA(FILTRO(TIM!\$E\$2:\$E\$430073; COND_A))	
B14:R14	Spost per r	=SOMMA(FILTRO(TIM!\$E\$2:\$E\$430073; COND_A * COND_R ;0))	Distribuzione

Le condizioni da inserire nella funzione FILTRO sono indicate in Tab. 4-7.

La **COND_A** varia in base all'area d'analisi, mentre la **COND_R** varia in base al raggio di mobilità considerato.

Tab. 4-7 Condizioni applicate alla funzione FILTRO utilizzata nelle formule del foglio **Raggio_Mob** (Tab. 4-6)

Area	COND_A
T_intraCom	(TIM!\$H\$2:\$H\$430073="Torino") * (TIM!\$I\$2:\$I\$430073="Torino")
C_intraCom	(TIM!\$H\$2:\$H\$430073="Torino_C") * (STRINGA.ESTRAI(TIM!\$C\$2:\$C\$430073;1;10) = STRINGA.ESTRAI(TIM!\$D\$2:\$D\$430073;1;10))
T <-> C	(((TIM!\$H\$2:\$H\$430073="Torino") * (TIM!\$I\$2:\$I\$430073="Torino_C")) + ((TIM!\$H\$2:\$H\$430073="Torino_C") * (TIM!\$I\$2:\$I\$430073="Torino"))))
C <-> C	(TIM!\$H\$2:\$H\$430073="Torino_C") * (TIM!\$I\$2:\$I\$430073="Torino_C") * (STRINGA.ESTRAI(TIM!\$C\$2:\$C\$430073;1;10) <> STRINGA.ESTRAI(TIM!\$D\$2:\$D\$430073;1;10))
TC <-> P	((((TIM!\$H\$2:\$H\$430073="Torino") + (TIM!\$H\$2:\$H\$430073="Torino_C")) * (TIM!\$I\$2:\$I\$430073="Torino_P")) + (((TIM!\$I\$2:\$I\$430073="Torino") + (TIM!\$I\$2:\$I\$430073="Torino_C")) * (TIM!\$H\$2:\$H\$430073="Torino_P"))))
TC -> R	((TIM!\$H\$2:\$H\$430073="Torino") + (TIM!\$H\$2:\$H\$430073="Torino_C")) * (TIM!\$I\$2:\$I\$430073="Torino_R")
TC -> IT	((TIM!\$H\$2:\$H\$430073="Torino") + (TIM!\$H\$2:\$H\$430073="Torino_C")) * (TIM!\$I\$2:\$I\$430073="EXT_R")

Raggio	COND_R
3	(TIM!\$J\$2:\$J\$430073>0)*(TIM!\$J\$2:\$J\$430073<= \$B\$13)
10	(TIM!\$J\$2:\$J\$430073>\$B\$13)*(TIM!\$J\$2:\$J\$430073<= \$C\$13)
>10	(TIM!\$J\$2:\$J\$430073>\$C\$13)
*	(TIM!\$J\$2:\$J\$430073>0)

In Tab. 4-8 si riporta l'elenco delle provincie appartenenti alle regioni incluse nell'area di studio esterna.

Tab. 4-8 Matr_Mob_Motorizzata.xlsx - Foglio ProvExt

	A	B	C	D	E	F	G
1	COD_REG	COD_PROV	REG	PROV	Prov Reg Ext	→	007,012,....,100
2	02	007	Valle d'Aosta	Valle d'Aosta			
3	03	012	Lombardia	Varese			
4	03	013	Lombardia	Como			
5	03	014	Lombardia	Sondrio			
6	03	015	Lombardia	Milano			
7	03	016	Lombardia	Bergamo			
8	03	017	Lombardia	Brescia			
9	03	018	Lombardia	Pavia			
10	03	019	Lombardia	Cremona			
11	03	020	Lombardia	Mantova			
12	03	097	Lombardia	Lecco			
13	03	098	Lombardia	Lodi			
14	03	108	Lombardia	Monza e Brianza			
15	07	008	Liguria	Imperia			
16	07	009	Liguria	Savona			
17	07	010	Liguria	Genova			
18	07	011	Liguria	La Spezia			
19	08	033	Emilia-Romagna	Piacenza			
20	08	034	Emilia-Romagna	Parma			
21	08	035	Emilia-Romagna	Reggio nell'Emilia			
22	08	036	Emilia-Romagna	Modena			
23	08	037	Emilia-Romagna	Bologna			
24	08	038	Emilia-Romagna	Ferrara			
25	08	039	Emilia-Romagna	Ravenna			
26	08	040	Emilia-Romagna	Forlì-Cesena			
27	08	099	Emilia-Romagna	Rimini			
28	09	045	Toscana	Massa-Carrara			
29	09	046	Toscana	Lucca			
30	09	047	Toscana	Pistoia			
31	09	048	Toscana	Firenze			
32	09	049	Toscana	Livorno			
33	09	050	Toscana	Pisa			
34	09	051	Toscana	Arezzo			
35	09	052	Toscana	Siena			
36	09	053	Toscana	Grosseto			
37	09	100	Toscana	Prato			

Tabella estratta dal file *Codici-statistici-e-denominazioni-al-01_01_2013.xls* contenuto in "Archivio-elenco-comuni-codici-e-denominazioni_Anni_2012-2016.zip", reperibile sul sito *Istat.it*, alla pagina *Codici statistici delle unità amministrative territoriali (Istituto Nazionale di Statistica - ISTAT, 2022)*⁷⁰.

Tab. 4-9 Formula utilizzata sul foglio ProvExt (Tab. 4-8)

Cella	Parametro	Formula
G1	Prov Reg Ext	=TESTO.UNISCI("";VERO;B2:B37)

⁷⁰ <https://www.istat.it/it/archivio/6789>

Dettagli sulla definizione della Matrice oraria dei flussi motorizzati (file Matr_Mob_Motorizzata.xlsx)

Nella Tab. 4-10 si riportano le informazioni sugli “spostamenti” contenute sul file *IMQ2013_opendata.mdb* (Agenzia della mobilità piemontese, 2014)⁷¹.

Tab. 4-10 Matr_Mob_Motorizzata.xlsx - Foglio *IMQ_spost* (parte 1)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	ID_INT	COD_ZONA_PAR	PROV_PAR	COD_ZONA_ARR	PROV_ARR	MEZZO1	MEZZO2	MEZZO3	PAX_AUTO	COD_ZONA_2M	PROV_2M	COD_ZONA_3M	PROV_3M	TASSO_CAMP
2	07252905	R308	003	R308	003	16								0.975975976
3	07252905	R308	003	R308	003	16								0.975975976
4	07252915	R306	003	R306	003	03			1					1.020573465
5	07252915	R306	003	R306	003	03			0					1.020573465
6	07252915	R306	003	R306	003									1.020573465
...
105095	09001380	Q001	001	E048	001	03			0					0.958188153
105096	09001451	E047	001	E047	001									0.958657879
105097	09001451	E047	001	E047	001									0.958657879
105098	09001456	E047	001	E045	001	03			0					0.958657879
105099	09001456	E045	001	E047	001	03			0					0.958657879

In seguito, il foglio *IMQ_spost* viene integrato con i campi riportati in Tab. 4-11, introducendo nell’intervallo O2:W2 le formule mostrate in Tab. 4-12.

Tab. 4-11 Matr_Mob_Motorizzata.xlsx - Foglio *IMQ_spost* (parte 2)

	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1	Mezzo1	O1	D1	Mezzo2	O2	D2	Mezzo3	O3	D3
2	16	R308	R308						
3	16	R308	R308						
4	03	R306	R306						
5	03	R306	R306						
6	00	R306	R306						
...
105095	03	Q001	E048						
105096	00	E047	E047						
105097	00	E047	E047						
105098	03	E047	E045						
105099	03	E045	E047						

⁷¹ <https://mtm.torino.it/it/dati-statistiche/indagini/indagine-imq-2013/base-dati-imq-2013/>

Tab. 4-12 Formule da inserire nell'intervallo **O2:W2** del foglio **IMQ_spost** (Tab. 4-11)

Cella	Parametro	Formula
O2	MEZZO1	=SE(F2=""; "00"; F2)
P2	O1	=SE(B2<>""; B2; SE(SE.ERRORE(RICERCA(C2; ProvExt!\$G\$1;1); 0)>0; "IT"; ""))
Q2	D1	=SE(G2=""; SE(D2<>""; D2; SE(SE.ERRORE(RICERCA(E2; ProvExt!\$G\$1;1); 0)>0; "IT"; "")); SE(J2<>""; J2; SE(SE.ERRORE(RICERCA(K2; ProvExt!\$G\$1;1); 0)>0; "IT"; "")))
R2	MEZZO2	=SE(G2=""; ""; G2)
S2	O2	=SE(R2=""; ""; Q2)
T2	D2	=SE(R2=""; ""; SE(H2=""; SE(D2<>""; D2; SE(SE.ERRORE(RICERCA(E2; ProvExt!\$G\$1;1); 0)>0; "IT"; "")); SE(L2<>""; L2; SE(SE.ERRORE(RICERCA(M2; ProvExt!\$G\$1;1); 0)>0; "IT"; "")))
U2	MEZZO3	=SE(H2=""; ""; H2)
V2	O3	=SE(U2=""; ""; T2)
W2	D3	=SE(U2=""; ""; SE(D2<>""; D2; SE(SE.ERRORE(RICERCA(E2; ProvExt!\$G\$1;1); 0)>0; "IT"; "")))

Per completare il calcolo delle colonne O:W del foglio *IMQ_spost* è sufficiente estendere le formule, inserite nelle celle indicate in Tab. 4-12, sino all'ultima riga (105099).

Dettagli sulla definizione della Matrice oraria dei flussi motorizzati (file Matr_Mob_Motorizzata.xlsx)

In Tab. 4-13 si riporta la codifica adottata nell'indagine IMQ 2013 per indicare il mezzo utilizzato per ciascun spostamento, con l'aggiunta del campo "Mobilità", frutto delle considerazioni descritte nel corso del paragrafo 7.2.2 ed utile per associare ciascun mezzo ad una macrocategoria di mobilità (attiva, privata, collettiva).

Tab. 4-13 Matr_Mob_Motorizzata.xlsx - Foglio **Modal_Split** (parte 1)

	A	B	C
1			
2	Cod_Mezzo	Tipo_mezzo	Mobilità
3	00	<i>Nessun mezzo (implicitamente = Piedi)</i>	attiva
4	01	<i>Piedi</i>	attiva
5	02	<i>Moto/ciclomotore</i>	privata
6	03	<i>Autoveicolo come conducente</i>	privata
7	04	<i>Autoveicolo come passeggero</i>	privata
8	05	<i>Taxi</i>	collettiva - Gomma
9	06	<i>Bus urbano suburbano e/o Tram GTT (TO e cintura)</i>	collettiva - Gomma
10	07	<i>Bus extraurbano GTT</i>	collettiva - Gomma
11	08	<i>Trasporto urbano (bus, filobus, tram, metropolitana) di altri Comuni e altre Città diverse da Torino</i>	collettiva - Gomma
12	09	<i>Bus extra urbano altro vettore</i>	collettiva - Gomma
13	10	<i>Bus aziendale</i>	collettiva - Gomma
14	11	<i>Scuolabus</i>	collettiva - Gomma
15	12	<i>Ferrovia Trenitalia</i>	collettiva - Ferro
16	13	<i>Ferrovia GTT (Canavesana, TO - Ceres TO - Chieri)</i>	collettiva - Ferro
17	15	<i>Altro</i>	attiva
18	16	<i>Bicicletta personale</i>	attiva
19	20	<i>Bicicletta del sistema Bike Sharing</i>	attiva
20	19	<i>Metropolitana automatica GTT</i>	collettiva - Ferro
21	21	<i>Autoveicolo del sistema Car Sharing come conducente</i>	privata
22	22	<i>Ferrovia altro vettore (TRENORD, SSIF, FART, SBB-CFF-FFS, SNCF, BLS)</i>	collettiva - Ferro
23	23	<i>Altro mezzo pubblico terrestre (funicolare, funivia)</i>	collettiva - Ferro
24	24	<i>Altro mezzo pubblico su acqua (battello, aliscafo)</i>	collettiva - Ferro
25			TOT

Dettagli sulla definizione della Matrice oraria dei flussi motorizzati (file Matr_Mob_Motorizzata.xlsx)

Nella Tab. 4-14 viene calcolata, sulla base dei risultati dell'indagine IMQ 2013, la ripartizione modale riscontrata per le diverse macroaree d'analisi, considerando, però, ogni tappa dello spostamento come uno spostamento distinto, così da garantire una maggior coerenza con i dati del campione TIM.

Tab. 4-14 Matr_Mob_Motorizzata.xlsx - Foglio **Modal_Split** (parte 2)

	A	...	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1		...		T_intraCom		C_intraCom		T <-> C		C <-> C		TC <-> P		TC --> R		TC --> IT	
2	Cod_Mezzo	...		tot	[%]	tot	[%]	tot	[%]	tot	[%]	tot	[%]	tot	[%]	tot	[%]
3	00	...		556 753	31.5%	304 061	49.6%	4 889	1.1%	4 372	2.7%	619	0.2%	0	0.0%	0	0.0%
4	01	...		30 939	1.7%	2 700	0.4%	0	0.0%	160	0.1%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
5	02	...		19 595	1.1%	5 317	0.9%	7 921	1.8%	1 096	0.7%	2 429	0.7%	0	0.0%	0	0.0%
6	03	...		542 893	30.7%	211 320	34.5%	294 377	65.7%	118 417	74.1%	240 351	68.6%	24 253	53.2%	4 888	65.1%
7	04	...		81 852	4.6%	41 850	6.8%	43 552	9.7%	17 061	10.7%	32 021	9.1%	3 795	8.3%	954	12.7%
8	05	...		4 395	0.2%	95	0.0%	457	0.1%	64	0.0%	0	0.0%	100	0.2%	0	0.0%
9	06	...		386 794	21.9%	16 341	2.7%	48 365	10.8%	10 023	6.3%	202	0.1%	0	0.0%	0	0.0%
10	07	...		34	0.0%	67	0.0%	12 973	2.9%	2 608	1.6%	16 367	4.7%	731	1.6%	0	0.0%
11	08	...		0	0.0%	1 246	0.2%	108	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
12	09	...		304	0.0%	0	0.0%	2 752	0.6%	1 093	0.7%	12 230	3.5%	1 741	3.8%	98	1.3%
13	10	...		710	0.0%	129	0.0%	1 339	0.3%	321	0.2%	1 499	0.4%	263	0.6%	66	0.9%
14	11	...		214	0.0%	345	0.1%	299	0.1%	257	0.2%	422	0.1%	0	0.0%	0	0.0%
15	12	...		203	0.0%	0	0.0%	2 971	0.7%	251	0.2%	25 523	7.3%	13 853	30.4%	1 466	19.5%
16	13	...		302	0.0%	0	0.0%	8 503	1.9%	577	0.4%	16 715	4.8%	33	0.1%	0	0.0%
17	15	...		1 506	0.1%	527	0.1%	597	0.1%	253	0.2%	325	0.1%	690	1.5%	32	0.4%
18	16	...		52 251	3.0%	29 063	4.7%	3 360	0.7%	3 162	2.0%	1 490	0.4%	0	0.0%	0	0.0%
19	20	...		2 192	0.1%	0	0.0%	62	0.0%	0	0.0%	99	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
20	19	...		88 826	5.0%	164	0.0%	15 652	3.5%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
21	21	...		0	0.0%	0	0.0%	129	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
22	22	...		0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	97	0.2%	0	0.0%
23	23	...		64	0.0%	38	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
24	24	...		0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
25	TOT	...		1 769 827	100%	613 264	100%	448 306	100%	159 713	100%	350 294	100%	45 556	100%	7 504	100%
26		...															
27		...		T_intraCom		C_intraCom		T <-> C		C <-> C		TC <-> P		TC --> R		TC --> IT	
28		...		tot	[%]	tot	[%]	tot	[%]	tot	[%]	tot	[%]	tot	[%]	tot	[%]
29		...	Mobilità attiva	643 641	36%	336 351	55%	8 908	2%	7 946	5%	2 533	1%	690	2%	32	0%
30		...	Mobilità privata	644 341	36%	258 487	42%	345 979	77%	136 573	86%	274 801	78%	28 048	62%	5 841	78%
31		...	Mobilità collettiva - Gomma	392 451	22%	18 223	3%	66 293	15%	14 366	9%	30 721	9%	2 835	6%	164	2%
32		...	Mobilità collettiva - Ferro	89 394	5%	202	0%	27 126	6%	828	1%	42 239	12%	13 983	31%	1 466	20%

Le formule utilizzate per il completamento del foglio *Modal_Split* sono riportate in Tab. 4-15 e Tab. 4-16.

Dettagli sulla definizione della Matrice oraria dei flussi motorizzati (file Matr_Mob_Motorizzata.xlsx)

Tab. 4-15 Formule utilizzate sul foglio **Modal_Split** (Tab. 4-14Tab. 4-5)

Celle	Parametro	Formula
E2 G2 I2 K2 M2 O2 Q2	tot	=SOMMA(FILTRO(100/IMQ_spost!\$N\$2:\$N\$105099; COND_A(m ₁ , o ₁ , d ₁);0)) + SOMMA(FILTRO(100/IMQ_spost!\$N\$2:\$N\$105099; COND_A(m ₂ , o ₂ , d ₂);0)) + SOMMA(FILTRO(100/IMQ_spost!\$N\$2:\$N\$105099; COND_A(m ₃ , o ₃ , d ₃);0))

Per completare la tabella nell'intervallo E3:R24 del foglio *Modal_Split* è sufficiente estendere le formule, inserite nelle celle indicate in Tab. 4-15, sino all'ultima riga (24). Le condizioni da inserire nella funzione FILTRO sono indicate in Tab. 4-17.

Tab. 4-16 Formule utilizzate sul foglio **Modal_Split** (Tab. 4-14Tab. 4-5)

Cella	Parametro	Formula
E29	Mobilità attiva tot	=SOMMA(E3;E4;E17;E18;E19)
E30	Mobilità privata tot	=SOMMA(E5;E6;E7;E21)
E31	Mobilità collettiva - Gomma tot	=SOMMA(E8;E14)
E32	Mobilità collettiva – Ferro tot	=SOMMA(E15;E16;E20;E22;E23;E24)

Per completare la tabella nell'intervallo E29:R32 del foglio *Modal_Split* è sufficiente copiare le formule, inserite nelle celle indicate in Tab. 4-16, negli intervalli G29:G32, I29:I32, K29:K32, M29:M32, O29:O32, Q29:Q32.

Dettagli sulla definizione della Matrice oraria dei flussi motorizzati (file Matr_Mob_Motorizzata.xlsx)

Tab. 4-17 Condizioni applicate alla funzione FILTRO utilizzata nelle formule del foglio **Modal_Split** (Tab. 4-15)

Area	COND_A
T_intraCom	$(\text{STRINGA.ESTRAI}(\mathbf{o}_i;1;1)="Q") * (\text{STRINGA.ESTRAI}(\mathbf{d}_i;1;1)="Q") * (\mathbf{m}_i =A3)$
C_intraCom	$(\text{STRINGA.ESTRAI}(\mathbf{o}_i;1;1)="C") * (\mathbf{o}_i = \mathbf{d}_i) * (\mathbf{m}_i =A3)$
T <-> C	$((\text{STRINGA.ESTRAI}(\mathbf{o}_i;1;1)="C") * (\text{STRINGA.ESTRAI}(\mathbf{d}_i;1;1)="Q")) + ((\text{STRINGA.ESTRAI}(\mathbf{o}_i;1;1)="Q") * (\text{STRINGA.ESTRAI}(\mathbf{d}_i;1;1)="C")) * (\mathbf{m}_i =A3)$
C <-> C	$(\text{STRINGA.ESTRAI}(\mathbf{o}_i;1;1)="C") * (\text{STRINGA.ESTRAI}(\mathbf{d}_i;1;1)="C") * (\mathbf{o}_i <> \mathbf{d}_i) * (\mathbf{m}_i =A3)$
TC <-> P	$((\text{STRINGA.ESTRAI}(\mathbf{o}_i;1;1)="Q") + (\text{STRINGA.ESTRAI}(\mathbf{o}_i;1;1)="C")) * (\text{STRINGA.ESTRAI}(\mathbf{d}_i;1;1)="E") + ((\text{STRINGA.ESTRAI}(\mathbf{d}_i;1;1)="Q") + (\text{STRINGA.ESTRAI}(\mathbf{d}_i;1;1)="C")) * (\text{STRINGA.ESTRAI}(\mathbf{o}_i;1;1)="E")) * (\mathbf{m}_i =A3)$
TC -> R	$((\text{STRINGA.ESTRAI}(\mathbf{o}_i;1;1)="Q") + (\text{STRINGA.ESTRAI}(\mathbf{o}_i;1;1)="C")) * (\text{STRINGA.ESTRAI}(\mathbf{d}_i;1;1)="R")) * (\mathbf{m}_i =A3)$
TC -> IT	$((\text{STRINGA.ESTRAI}(\mathbf{o}_i;1;1)="Q") + (\text{STRINGA.ESTRAI}(\mathbf{o}_i;1;1)="C")) * (\text{STRINGA.ESTRAI}(\mathbf{d}_i;1;1)="IT")) * (\mathbf{m}_i =A3)$

La **COND_A** varia in base all'area d'analisi ma è anche funzione dei parametri **m_i**, **o_i**, **d_i**, riportati in Tab. 4-18.

Tab. 4-18 Condizioni applicate alla funzione FILTRO utilizzata nelle formule del foglio **Modal_Split** (Tab. 4-17)

Mezzo	Variabili Mezzo	m _i , o _i , d _i
1	m₁	IMQ_spost!\$O\$2:\$O\$105099
	o₁	IMQ_spost!\$P\$2:\$P\$105099
	d₁	IMQ_spost!\$Q\$2:\$Q\$105099
2	m₂	IMQ_spost!\$R\$2:\$R\$105099
	o₂	IMQ_spost!\$S\$2:\$S\$105099
	d₂	IMQ_spost!\$T\$2:\$T\$105099
3	m₃	IMQ_spost!\$U\$2:\$U\$105099
	o₃	IMQ_spost!\$V\$2:\$V\$105099
	d₃	IMQ_spost!\$W\$2:\$W\$105099

Dettagli sulla definizione della Matrice oraria dei flussi motorizzati (file Matr_Mob_Motorizzata.xlsx)

Nella Tab. 4-19 si riportano le informazioni necessarie per la ricostruzione della probabilità di scelta modale in funzione del raggio di mobilità, ottenute come descritto in seguito.

Tab. 4-19 Matr_Mob_Motorizzata.xlsx - Foglio BackCalc

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	Distribuzione spostamenti per raggio di mobilità ed area																	
2	O/D	T_intraCom			C_intraCom			T <-> C			C <-> C			TC <-> P			TC --> R	TC --> IT
3	raggio [km]	3	10	>10	3	10	>10	3	10	>10	3	10	>10	3	10	>10	*	*
4	Spost per r	652 409	935 226	28 980	91 347	87 746	0	21 473	460 951	369 164	44 622	369 178	191 298	0	68 630	587 045	50 014	20 777
5	Spost [%]	40.4%	57.9%	1.8%	51.0%	49.0%	0.0%	2.5%	54.1%	43.4%	7.4%	61.0%	31.6%	0.0%	10.5%	89.5%	100.0%	100.0%
6																		
7	Modal Split IMQ	T_intraCom		C_intraCom		T <-> C		C <-> C		TC <-> P		TC --> R		TC --> IT				
8		tot	[%]	tot	[%]	tot	[%]	tot	[%]	tot	[%]	tot	[%]	tot	[%]			
9	Mobilità attiva	643 641	36%	336 351	55%	8 908	2%	7 946	5%	2 533	1%	690	2%	32	0%			
10	Mobilità privata	644 341	36%	258 487	42%	345 979	77%	136 573	86%	274 801	78%	28 048	62%	5 841	78%			
11	Mobilità collettiva - Gomma	392 451	22%	18 223	3%	66 293	15%	14 366	9%	30 721	9%	2 835	6%	164	2%			
12	Mobilità collettiva - Ferro	89 394	5%	202	0%	27 126	6%	828	1%	42 239	12%	13 983	31%	1 466	20%			
13																		
14	Back Calculation	Torino			Cintura			Spost di scambio			TC --> R	TC --> IT						
15		3	10	>10	3	10	>10	3	10	>10	*	*						Coeff. di riempimento
16	Mobilità attiva	0.791	0.075	0.056	1	0.002	0	0.059	0.007	0	0	0	variabili					-
17	Mobilità privata	0.094	0.541	0.740	0	0.925	0.920	0.911	0.751	0.790	0.62	0.78	variabili					1.3
18	Mobilità collettiva - Gomma	0.095	0.314	0.100	0	0.070	0.070	0.020	0.210	0.080	0.07	0.02	variabili					56
19	Mobilità collettiva - Ferro	0.020	0.070	0.104	0	0.003	0.010	0.010	0.032	0.130	0.31	0.2	variabili					-
20	TOT	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	vincoli					
21																		
22		T_intraCom		C_intraCom		T <-> C		C <-> C		TC <-> P		TC --> R		TC --> IT				
23		tot	[%]	tot	[%]	tot	[%]	tot	[%]	tot	[%]	tot	[%]	tot	[%]			
24	Mobilità attiva	587 820	36%	91 522	51%	4 494	1%	45 360	7%	480	0%	0	0%	0	0%			
25	Mobilità privata	588 729	36%	81 165	45%	657 376	77%	517 484	86%	515 307	79%	31 009	62%	16 206	78%			
26	Mobilità collettiva - Gomma	358 538	22%	6 142	3%	126 762	15%	39 233	6%	61 376	9%	3 501	7%	416	2%			
27	Mobilità collettiva - Ferro	81 528	5%	263	0%	62 956	7%	3 021	0%	78 512	12%	15 504	31%	4 155	20%			
28																		
29		TO		Cint		Scambio												
30		0.0003		0.1255		0.04	obiettivo											
31																		
32	Coeff. di conversione	Torino			Cintura			Spost di scambio			R	IT						
33		3	10	>10	3	10	>10	3	10	>10	*	*						
34	Coeff. di conversione	0.074	0.422	0.571	0.000	0.713	0.709	0.701	0.581	0.609	0.478	0.600						

Dettagli sulla definizione della Matrice oraria dei flussi motorizzati (file Matr_Mob_Motorizzata.xlsx)

La tabella “Distribuzione spostamenti per raggio di mobilità ed area”, contenuta nell’intervallo A2:R5 della Tab. 4-19, è una copia di quella mostrata nella Tab. 4-5 all’interno dell’intervallo A12:R15.

La tabella “Modal Split IMQ”, intervallo A7:O12 in Tab. 4-19, è invece una copia dei risultati dell’analisi di ripartizione modale, intervallo D27:R32 nella Tab. 4-14.

I valori “Coeff. di riempimento”, presenti nelle celle Q17 e Q18, sono stati introdotti manualmente.

All’interno della Tab. 4-20 vengono riportate le formule necessarie per completare il foglio *BackCalc*, mostrato nella Tab. 4-19.

Tab. 4-20 Formule utilizzate sul foglio *BackCalc* (Tab. 4-19)

Cella	Parametro	Formula
B20	TOT (vincolo 1)	=SOMMA(B16:B19)
B24	T_intraCom	=B16*B\$4+C16*C\$4+D16*D\$4
D24	C_intraCom	=E16*E\$4+F16*F\$4+G16*G\$4
F24	T <-> C	=H16*H\$4+I16*I\$4+J16*J\$4
H24	C <-> C	=E16*K\$4+F16*L\$4+G16*M\$4
J24	TC <-> P	=H16*N\$4+I16*O\$4+J16*P\$4
L24	TC -> R	=K16*\$Q\$4
N24	TC -> IT	=L16*\$R\$4
B30	TO (obiettivo 1)	=ASS(C24-C9)+ASS(C25-C10)+ASS(C26-C11)+ASS(C27-C12)
D30	Cint (obiettivo2)	=ASS(E24-E9)+ASS(E25-E10)+ASS(E26-E11)+ASS(E27-E12)+ASS(I24-I9)+ASS(I25-I10)+ASS(I26-I11)+ASS(I27-I12)
F30	Scambio (obiettivo3)	=ASS(G24-G9)+ASS(G25-G10)+ASS(G26-G11)+ASS(G27-G12)+ASS(K24-K9)+ASS(K25-K10)+ASS(K26-K11)+ASS(K27-K12)
B34	Coeff. Globale	=B17/\$Q\$17+B18/\$Q\$18

Per completare il foglio *BackCalc*, Tab. 4-19, le formule mostrate in Tab. 4-20 vanno inserite come segue:

- Le formule presenti nelle celle B20 e B34 devono essere estese sino alla colonna L;
- Le formule presenti nelle celle B24, D24, F24, H24, J24, L24, N24 si devono estendere sino alla riga 27.

Le variabili contenute nell’intervallo B16:L19 saranno, infine, ottenute sfruttando il Risolutore di Excel, come mostrato nella seguente Fig. 4-1.

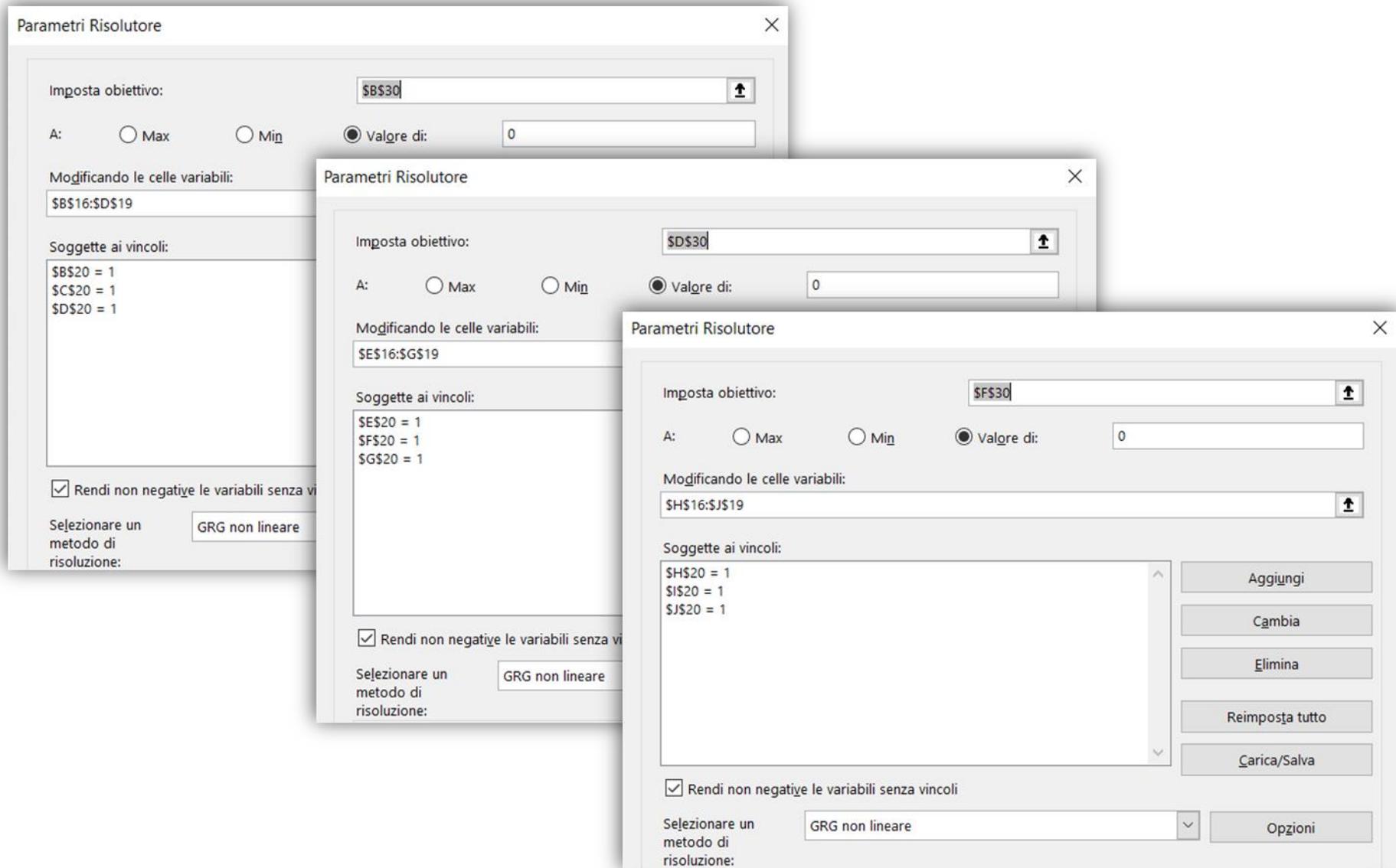


Fig. 4-1 Utilizzo del Risolutore Excel per il completamento delle celle variabili contenute negli intervalli B16:D19, E16:G19 ed H16:L19 del foglio **BackCalc** (Tab. 4-19)

Dettagli sulla definizione della Matrice oraria dei flussi motorizzati (file Matr_Mob_Motorizzata.xlsx)

Le informazioni mostrate in Tab. 4-21 sono un estratto dei dati di flussi di traffico relativi al giorno 13/02/2019, misurati dalle stazioni del sistema di controllo del traffico UTC e dai sensori aerei urbani di tipo ad ultrasuoni e radar, forniti dalla società 5T s.r.l.. Nello specifico, le informazioni utilizzate in questa fase sono state prelevate dai file *comark-2019.csv* ed *utc-2019-02.csv*, contenuti nell'archivio *5T-dati traffico 2019.zip* (Team Analisi e Modelli Dati 5T, 2019)⁷².

Tab. 4-21 Matr_Mob_Motorizzata.xlsx - Foglio 5T

	A	B	C	D	E	F	G
1	UTC						
2	data_ora	spot_orig	spot_dest	senso	sensr	flusso_orario	accuracy
3	13/02/2019 00:00	127	1013	6	1	42	100
4	13/02/2019 00:00	127	3030	1	1	35	100
5	13/02/2019 00:00	127	4042	6	1	152	100
6	13/02/2019 00:00	127	5050	4	1	0	100
7	13/02/2019 00:00	127	6060	4	1	28	100
8	13/02/2019 00:00	127	8084	3	1	27	100
9	13/02/2019 00:00	127	8084	4	1	14	100
10	13/02/2019 00:00	127	9099	2	1	89	100
11	13/02/2019 00:00	127	12086	6	1	102	100
...
7845	13/02/2019 23:00	64084	64085	4	1	421	100
7846	13/02/2019 23:00	64085	127	6	1	41	100
7847	13/02/2019 23:00	64085	64084	8	1	342	75
7848	13/02/2019 23:00	64087	127	2	1	204	100
7849	13/02/2019 23:00	66061	127	4	1	44	100
7850	13/02/2019 23:00	66066	127	4	1	65	100
7851	13/02/2019 23:00	66067	127	8	1	133	100
7852	13/02/2019 23:00	66068	127	2	1	169	100
7853	13/02/2019 23:00	66068	66067	6	1	0	100

	...	I	J	K	L
1	...	COMARK			
2	...	data_ora	cod_sens	flusso_orario	accuracy
3	...	13/02/2019 00:00	230	171	95
4	...	13/02/2019 00:00	232	86	95
5	...	13/02/2019 00:00	234	64	95
6	...	13/02/2019 00:00	413	136	95
7	...	13/02/2019 00:00	414	179	95
8	...	13/02/2019 00:00	415	195	95
9	...	13/02/2019 00:00	416	157	95
10	...	13/02/2019 00:00	417	299	95
11	...	13/02/2019 00:00	418	102	95
...
688	...	13/02/2019 23:00	450	395	95
689	...	13/02/2019 23:00	458	416	95
670	...	13/02/2019 23:00	459	651	95
671	...	13/02/2019 23:00	485	285	95
672	...	13/02/2019 23:00	489	63	95
673	...	13/02/2019 23:00	490	12	95
674	...	13/02/2019 23:00	491	81	95
675	...	13/02/2019 23:00	492	261	95
676	...	13/02/2019 23:00	493	397	95

⁷² Dataset fornito su richiesta espressa tramite e-mail all'indirizzo info@5t.torino.it, soggetto al vincolo di utilizzo esclusivo finalizzato alla corrente trattazione.

Nella Tab. 4-22 vengono aggregati per fasce orarie i flussi veicolari misurati da 5T e gli spostamenti campionati da TIM relativi al il comune di Torino, al fine di analizzarne la distribuzione temporale e stabilire l'ora di punta (Figura 7-14, Figura 7-15 e Figura 7-16 riportate al paragrafo 7.3).

Tab. 4-22 Matr_Mob_Motorizzata.xlsx - Foglio **Orari**

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Data e ora	Orario	Torino - 5T		Torino - TIM (dato grezzo)		Torino - TIM (dato filtrato)	
2			TOT [veh/h]	[%]	TOT [pers/h]	[%]	TOT [veh/h]	[%]
3	13/02/2019 00:00	00	31 316	1.1%	0	0.0%	0	0.0%
4	13/02/2019 01:00	01	16 814	0.6%	15 700	0.6%	5 761	0.5%
5	13/02/2019 02:00	02	12 074	0.4%	10 477	0.4%	3 821	0.3%
6	13/02/2019 03:00	03	8 217	0.3%	12 036	0.4%	4 589	0.4%
7	13/02/2019 04:00	04	12 207	0.4%	18 560	0.7%	7 679	0.7%
8	13/02/2019 05:00	05	31 051	1.0%	34 920	1.3%	15 645	1.4%
9	13/02/2019 06:00	06	69 439	2.3%	91 717	3.4%	43 631	4.0%
10	13/02/2019 07:00	07	186 361	6.3%	206 661	7.7%	93 211	8.5%
11	13/02/2019 08:00	08	234 789	7.9%	204 237	7.6%	85 652	7.8%
12	13/02/2019 09:00	09	193 087	6.5%	147 064	5.5%	57 845	5.3%
13	13/02/2019 10:00	10	166 233	5.6%	137 560	5.1%	53 033	4.8%
14	13/02/2019 11:00	11	157 327	5.3%	141 930	5.3%	54 844	5.0%
15	13/02/2019 12:00	12	162 989	5.5%	159 188	5.9%	62 024	5.7%
16	13/02/2019 13:00	13	156 899	5.3%	166 984	6.2%	66 649	6.1%
17	13/02/2019 14:00	14	176 378	5.9%	165 056	6.1%	66 357	6.0%
18	13/02/2019 15:00	15	176 306	5.9%	164 084	6.1%	65 727	6.0%
19	13/02/2019 16:00	16	195 257	6.6%	191 457	7.1%	78 971	7.2%
20	13/02/2019 17:00	17	217 927	7.3%	215 891	8.0%	90 151	8.2%
21	13/02/2019 18:00	18	223 751	7.5%	205 413	7.6%	84 663	7.7%
22	13/02/2019 19:00	19	197 813	6.6%	157 922	5.9%	63 936	5.8%
23	13/02/2019 20:00	20	133 552	4.5%	92 396	3.4%	36 072	3.3%
24	13/02/2019 21:00	21	79 525	2.7%	62 112	2.3%	24 027	2.2%
25	13/02/2019 22:00	22	72 247	2.4%	54 290	2.0%	21 229	1.9%
26	13/02/2019 23:00	23	64 065	2.2%	31 387	1.2%	11 778	1.1%

All'interno della Tab. 4-23 vengono riportate le formule necessarie per completare il foglio *Orari*, mostrato nella Tab. 4-22.

Tab. 4-23 Formule utilizzate sul foglio **Orari** (Tab. 4-22)

Cella	Parametro	Formula
C3	5T - TOT [veh/h]	=SOMMA.SE('5T'!\$A\$3:\$A\$7853;A3;'5T'!\$F\$3:\$F\$7853) + SOMMA.SE('5T'!\$I\$3:\$I\$696;A3;'5T'!\$K\$3:\$K\$696)
E3	TIM - TOT [pers/h]	=SOMMA(FILTRO(TIM!\$E\$2:\$E\$430073;(TIM!\$M\$2:\$M\$430073=B3) *((TIM!\$H\$2:\$H\$430073="Torino")+(TIM!\$I\$2:\$I\$430073="Torino")) *(TIM!\$I\$2:\$I\$430073<>"err");0))
G3	TIM - TOT [veh/h]	=SOMMA(FILTRO(TIM!\$L\$2:\$L\$430073;(TIM!\$M\$2:\$M\$430073=B3) *((TIM!\$H\$2:\$H\$430073="Torino")+(TIM!\$I\$2:\$I\$430073="Torino")) *(TIM!\$I\$2:\$I\$430073<>"err");0))

Per completare il foglio *Orari* sarà sufficiente estendere le formule, riportate in Tab. 4-23, sino all'ultima riga (26).

Dettagli sulla definizione della Matrice oraria dei flussi motorizzati (file Matr_Mob_Motorizzata.xlsx)

Nella Tab. 4-24 viene, infine, mostrata la struttura della matrice oraria relativa alla mobilità motorizzata ricavata al termine di questa analisi.

Tab. 4-24 Matr_Mob_Motorizzata.xlsx - Foglio **Matr_TIM**

	A	B	C	D	E	F	G	H	...	DY	DZ	EA	EB	EC	ED	EE	EF
1	Orario:	07							...								
2									...								
3	O/D	1	2	3	4	5	6	7	...	128	129	130	131	132	133	134	TOT
4	1	0	12	0	14	22	23	2	...	1	3	0	0	2	11	4	906
5	2	14	0	0	38	53	41	5	...	0	9	2	0	4	11	2	1 121
6	3	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	0	0	0	0	0	0
7	4	23	34	0	0	24	18	14	...	0	17	20	10	14	139	2	1 469
8	5	23	28	0	13	0	18	9	...	1	22	5	4	25	203	0	1 414
9	6	21	17	0	8	18	0	7	...	1	6	2	4	0	25	0	700
10	7	16	9	0	30	30	18	0	...	0	6	2	0	2	4	0	2 557
...
131	128	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	0	0	0	0	0	0
132	129	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	0	0	0	0	0	0
133	130	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	0	0	0	0	0	0
134	131	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	0	0	0	0	0	0
135	132	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	0	0	0	0	0	0
136	133	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	0	0	0	0	0	0
137	134	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	0	0	0	0	0	0
138	TOT	2 526	1 678	0	2 227	3 993	2 626	2 410	...	30	406	157	47	123	1 265	66	153 088

La matrice mostrata nella Tab. 4-24, può essere completata inserendo la formula riportata in Tab. 4-25 nella cella B4, per poi estenderla all'intero intervallo B4:EE137.

Tab. 4-25 Formula utilizzata sul foglio **Matr_TIM** (Tab. 4-24Tab. 4-5)

Cella	Parametro	Formula
B4	Flusso veicolare orario relativo alla coppia O/D [veh/h]	=ARROTONDA(SOMMA.PIÙ.SE(TIM!\$L\$2:\$L\$430073; TIM!\$M\$2:\$M\$430073;\$B\$1; TIM!\$F\$2:\$F\$430073;\$A4; TIM!\$G\$2:\$G\$430073;B\$3) ;0)

A.5 Dettagli sul metodo di validazione dei risultati (file ValidazioneRisultati.xlsx)

Nella Tab. 5-1 vengono importati i risultati principali ottenuti dal processo di assegnazione all'equilibrio di tipo deterministico effettuato su OmniTRANS e contenuti sul file *links.dbf*.

Tab. 5-1 ValidazioneRisultati.xlsx - Foglio *Links_Flow*

	A	B	C	D	E
1	LINKNR	LOADAB	LOADBA	ROADTYPEAB	ROADTYPEBA
2	1	1081.46289063		F	
3	2	2041.00000000		B	
4	3	2766.21752930		B	
5	4	0.00000000		C	
6	5	324.28894043		F	
7	6	284.80648804		F	
8	7		306.28030396		F
9	8		323.80331421		F
10	9	42.97596741	382.03881836	C	C
11	10	1751.32702637		F	
12	11	1406.01770020		F	
13	12	310.06542969	84.32325745	F	F
14	13		382.03881836		F
15	14	42.97596741		F	
16	15		42.97596741		F
17	16	382.03881836		F	
18	17		382.03881836		F
19	18	42.97596741		F	
20	19	42.97596741		F	
21	20	382.03881836		F	
...
7768	7927	0.00000000		Connector	
7769	7928		29.00000000		Connector
7770	7929	0.00000000		Connector	
7771	7930		1.00000000		Connector
7772	7931	0.00000000		Connector	
7773	7932		406.00000000		Connector
7774	7933	0.00000000		Connector	
7775	7934	0.00000000		Connector	
7776	7935		0.00000000		Connector
7777	7936		157.00000000		Connector
7778	7937	0.00000000		Connector	
7779	7938		47.00000000		Connector
7780	7939	0.00000000		Connector	
7781	7940		123.00000000		Connector
7782	7941	0.00000000		Connector	
7783	7942	0.00000000		Connector	
7784	7943		84.99280548		Connector
7785	7944		1180.00720215		Connector
7786	7945	0.00000000		Connector	
7787	7946		66.00000000		Connector

Per la validazione dei risultati vengono sfruttati i dati di flussi di traffico relativi al giorno 13/02/2019, misurati dalle stazioni del sistema di controllo del traffico UTC e dai sensori aerei urbani di tipo ad ultrasuoni e radar, messe a disposizione dalla società 5T s.r.l..

La descrizione delle informazioni presenti sui file contenuti nell'archivio *5T-dati traffico 2019.zip* ([Team Analisi e Modelli Dati 5T, 2019](#))⁷³, mostrate nel seguente Allegato 5-1, sono state fornite dal Team Analisi e Modelli Dati 5T tramite contatto e-mail.

Allegato 5-1 Descrizione per la corretta interpretazione dei dati, fornita dal Team Analisi e Modelli Dati 5T

L'anagrafica delle stazioni di misura del sistema di controllo del traffico UTC (*5T-dati-01-Anagrafica_stazioni.csv*) contiene la posizione delle stazioni di misura del sistema di controllo del traffico con i seguenti attributi:

- codice identificativo dello spot di provenienza (Spot_orig),
- codice identificativo dello spot di destinazione (Spot_dest),
- codice del senso di ingresso (Senso),
- progressivo della stazione sul senso (Sensr),
- latitudine (lat),
- longitudine (Ing).

I quattro campi Spot_orig, Spot_dest, Senso, Sensr permettono di identificare univocamente una stazione di misura.

L'anagrafica dei sensori aerei urbani di tipo a ultrasuoni e radar (*5T-dati-03-Anagrafica_sensori.csv*) contiene la posizione dei sensori con i seguenti attributi:

- codice identificativo del sensore (cod_sens),
- nome del sensore, così composto: nome della strada su cui è installato / nome del traverso immediatamente successivo (nome),
- direzione della strada su cui è installato il sensore (direzione),
- latitudine (lat),
- longitudine (Ing),
- eventuali note (note).

Il file *utc-aaaa-mm.csv* contiene i flussi veicolari orari misurati dalle stazioni di misura UTC, per tutte le giornate dell'anno aaaa e del mese mm. I campi disponibili sono:

- data e ora di riferimento del dato: gg/mm/aaaa hh:mm (data_ora)
- codice identificativo dello spot di provenienza (Spot_orig),
- codice identificativo dello spot di destinazione (Spot_dest),
- codice del senso di ingresso (Senso),
- progressivo della stazione sul senso (Sensr),
- flusso veicolare medio orario (flusso_orario),
- accuratezza media oraria (accuracy).

I quattro campi Spot_orig, Spot_dest, Senso, Sensr permettono di identificare univocamente una stazione di misura.

Il file *comark-2019.csv* contiene i flussi veicolari orari misurati dai sensori aerei urbani, per tutte le giornate dell'anno 2019. I campi disponibili sono:

- data e ora di riferimento del dato: gg/mm/aaaa hh:mm (data_ora)
- codice identificativo del sensore (cod_sens),
- flusso veicolare medio orario (flusso_orario),
- accuratezza media oraria, (accuracy).

⁷³ Dataset fornito su richiesta espressa tramite e-mail all'indirizzo info@5t.torino.it, soggetto al vincolo di utilizzo esclusivo finalizzato alla corrente trattazione.

Di 1740 stazioni contenute sul file 5T-dati-01-Anagrafica_stazioni.csv, si selezionano esclusivamente quelle con coordinate note, che ammontano a 1660, e si importano sul foglio Anagrafica_stazioni, mostrato in Tab. 5-2.

Tab. 5-2 ValidazioneRisultati.xlsx - Foglio Anagrafica_stazioni

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Spot_Orig	Spot_Dest	Senso	Sensr	lat	Ing	ID-Univoco	Count	ID
2	1002	127	1	1	45,07128054	7,669533401	1002 127 1 1	1	S1
3	127	1002	1	1	45,0717816	7,668136006	127 1002 1 1	1	S2
4	127	1009	1	1	45,06705871	7,671726927	127 1009 1 1	1	S3
5	1009	127	1	1	45,06625426	7,671325568	1009 127 1 1	1	S4
6	1009	127	2	1	45,06621169	7,671491665	1009 127 2 1	1	S5
7	1009	1010	1	1	45,06521254	7,671905636	1009 1010 1 1	1	S6
8	1009	1004	2	1	45,06606217	7,669809457	1009 1004 2 1	1	S7
9	1009	1004	1	1	45,06616659	7,669882279	1009 1004 1 1	1	S8
10	127	1010	1	1	45,06523071	7,67434631	127 1010 1 1	1	S9
11	1010	127	1	1	45,064839	7,674179	1010 127 1 1	1	S10
12	1010	4040	8	1	45,0644	7,67422	1010 4040 8 1	1	S11
13	1010	4040	7	1	45,064277	7,674167	1010 4040 7 1	1	S12
14	1011	1010	1	1	45,063621	7,673372	1011 1010 1 1	1	S13
15	1010	1011	1	1	45,064326	7,673694	1010 1011 1 1	1	S14
...
1647	25053	127	8	1	45,08612	7,67548	25053 127 8 1	1	S1646
1648	34030	127	2	1	45,09231	7,67937	34030 127 2 1	1	S1647
1649	34030	127	8	1	45,09225	7,68001	34030 127 8 1	1	S1648
1650	34030	34031	6	1	45,09245	7,67982	34030 34031 6 1	1	S1649
1651	127	34030	8	1	45,09268	7,67852	127 34030 8 1	1	S1650
1652	34031	34030	2	1	45,09361	7,68058	34031 34030 2 1	1	S1651
1653	127	34031	4	1	45,09349	7,68137	127 34031 4 1	1	S1652
1654	34031	34032	6	1	45,09368	7,68099	34031 34032 6 1	1	S1653
1655	34031	127	4	1	45,09404	7,67966	34031 127 4 1	1	S1654
1656	34032	34031	2	1	45,09594	7,68308	34032 34031 2 1	1	S1655
1657	34032	127	6	1	45,0961	7,68359	34032 127 6 1	1	S1656
1658	127	34032	2	1	45,09682	7,68402	127 34032 2 1	1	S1657
1659	34032	127	4	1	45,09623	7,68281	34032 127 4 1	1	S1658
1660	127	34032	8	1	45,09631	7,68214	127 34032 8 1	1	S1659

La Tab. 5-2 viene completata attraverso le formule riportate in Tab. 5-3.

Tab. 5-3 Formule utilizzate sul foglio Anagrafica_stazioni (Tab. 5-2)

Cella	Parametro	Formola
G2	ID-Univoco	=A\$2:A\$1660&" "&B\$2:B\$1660&" "&C\$2:C\$1660&" "&D\$2:D\$1660
H2	Count	=CONTA.SE(\$G\$2#;\$G\$2#)
I2	ID	="S"&RIF.RIGA(\$H\$2#)-1

Attraverso il campo Count, ottenuto con la formula mostrata in Tab. 5-3, si individua una stazione duplicata (ID-Univoco = 1005|14028|6|1) che viene rimossa prima di proseguire.

Si dispone, in definitiva, di 1659 stazioni univoche dalla posizione nota.

Dettagli sul metodo di validazione dei risultati (file *ValidazioneRisultati.xlsx*)

Si importano sul foglio *Anagrafica_sensori*, mostrato in Tab. 5-4, i 31 sensori aerei urbani contenuti sul file *5T-dati-03-Anagrafica_sensori.csv*.

Tab. 5-4 *ValidazioneRisultati.xlsx* - Foglio *Anagrafica_sensori*

	A	B	C	D	E	F	G
1	cod_sens	nome	direzione	lat	lng	note	ID
2	413	Cesare / Romolo e Remo	ingresso città	45,11394	7,70806		A1
3	414	Vercelli / Rebaudengo	ingresso città	45,10529	7,696277		A2
4	458	Superstrada Caselle	ingresso città	45,108011	7,694854		A3
5	456	Allamano	Rivoli	45,051387	7,611009		A4
6	415	Regina / VVF	ingresso città	45,08876	7,647085		A5
7	416	Regina / Svizzera	ingresso città	45,086797	7,653109		A6
8	417	Francia / Massaua	ingresso città	45,074371	7,615753		A7
9	232	Allamano / G.Reni	ingresso città	45,0507	7,6225		A8
10	418	Sebastopoli / Siracusa	ingresso città	45,049447	7,632419		A9
11	419	Orbassano / Omero	ingresso città	45,036389	7,626645		A10
12	420	Orbassano / Pitagora	ingresso città	45,038504	7,630939		A11
13	449	Unione Sovietica / Caio Mario	ingresso città	45,022222	7,634876		A12
14	421	Trieste / Maroncelli	ingresso città	45,014188	7,669274		A13
15	422	Unità d'Italia / Sott.Lingotto	ingresso città	45,01876	7,66932		A14
16	234	Settimo / Lungo Stura	ingresso città	45,103604	7,725984		A15
17	423	San Mauro / Lungo Stura	ingresso città	45,099752	7,725234		A16
18	459	Dogliotti / Bramante	ingresso città	45,036963	7,676509		A17
19	450	Orbassano / Settembrini	ingresso città	45,031137	7,612029		A18
20	424	Agnelli / Cosenza	ingresso città	45,033788	7,642453		A19
21	425	Giulio Cesare / Derna	ingresso città	45,103963	7,701279		A20
22	426	Settimo / Sofia	ingresso città	45,096529	7,71906		A21
23	427	Romania / G.Cesare	ingresso città	45,119808	7,713234		A22
24	233	Moncalieri / Zara	ingresso città	45,035647	7,680685		A23
25	428	Francia / Marche	ingresso città	45,074194	7,612636		A24
26	230	Agudio / Pasini	ingresso città	45,07723	7,72928		A25
27	490	Valdocco / S.Domenico	Regina Margherita	45,076715	7,674753	ZTL	A26
28	491	Valdocco / S.Domenico	Cernaia	45,076744	7,674418	ZTL	A27
29	489	Beccaria / Statuto	Statuto	45,077173	7,670305	ZTL	A28
30	485	Beccaria / Del Carmine	Principe Eugenio	45,07727	7,670585	ZTL	A29
31	492	San Martino / Boucheron	Statuto	45,075405	7,669252	ZTL	A30
32	493	San Martino / Boucheron	XVIII Dicembre	45,075461	7,66916	ZTL	A31

La Tab. 5-4 può essere completata attraverso la formula mostrata in Tab. 5-5.

Tab. 5-5 Formula utilizzata sul foglio *Anagrafica_sensori* (Tab. 5-4)

Cella	Parametro	Formula
G2	ID	= "A" & RIF.RIGA(\$A\$2:\$A\$32)-1

I flussi veicolari registrati dalle stazioni in data 13/02/2019, vengono estratti dal file *utc-2019-02.csv* ed importati sul foglio *UTC*, mostrato in Tab. 5-6.

Tab. 5-6 ValidazioneRisultati.xlsx - Foglio *UTC*

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	data_ora	spot_orig	spot_dest	senso	sensr	flusso_orario	accuracy	ID-Univoco	ID	ID (presenti in Anagrafica_staz.)	ORA
2	13/02/2019 00:00	127	1013	6	1	42	100	127 1013 6 1	S1433	S1433	00
3	13/02/2019 00:00	127	3030	1	1	35	100	127 3030 1 1	S28	S28	00
4	13/02/2019 00:00	127	4042	6	1	152	100	127 4042 6 1	S1412	S1412	00
5	13/02/2019 00:00	127	5050	4	1	0	100	127 5050 4 1	S65	S65	00
6	13/02/2019 00:00	127	6060	4	1	28	100	127 6060 4 1	S798	S798	00
7	13/02/2019 00:00	127	8084	3	1	27	100	127 8084 3 1	S132	S132	00
8	13/02/2019 00:00	127	8084	4	1	14	100	127 8084 4 1	S133	S133	00
9	13/02/2019 00:00	127	9099	2	1	89	100	127 9099 2 1	S158	S158	00
...
7845	13/02/2019 23:00	64085	127	6	1	41	100	64085 127 6 1	S661	S661	23
7846	13/02/2019 23:00	64085	64084	8	1	342	75	64085 64084 8 1	S662	S662	23
7847	13/02/2019 23:00	64087	127	2	1	204	100	64087 127 2 1	S995	S995	23
7848	13/02/2019 23:00	66061	127	4	1	44	100	66061 127 4 1	S879	S879	23
7849	13/02/2019 23:00	66066	127	4	1	65	100	66066 127 4 1	S1381	S1381	23
7850	13/02/2019 23:00	66067	127	8	1	133	100	66067 127 8 1	S1387	S1387	23
7851	13/02/2019 23:00	66068	127	2	1	169	100	66068 127 2 1	S1390	S1390	23
7852	13/02/2019 23:00	66068	66067	6	1	0	100	66068 66067 6 1	S1391	S1391	23

La Tab. 5-6 può essere completata attraverso le formule mostrate in Tab. 5-7.

Tab. 5-7 Formule utilizzate sul foglio *UTC* (Tab. 5-6)

Cella	Parametro	Formola
H2	ID-Univoco	=B\$2:B\$7852&" "&C\$2:C\$7852&" "&D\$2:D\$7852&" "&E\$2:E\$7852
I2	ID	=SE.ERRORE(CERCA.VERT(\$H\$2#;Anagrafica_stazioni!\$G\$2:\$I\$1660;3;FALSO);"non presente in Anagrafica_stazioni")
J2	ID (presenti in Anagrafica_staz.)	=SE(\$I\$2#="non presente in Anagrafica_stazioni";"";\$I\$2#)
K2	ORA	=TESTO(\$A\$2:\$A\$7852;"hh")

I flussi veicolari registrati dai sensori aerei in data 13/02/2019, vengono estratti dal file comark-2019.csv ed importati sul foglio COMARK, mostrato in Tab. 5-8.

Tab. 5-8 ValidazioneRisultati.xlsx - Foglio COMARK

	A	B	C	D	E	F
1	data_ora	cod_sens	flusso_orario	accuracy	ID	ORA
2	13/02/2019 00:00	230	171	95	A25	00
3	13/02/2019 00:00	232	86	95	A8	00
4	13/02/2019 00:00	234	64	95	A15	00
5	13/02/2019 00:00	413	136	95	A1	00
6	13/02/2019 00:00	414	179	95	A2	00
7	13/02/2019 00:00	415	195	95	A5	00
8	13/02/2019 00:00	416	157	95	A6	00
9	13/02/2019 00:00	417	299	95	A7	00
10	13/02/2019 00:00	418	102	95	A9	00
11	13/02/2019 00:00	419	313	95	A10	00
12	13/02/2019 00:00	420	225	95	A11	00
13	13/02/2019 00:00	421	347	95	A13	00
14	13/02/2019 00:00	422	469	95	A14	00
15	13/02/2019 00:00	423	127	95	A16	00
16	13/02/2019 00:00	424	107	95	A19	00
...
681	13/02/2019 23:00	424	213	95	A19	23
682	13/02/2019 23:00	425	422	95	A20	23
683	13/02/2019 23:00	426	405	95	A21	23
684	13/02/2019 23:00	427	135	95	A22	23
685	13/02/2019 23:00	428	435	95	A24	23
686	13/02/2019 23:00	449	246	95	A12	23
687	13/02/2019 23:00	450	395	95	A18	23
688	13/02/2019 23:00	458	416	95	A3	23
689	13/02/2019 23:00	459	651	95	A17	23
690	13/02/2019 23:00	485	285	95	A29	23
691	13/02/2019 23:00	489	63	95	A28	23
692	13/02/2019 23:00	490	12	95	A26	23
693	13/02/2019 23:00	491	81	95	A27	23
694	13/02/2019 23:00	492	261	95	A30	23
695	13/02/2019 23:00	493	397	95	A31	23

La Tab. 5-8 può essere completata attraverso le formule mostrate in Tab. 5-9.

Tab. 5-9 Formule utilizzate sul foglio COMARK (Tab. 5-8)

Cella	Parametro	Formula
E2	ID	=CERCA.VERT(\$B\$2:\$B\$695;Anagrafica_sensori!\$A\$2:\$G\$32;7;FALSO)
F2	ORA	=TESTO(\$A\$2:\$A\$695;"hh")

Sul foglio *ElencoCompleto*, mostrato in Tab. 5-10, si riporta la lista completa di 348 stazioni e 29 sensori, che risultano attivi in data 13/02/2019 ed effettivamente presenti in anagrafica.

Tab. 5-10 ValidazioneRisultati.xlsx - Foglio *ElencoCompleto*

	A	B	C	D	E	F
1	ID	→	ID (ordinato)	lat	lng	Orario
2	S1433		S1	45,07128054	7,669533401	7-8
3	S28		S4	45,06625426	7,671325568	7-8
4	S1412		S6	45,06521254	7,671905636	7-8
5	S65		S7	45,06606217	7,669809457	7-8
6	S798		S9	45,06523071	7,67434631	
7	S132		S23	45,04400896	7,648957315	
8	S133		S26	45,041044	7,647478	7-8
9	S158		S28	45,03725133	7,646101227	7-8
10	S1492		S29	45,037674	7,644916	7-8
11	S1606		S31	45,034443	7,643301	
...
369	A28		A21	45,096529	7,71906	7-8
370	A29		A22	45,119808	7,713234	7-8
371	A3		A24	45,074194	7,612636	7-8
372	A30		A25	45,07723	7,72928	7-8
373	A31		A26	45,076715	7,674753	7-8
374	A5		A27	45,076744	7,674418	7-8
375	A6		A28	45,077173	7,670305	7-8
376	A7		A29	45,07727	7,670585	7-8
377	A8		A30	45,075405	7,669252	7-8
378	A9		A31	45,075461	7,66916	7-8

La Tab. 5-10 si ottiene attraverso le formule mostrate in Tab. 5-11.

Tab. 5-11 Formule utilizzate sul foglio *ElencoCompleto* (Tab. 5-10)

Cella	Parametro	Formula
A2	ID	= FILTRO(UNICI(DATI.ORDINA(SOSTITUISCI(COMARK!\$E\$2:\$E\$1048576;"";"")) &SOSTITUISCI(UTC!\$J\$2:\$J\$1048576;"";"")); UNICI(DATI.ORDINA(SOSTITUISCI(COMARK!\$E\$2:\$E\$1048576;"";"")) & SOSTITUISCI(UTC!\$J\$2:\$J\$1048576;"";"")) <>"")
C2	ID (ordinato)	=DATI.ORDINA.PER(A2#; SE(SINISTRA(A2#;1)="A"; 20000+SOSTITUISCI(A2#;"A";""); 10000+SOSTITUISCI(A2#;"S";"")))
D2	lat	=SE(SINISTRA(C2#;1) = "A"; INDICE(Anagrafica_sensori!\$D\$2:\$D\$32;CONFRONTA(C2#;Anagrafica_sensori!\$G\$2#;0)); INDICE(Anagrafica_stazioni!\$E\$2:\$E\$1660;CONFRONTA(C2#;Anagrafica_stazioni!\$I\$2#;0)))
E2	lng	=SE(SINISTRA(C2#;1) = "A"; INDICE(Anagrafica_sensori!\$E\$2:\$E\$32;CONFRONTA(C2#;Anagrafica_sensori!\$G\$2#;0)); INDICE(Anagrafica_stazioni!\$F\$2:\$F\$1660;CONFRONTA(C2#;Anagrafica_stazioni!\$I\$2#;0)))
F2	Orario	=SE(SINISTRA(\$C\$2#;1)="S"; SE(CONTA.PIÙ.SE(UTC!\$J\$2#;\$C\$2#; UTC!\$K\$2#; 7; UTC!\$F\$2:\$F\$7852;">"&0)>0; SE(CONTA.PIÙ.SE(UTC!\$J\$2#;\$C\$2#; UTC!\$K\$2#; 8; UTC!\$F\$2:\$F\$7852;">"&0)>0; "7-8"; 7); SE(CONTA.PIÙ.SE(UTC!\$J\$2#;\$C\$2#; UTC!\$K\$2#; 8; UTC!\$F\$2:\$F\$7852;">"&0)>0; 8; "")); SE(CONTA.PIÙ.SE(COMARK!\$E\$2#;\$C\$2#; COMARK!\$F\$2#; 7; COMARK!\$C\$2:\$C\$695;">"&0)>0; SE(CONTA.PIÙ.SE(COMARK!\$E\$2#;\$C\$2#; COMARK!\$F\$2#; 8; COMARK!\$C\$2:\$C\$695;">"&0)>0; "7-8"; 7); SE(CONTA.PIÙ.SE(COMARK!\$E\$2#;\$C\$2#; COMARK!\$F\$2#; 8; COMARK!\$C\$2:\$C\$695;">"&0)>0; 8; "")))

Nella Tab. 5-12 vengono riportati i parametri relativi ai sensori 5T ricavati dall'analisi condotta su Q_GIS e contenuti sul file *Elenco_Sensori.dbf*.

Tab. 5-12 ValidazioneRisultati.xlsx - Foglio *Links_Sensor*

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	ID	LINKNR	DIR	LOADAB	LOADBA	ROADTYPEAB	ROADTYPEBA	LOAD	ROADTYPE
2	S514	6588	BA	0	1908		D	1908	D
3	S655	5761	BA	478	554	E	E	554	E
4	S740	6609	BA	751	667	D	D	667	D
5	S800	7099	AB	638	311	E	E	638	E
6	S808	4019	BA	475	680	E	E	680	E
7	S1045	5901	BA	443	651	E	E	651	E
8	S1075	3752	AB	630	0	E		630	E
9	S1245	6444	BA	333	283	E	E	283	E
10	S1271	5044	AB	168	674	E	E	168	E
11	S1352	1214	BA	1217	1416	E	E	1416	E
12	S1356	2638	BA	0	634		D	634	D
13	S1358	5784	AB	826	304	D	D	826	D
14	S1467	1794	AB	283	593	E	E	283	E
15	S1469	1030	BA	0	510		E	510	E
...
219	A15	6962	BA	334	538	D	D	538	D
220	A16	6421	AB	885	0	D		885	D
221	A17	499	AB	2564	0	D		2564	D
222	A18	990	BA	0	2939		D	2939	D
223	A19	6430	AB	1600	0	E		1600	E
224	A20	3307	BA	0	1039		D	1039	D
225	A21	7378	BA	832	992	D	D	992	D
226	A22	3838	AB	582	0	E		582	E
227	A24	6472	BA	0	1401		D	1401	D
228	A25	4263	AB	1794	0	D		1794	D
229	A28	6547	BA	0	606		E	606	E
230	A29	6548	BA	0	828		E	828	E
231	A30	4296	BA	0	828		E	828	E
232	A31	2017	AB	1994	0	E		1994	E

La Tab. 5-12 viene poi completata con i campi aggiuntivi necessari per l'analisi, calcolati tramite le formule riportate in Tab. 5-13.

Tab. 5-13 Formule utilizzate sul foglio *Links_Sensor* (Tab. 5-12)

Cella	Parametro	Formula
D2	LOADAB	=SE.ERRORE(CERCA.VERT(\$B\$2:\$B\$232;Links_Flow!\$A\$2:\$C\$7787;2;FALSO);"")
E2	LOADBA	=SE.ERRORE(CERCA.VERT(\$B\$2:\$B\$232;Links_Flow!\$A\$2:\$C\$7787;3;FALSO);"")
F2	ROADTYPEAB	=SOSTITUISCI(INDICE(Links_Flow!\$D\$2:\$D\$7787;CONFRONTA(\$B\$2:\$B\$232;Links_Flow!\$A\$2:\$A\$7787;0));0;"")
G2	ROADTYPEBA	=SOSTITUISCI(INDICE(Links_Flow!\$E\$2:\$E\$7787;CONFRONTA(\$B\$2:\$B\$232;Links_Flow!\$A\$2:\$A\$7787;0));0;"")
H2	LOAD	=SE(\$C\$2:\$C\$232="AB";\$D\$2#;\$E\$2#)
I2	ROADTYPE	=SE(\$C\$2:\$C\$232="AB";\$F\$2#;\$G\$2#)

Sul foglio di calcolo denominato *Validazione* i dati presenti sul file vengono, innanzitutto, filtrati sulla base dei parametri inseriti in colonna A, e, successivamente, riorganizzati all'interno delle quattro tabelle mostrate in Tab. 5-14 e Tab. 5-15, compilate attraverso le formule riportate in Tab. 5-16.

Tab. 5-14 ValidazioneRisultati.xlsx - Foglio **Validazione** (parte 1)

	A	B	C	D	E
1	Ora		Sensori in funzione alle ore 07:00 [304/377]		
2	07		ID (in funzione)	Flusso Orario	accuracy
3			S1	82	100
4	<i>Spire trascurabili</i>		S4	642	100
5	A1		S6	599	100
6	A10		S7	407	100
7	A11		S26	812	100
8	S32		S28	158	100
9	S41		S29	810	100
10	S352		S32	793	66
11	S514		S41	292	100
12	S599		S46	539	100
13	S727		S48	407	100
14	S879		S62	153	100
15	S948		S64	308	100
16	S1020		S71	409	100
17	S1373		S72	82	100
18	S1376		S73	87	100
19	S1437		S77	405	100
20	S1571		S91	156	100
...
302			A27	388	95
303			A28	228	95
304			A29	423	95
305			A30	707	95
306			A31	556	95

	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Sensori in funzione alle ore 07:00 associati ad almeno un arco [200/377]								
2	ID	LINKNR	DIR	LOAD	ROADTYPE	Flusso Orario	accuracy	AR_Count	ERR
3	S4	5904	BA	525	E	642	100	1	-18%
4	S6	5908	AB	729	D	599	100	1	22%
5	S26	5890	AB	575	E	812	100	2	-29%
6	S29	5890	AB	575	E	810	100	2	-29%
7	S32	6430	AB	1600	E	793	66	2	102%
8	S41	7101	AB	1023	D	292	100	2	251%
9	S46	6954	AB	432	D	539	100	1	-20%
10	S48	6954	BA	706	D	407	100	1	74%
11	S64	6770	AB	710	D	308	100	1	130%
12	S71	6856	AB	947	D	409	100	1	132%
13	S72	6856	BA	424	D	82	100	1	418%
14	S77	7101	AB	1023	D	405	100	2	153%
15	S112	6881	BA	1296	D	1352	100	1	-4%
16	S145	733	AB	0	E	120	100	1	-100%
17	S172	6932	AB	1658	D	1480	100	1	12%
18	S175	2408	BA	503	E	383	66	1	31%
19	S191	6162	BA	919	D	660	100	1	39%
20	S192	6179	AB	1220	E	937	100	2	30%
...
198	A25	4263	AB	1794	D	1643	95	1	9%
199	A28	6547	BA	606	E	228	95	1	166%
200	A29	6548	BA	828	E	423	95	1	96%
201	A30	4296	BA	828	E	707	95	1	17%
202	A31	2017	AB	1994	E	556	95	1	259%

Tab. 5-15 ValidazioneRisultati.xlsx - Foglio **Validazione** (parte 2)

	Q	R	S	T
1	Sensori selezionati ed ordinati per arco di appartenenza [184/377]			
2	ID	LINKNR	DIR	Flusso Orario
3	S4	5904	BA	642
4	S6	5908	AB	599
5	S26	5890	AB	812
6	S29	5890	AB	810
7	A19	6430	AB	850
8	S77	7101	AB	405
9	S46	6954	AB	539
10	S48	6954	BA	407
11	S64	6770	AB	308
12	S71	6856	AB	409
13	S72	6856	BA	82
14	S112	6881	BA	1352
...
175	A15	6962	BA	682
176	A16	6421	AB	984
177	A17	499	AB	1826
178	A18	990	BA	2077
179	A21	7378	BA	865
180	A22	3838	AB	652
181	A24	6472	BA	1261
182	A25	4263	AB	1643
183	A28	6547	BA	228
184	A29	6548	BA	423
185	A30	4296	BA	707
186	A31	2017	AB	556

	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC
1	173 archi univoci, associati ad uno o più dei 184 sensori attivi alle 07:00							
2	LINKNR	DIR	LOAD	ROADTYPE	ID	Flusso Orario	ERR	DIFF
3	5904	BA	525	E	S4	642	-18%	-117
4	5908	AB	729	D	S6	599	22%	130
5	5890	AB	575	E	S26,S29	811	-29%	-236
6	6430	AB	1600	E	A19	850	88%	750
7	7101	AB	1023	D	S77	405	153%	618
8	6954	AB	432	D	S46	539	-20%	-107
9	6954	BA	706	D	S48	407	74%	299
10	6770	AB	710	D	S64	308	130%	402
11	6856	AB	947	D	S71	409	132%	538
12	6856	BA	424	D	S72	82	418%	342
13	6881	BA	1296	D	S112	1352	-4%	-56
14	733	AB	0	E	S145	120	-100%	-120
...
164	6962	BA	538	D	A15	682	-21%	-144
165	6421	AB	885	D	A16	984	-10%	-99
166	499	AB	2564	D	A17	1826	40%	738
167	990	BA	2939	D	A18	2077	41%	862
168	7378	BA	992	D	A21	865	15%	127
169	3838	AB	582	E	A22	652	-11%	-70
170	6472	BA	1401	D	A24	1261	11%	140
171	4263	AB	1794	D	A25	1643	9%	151
172	6547	BA	606	E	A28	228	166%	378
173	6548	BA	828	E	A29	423	96%	405
174	4296	BA	828	E	A30	707	17%	121
175	2017	AB	1994	E	A31	556	259%	1438

Tab. 5-16 Formule utilizzate sul foglio **Validazione** (Tab. 5-14 e Tab. 5-15)

Cella	Parametro	Formula
C3	ID <i>(in funzione)</i>	=FILTRO(ElencoCompleto!\$C\$2#;SE(SINISTRA(ElencoCompleto!\$C\$2#;1)="S"; CONTA.PIÙ.SE(UTC!\$J\$2#;ElencoCompleto!\$C\$2#;UTC!\$F\$2:\$F\$7852;">"&0; UTC!\$K\$2#; TESTO(\$A\$2;"00"))>0;CONTA.PIÙ.SE(COMARK!\$E\$2#;ElencoCompleto!\$C\$2#; COMARK!\$C\$2:\$C\$695;">"&0;COMARK!\$F\$2#;TESTO(\$A\$2;"00"))>0)
D3	Flusso Orario	=SE(SINISTRA(\$C\$3#;1)="S"; INDICE(UTC!\$F\$2:\$F\$7852;CONFRONTA(\$C\$3#&"-"& TESTO(\$A\$2;"00");UTC!\$J\$2#&"-"&UTC!\$K\$2#;0)); INDICE(COMARK!\$C\$2:\$C\$695; CONFRONTA(\$C\$3#&"-"&TESTO(\$A\$2;"00");COMARK!\$E\$2#&"-"&COMARK!\$F\$2#;0)))
E3	accuracy	=SE(SINISTRA(\$C\$3#;1)="S"; INDICE(UTC!\$G\$2:\$G\$7852;CONFRONTA(\$C\$3#&"-"& " &TESTO(\$A\$2;"00");UTC!\$J\$2#&"-"&UTC!\$K\$2#;0)); INDICE(COMARK!\$D\$2:\$D\$695; CONFRONTA(\$C\$3#&"-"&TESTO(\$A\$2;"00");COMARK!\$E\$2#&"-"&COMARK!\$F\$2#;0)))
G3	ID	=FILTRO(\$C\$3#;CONTA.SE(Links_Sensor!\$A\$2:\$A\$232;\$C\$3#)>0)
H3	LINKNR	=INDICE(Links_Sensor!\$B\$2:\$B\$232;CONFRONTA(\$G\$3#;Links_Sensor!\$A\$2:\$A\$232;0))
I3	DIR	=INDICE(Links_Sensor!\$C\$2:\$C\$232;CONFRONTA(\$G\$3#;Links_Sensor!\$A\$2:\$A\$232;0))
J3	LOAD	=INDICE(Links_Sensor!\$H\$2#;CONFRONTA(\$G\$3#;Links_Sensor!\$A\$2:\$A\$232;0))
K3	ROADTYPE	=INDICE(Links_Sensor!\$I\$2#;CONFRONTA(\$G\$3#;Links_Sensor!\$A\$2:\$A\$232;0))
L3	Flusso Orario	=INDICE(\$D\$3#;CONFRONTA(\$G\$3#;\$C\$3#;0))
M3	accuracy	=INDICE(\$E\$3#;CONFRONTA(\$G\$3#;\$C\$3#;0))
N3	AR_Count	=CONTA.PIÙ.SE(\$H\$3#;\$H\$3#;\$I\$3#;\$I\$3#)
O3	ERR	=\$J\$3#/L3#-1
Q3	ID	=FILTRO(DATI.ORDINA.PER(\$G\$3#; CONFRONTA(\$H\$3#&\$I\$3#; UNICI(\$H\$3#&\$I\$3#); 0)); VAL.NUMERO(RICERCA(" "&DATI.ORDINA.PER(\$G\$3#; CONFRONTA(\$H\$3#&\$I\$3#; UNICI(\$H\$3#&\$I\$3#); 0))&" "; " "&TESTO.UNISCI(" ";VERO;\$A\$5:\$A\$1048576)&" "); =FALSO)
R3	LINKNR	=INDICE(\$H\$3#;CONFRONTA(\$Q\$3#;\$G\$3#;0))
S3	DIR	=INDICE(\$I\$3#;CONFRONTA(\$Q\$3#;\$G\$3#;0))
T3	Flusso Orario	=INDICE(\$L\$3#;CONFRONTA(\$Q\$3#;\$G\$3#;0))
V3	LINKNR	=NUMERO.VALORE(SOSTITUISCI(SOSTITUISCI(UNICI(\$H\$3#&\$I\$3#);"A";"";"B";""))
W3	DIR	=DESTRA(UNICI(\$H\$3#&\$I\$3#);2)
X3	LOAD	=INDICE(\$J\$3#;CONFRONTA(\$V\$3#&\$W\$3#;\$H\$3#&\$I\$3#;0))
Y3	ROADTYPE	=INDICE(\$K\$3#;CONFRONTA(\$V\$3#&\$W\$3#;\$H\$3#&\$I\$3#;0))
Z3	ID	=TESTO.PRECEDENTE(TESTO.SUCCESSIVO(SOSTITUISCI(SOSTITUISCI(TESTO.UNISCI(" ";VERO; \$R\$3#&\$S\$3#&"-"&\$Q\$3#); V3#&W3#&"-"&"+";1); " "&V3#&W3#&"-"&"") &" "; "+"); " ")
AA3	Flusso Orario	=MEDIA.PIÙ.SE(\$T\$3#;\$R\$3#;\$V\$3#;\$S\$3#;\$W\$3#)
AB3	ERR	=\$X\$3#/\$AA\$3#-1
AC3	DIFF	=\$X\$3#-\$AA\$3#

Nella Tab. 5-17 vengono riportati i campi LINKNR, DIRECTION, LENGTH e TGM contenuti sul file OT_DUE.dbf, ottenuto all'inizio del paragrafo 8.3.3.

Tab. 5-17 ValidazioneRisultati.xlsx - Foglio Links_TGM (parte 1)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Flussi delle ore 08								Quota ore 07
2	LINKNR	DIRECTION	LENGTH	TGM	BDTRE_Flow	Load_sum	5T_sum		0.078904122
3	1	1	0.101	6402	505	1081	0		
4	2	1	0.633	5111	403	2041	0		Lmin [km]
5	3	1	0.681	4182	330	2766	0		0.000
6	4	1	0.048	6807	537	0	0		
7	5	1	0.034	8703	687	324	0		
8	6	1	0.034	6061	478	285	0		
9	7	2	0.034	6061	478	306	0		
10	8	2	0.032	8703	687	324	0		
11	9	3	0.426	10470	826	425	0		
12	10	1	0.039	7116	561	1751	0		
13	11	1	0.039	16523	1304	1406	0		
14	12	3	0.008	3873	306	394	0		
15	13	2	0.098	10470	826	382	0		
...
7776	7934	1	134.946		0		0		
7777	7935	2	132.487		0		0		
7778	7936	2	135.777		0		0		
7779	7937	1	239.941		0		0		
7780	7938	2	244.991		0		0		
7781	7939	1	129.770		0		0		
7782	7940	2	130.944		0		0		
7783	7941	1	145.979		0		0		
7784	7942	1	118.665		0		0		
7785	7943	2	147.162		0		0		
7786	7944	2	120.560		0		0		
7787	7945	1	42.299		0		0		
7788	7946	2	42.162		0		0		

Una volta importati i parametri necessari, si esegue la conversione del TGM in flusso orario e si sommano i valori di traffico espressi per le due direzioni di percorrenza attraverso le formule esposte in Tab. 5-18.

Tab. 5-18 Formule utilizzate sul foglio Links_TGM (Tab. 5-17)

Cella	Parametro	Formula
E3	BDTRE_Flow	=D\$3:D\$7788*I\$2
F3	Load_sum	=SE((\$A\$3:\$A\$7788=Links_Flow!\$A\$2:\$A\$7787) *(Links_Flow!\$D\$2:\$D\$7787<>"Connector")*(Links_Flow!\$E\$2:\$E\$7787<> "Connector"); Links_Flow!\$B\$2:\$B\$7787+ Links_Flow!\$C\$2:\$C\$7787; "")
G3	5T_sum	=SOMMA.SE(Validazione!\$V\$3#;\$A\$3:\$A\$7788;Validazione!\$AA\$3#)
I2	Quota ore 07	=SE(Validazione!\$A\$2=7; 0.0626292165945697; SE(Validazione!\$A\$2=8; 0.0789041222950211; ""))

Il foglio *Links_TGM* viene, successivamente, integrato con le stime mostrate nella Tab. 5-19, ottenute attraverso le formule elencate in Tab. 5-20.

Tab. 5-19 ValidazioneRisultati.xlsx - Foglio *Links_TGM* (parte 2)

	K	L	M	N	O
1	6380 Archi caricati, con TGM noto ed L >= 0 m				
2	LINKNR	BDTRE_Flow	Load_sum	ERR	DIFF
3	1	505	1081	114%	576
4	2	403	2041	406%	1638
5	3	330	2766	738%	2436
6	5	687	324	-53%	-362
7	6	478	285	-40%	-193
8	7	478	306	-36%	-172
9	8	687	324	-53%	-363
10	9	826	425	-49%	-401
11	10	561	1751	212%	1190
12	11	1304	1406	8%	102
13	12	306	394	29%	89
14	13	826	382	-54%	-444
...
6371	7530	447	188	-58%	-259
6372	7531	107	201	89%	94
6373	7532	107	150	41%	43
6374	7533	185	201	9%	16
6375	7534	762	727	-5%	-35
6376	7535	575	317	-45%	-258
6377	7536	353	31	-91%	-322
6378	7540	398	249	-37%	-149
6379	7542	696	323	-54%	-373
6380	7544	663	837	26%	174
6381	7551	673	90	-87%	-583
6382	7552	663	380	-43%	-283

	Q	R	S	T	U
1	160 Archi con sensore e TGM noti				
2	LINKNR	BDTRE_Flow	5T_sum	ERR	DIFF
3	253	1513	2106	-28%	-593
4	283	975	1830	-47%	-855
5	499	2416	2016	20%	400
6	593	483	297	63%	186
7	631	592	856	-31%	-264
8	733	441	356	24%	85
9	884	757	1282	-41%	-525
10	891	1132	899	26%	233
11	937	1751	1716	2%	35
12	990	1857	1837	1%	20
13	1030	1489	923	61%	566
14	1214	417	1058	-61%	-641
...
151	7012	2540	1369	86%	1171
152	7014	2060	3328	-38%	-1267
153	7019	1640	889	84%	751
154	7029	910	965	-6%	-55
155	7065	367	666	-45%	-298
156	7067	951	1365	-30%	-414
157	7099	515	522	-1%	-7
158	7101	484	548	-12%	-64
159	7125	694	1292	-46%	-598
160	7126	854	872	-2%	-18
161	7234	662	1311	-50%	-649
162	7378	1860	638	192%	1222

Tab. 5-20 Formule utilizzate sul foglio **Links_TGM** (Tab. 5-19)

Cella	Parametro	Formula
K3	LINKNR	=FILTRO(\$A\$3:\$A\$7788;(\$C\$3:\$C\$7788>=\$I\$5)*(\$E\$3#>0)*(\$F\$3#>0))
L3	BDTRE_Flow	=INDICE(\$E\$3#;CONFRONTA(\$K\$3#;\$A\$3:\$A\$7788;0))
M3	Load_sum	=INDICE(\$F\$3#;CONFRONTA(\$K\$3#;\$A\$3:\$A\$7788;0))
N3	ERR	=\$M\$3#/\$L\$3#-1
O3	DIFF	=\$M\$3#-\$L\$3#
Q3	LINKNR	=FILTRO(\$A\$3:\$A\$7788;(\$E\$3#>0)*(\$G\$3#>0))
R3	BDTRE_Flow	=INDICE(\$E\$3#;CONFRONTA(\$Q\$3#;\$A\$3:\$A\$7788;0))
S3	5T_sum	=INDICE(\$G\$3#;CONFRONTA(\$Q\$3#;\$A\$3:\$A\$7788;0))
T3	ERR	=\$R\$3#/\$S\$3#-1
U3	DIFF	=\$R\$3#-\$S\$3#

I risultati salienti, derivanti dalle elaborazioni condotte in questa fase, vengono sintetizzati sul foglio CSV_Validazione, strutturato come in Tab. 5-21 e compilato con le formule presenti in Tab. 5-22, al fine di agevolare l'importazione su Q-GIS, necessaria per ottenere la rappresentazione della distribuzione spaziale dell'errore assoluto.

Tab. 5-21 ValidazioneRisultati.xlsx - Foglio CSV_Validazione (risultati relativi alle misurazioni 5T delle ore 8:00)

	A	B	C	D
1	LINKNR	OT - 5T	OT - TGM	TGM - 5T
2	1		576	
3	2		1638	
4	3		2436	
5	4			
6	5		-362	
7	6		-193	
8	7		-172	
9	8		-363	
10	9		-401	
...
3800	3830	929	1232	-303
3801	3831		2107	
3802	3832		279	
3803	3833		-285	
3804	3834		1015	
3805	3835			
3806	3836		-540	
3807	3837		-1122	
3808	3838	-170	-1055	885
...
7779	7938			
7780	7939			
7781	7940			
7782	7941			
7783	7942			
7784	7943			
7785	7944			
7786	7945			
7787	7946			

Tab. 5-22 Formule utilizzate sul foglio CSV_Validazione (Tab. 5-21)

Cella	Parametro	Formula
A2	LINKNR	=Links_Flow!\$A\$2:\$A\$7787
B2	OT - 5T	=SE(CONTA.SE(Validazione!\$V\$3#;\$A\$2#)=0;""; ARROTONDA(SOMMA.SE(Validazione!\$V\$3#;\$A\$2#;Validazione!\$AC\$3#);0))
C2	OT - TGM	=SE(CONTA.SE(Links_TGM!\$K\$3#;\$A\$2#)=0;""; ARROTONDA(SOMMA.SE(Links_TGM!\$K\$3#;\$A\$2#;Links_TGM!\$O\$3#);0))
D2	TGM - 5T	=SE(CONTA.SE(Links_TGM!\$Q\$3#;\$A\$2#)=0;""; ARROTONDA(SOMMA.SE(Links_TGM!\$Q\$3#;\$A\$2#;Links_TGM!\$U\$3#);0))

Bibliografia e sitografia

Bibliografia

Agenzia della mobilità piemontese, *Rapporto di sintesi sull'area metropolitana*, 2015.

Documento disponibile su <https://www.mtm.torino.it/wp-content/uploads/dati-statistiche/indagine-imq-2013/pdf/IMQ2013_RapportoSintesi.pdf>, consultato il 30 luglio 2022.

Comune di Torino, *Progetto preliminare della linea 2 della metropolitana*, 2018.

Documento disponibile su <http://www.comune.torino.it/trasporti/bm~doc/180626_ppt_invio.pdf>, consultato il 20 maggio 2022.

Gruppo Torinese Trasporti S.p.A, *Linee urbane e suburbane a intervallo*, 2022.

Documento disponibile su <https://www.gtt.to.it/cms/risorse/urbana/intervalli_sito.pdf>, consultato il 01 novembre 2022.

ISFORT, *15° Rapporto sulla mobilità degli italiani*, 2018.

Documento disponibile su <https://www.isfort.it/wp-content/uploads/2019/09/Rapporto_Mobilita_2018.pdf>, consultato il 28 luglio 2022.

ISFORT, *17° Rapporto sulla mobilità degli italiani*, 2020.

Documento disponibile su <<https://www.isfort.it/wp-content/uploads/2020/12/RapportoMobilita2020.pdf>>, consultato il 04 agosto 2022.

Istituto Nazionale di Statistica - ISTAT (a), *Descrizione dei dati geografici e delle variabili censuarie delle Basi territoriali per i censimenti*, 2016.

Documento disponibile su <<https://www4.istat.it/it/files/2013/11/Descrizione-dati-Pubblicazione-2016.03.09.pdf>>, consultato il 10 settembre 2022.

Istituto Nazionale di Statistica - ISTAT, *Popolazione insistente per studio e lavoro*, 2020.

Documento disponibile su <<https://www.istat.it/it/files//2020/03/Popolazione-insistente.pdf>>, consultato il 18 maggio 2022.

Maerivoet Sven e Logghe Steven, *Validation of Travel Times based on Cellular Floating Vehicle Data*, 2007.

Documento disponibile su <https://www.researchgate.net/profile/Steven-Logghe/publication/228922403_Validation_of_travel_times_based_on_cellular_floating_vehicle_data/links/004635257e1eb33f77000000/Validation-of-travel-times-based-on-cellular-floating-vehicle-data.pdf>, consultato il 30 maggio 2022.

META srl, *PUMS - Rapporto finale*, 2021.

Documento disponibile su <http://www.cittametropolitana.torino.it/cms/risorse/trasporti-mobilita-sostenibile/dwd/pums/RapportoFIN_v10.pdf>, consultato il 05 luglio 2022.

Ramm Frederik, *OpenStreetMap Data in Layered GIS Format*, 2021.

Documento disponibile su <<https://download.geofabrik.de/europe/italy/nord-ovest.html>>, consultato il 18 marzo 2022.

Regione Piemonte, *Piano regionale della mobilità e dei trasporti - Allegato A*, 2018.
Documento disponibile su <http://www.regione.piemonte.it/pinforma/images/DOCUMENTI/Trasporti_AllegatoA.pdf>,
consultato il 29 marzo 2021.

Villani Paola, *Richiami di Teoria del Traffico*, 2015.
Documento disponibile su <<https://core.ac.uk/download/pdf/55234581.pdf>>,
consultato il 26 luglio 2022.

Risorse on line e fonti d'archivio

Agenzia della mobilità piemontese, *Open data IMQ 2013*, 2014.
<<https://mtm.torino.it/it/dati-statistiche/indagini/indagine-imq-2013/base-dati-imq-2013/>>,
consultato il 09 maggio 2022.

Ardevino Otello, *Osservatorio sulle comunicazioni N. 2/2019*, 2019.
<<https://www.agcom.it/documents/10179/4165933/Allegato+23-7-2019/94b10a03-8024-485c-a3ff-5befb1d030f5?version=1.0>>,
consultato il 30 maggio 2022.

CSI Piemonte, *Geoportale Piemonte*, 2021.
<https://www.geoportale.piemonte.it/geonetwork/srv/ita/catalog.search#/metadata/r_piemon:2bb551d2-bad8-488f-9070-07f5a65b5f11>,
consultato il 25 maggio 2022.

Geofabrik GmbH and OpenStreetMap Contributors, *Geofabrik Download Server*, 2018.
<<https://download.geofabrik.de/europe/italy/nord-ovest.html>>,
consultato il 18 marzo 2022.

Istituto Nazionale di Statistica - ISTAT (a), *Sezioni di censimento - R01_11_WGS84*, 2015.
<https://www.istat.it/storage/cartografia/basi_territoriali/WGS_84_UTM/2011/R01_11_WGS84.zip>,
consultato il 01 febbraio 2022.

Istituto Nazionale di Statistica - ISTAT (b), *Censimento dell'industria e dei servizi - dati-sce_2011*, 2015.
<https://www.istat.it/storage/cartografia/variabili-censuarie/dati-sce_2011.zip>,
consultato il 01 febbraio 2022.

Istituto Nazionale di Statistica - ISTAT (b), *Censimento della popolazione e delle abitazioni - dati-cpa_2011*, 2016.
<https://www.istat.it/storage/cartografia/variabili-censuarie/dati-cpa_2011.zip>,
consultato il 01 febbraio 2022.

Istituto Nazionale di Statistica - ISTAT, *Classificazione delle attività economiche Ateco 2007 - STRUTTURA*, 2009.
<<https://www4.istat.it/it/files/2011/03/STRUTTURA.zip?title=Classificazione+Ateco+2007+-+01%2Fott%2F2009+-+Ateco+2007.zip>>,
consultato il 01 febbraio 2022.

Istituto Nazionale di Statistica - ISTAT, *Basi territoriali e variabili censuarie*, 2017.
<<https://www.istat.it/it/archivio/104317>>,
consultato il 01 febbraio 2022.

Bibliografia e sitografia

Istituto Nazionale di Statistica - ISTAT, *Limiti01012019.zip*, 2019.

<https://www.istat.it/storage/cartografia/confini_amministrativi/non_generalizzati/Limiti01012019.zip>, consultato il 19 maggio 2022.

Istituto Nazionale di Statistica - ISTAT, *Popolazione insistente per studio e lavoro nel 2018, 2021*.

<https://www.istat.it/it/files//2021/06/Allegato-statistico-2018_17_05_2021.xlsx>, consultato il 18 maggio 2022.

Istituto Nazionale di Statistica - ISTAT, *Codici statistici delle unità amministrative territoriali*, 2022.

<<https://www.istat.it/it/archivio/6789>>, consultato il 19 settembre 2022.

Lavecchia Vito, *Differenza tra Handoff e Handover in telecomunicazioni | Informatica e Ingegneria Online*, 2021.

<<https://vitolavecchia.altervista.org/differenza-tra-handoff-e-handover-in-telecomunicazioni/>>, consultato il 11 settembre 2022.

Olivetti S.p.A., *TIM City Forecast | Olivetti SPA*, 2016.

<<https://www.olivetti.com/it/iot-big-data/analytics-big-data/tim-big-data/tim-city-forecast>>, consultato il 30 maggio 2022.

OpenStreetMap Wiki contributors (a), *IT:Percorso*, 2020.

<<https://wiki.openstreetmap.org/w/index.php?title=IT:Percorso&oldid=2035427>>, consultato il 25 maggio 2022.

OpenStreetMap Wiki contributors (b), *IT:Nodo*, 2020.

<<https://wiki.openstreetmap.org/w/index.php?title=IT:Nodo&oldid=2037700>>, consultato il 25 maggio 2022.

OpenStreetMap Wiki contributors, *IT:Key:highway*, 2021.

<<https://wiki.openstreetmap.org/w/index.php?title=IT:Key:highway&oldid=2222720>>, consultato il 25 maggio 2022.

OpenStreetMap Wiki contributors, *IT:Key:oneway*, 2022.

<<https://wiki.openstreetmap.org/w/index.php?title=IT:Key:oneway&oldid=2300892>>, consultato il 25 maggio 2022.

Team Analisi e Modelli Dati 5T, *5T-dati traffico 2019.zip*, 2019.

Dataset fornito su richiesta espressa tramite e-mail all'indirizzo <info@5t.torino.it>, ottenuto il 15 dicembre 2021.

TIM S.p.A., *Gruppo TIM | City Forecast - Big Data*, 2020.

<<https://www.gruppotim.it/it/innovazione/news-innovazione/city-forecast.html>>, consultato il 30 maggio 2022.