POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile

Tesi di Laurea Magistrale

L'analisi costi benefici per la stima degli impatti delle infrastrutture

Il caso di piazza Generale Antonio Baldissera a Torino

Relatori:

prof. Francesco Prizzon

prof.ssa Manuela Rebaudengo

Candidato:

Matteo Topatigh

Marzo 2020

ABSTRACT

Saper valutare la convenienza di un investimento pubblico, sia da un punto di vista finanziario, che da quello economico-sociale, è di fondamentale importanza per arrivare alla realizzazione di opere che portino giovamenti alla collettività: l'analisi costi-benefici è il principale strumento per perseguire tali obiettivi. La metodologia che si adotta per effettuare questo tipo di analisi è talvolta rigida e di facile valutazione – analisi finanziaria – o talvolta flessibile e più interpretabile – analisi economica – quest'ultima ha come scopo principale quello di individuare quelle esternalità che vengono generate dalla realizzazione di un'opera di interesse pubblico. In generale, risultano difficili valutazioni di questo genere, in quanto caratterizzanti ogni singolo intervento: nell'ottica di realizzare un'analisi costi-benefici che non sia un semplicistico esercizio di stima effettuato adottando uno schema di valutazione "standard", sarà necessario comprendere gli strumenti (come ad esempio l'utilizzo di sistemi informativi territoriali o GIS) e la metodologia necessari per effettuare un'analisi il più possibile realistica e contestualizzata dell'opera da realizzare. Tra la moltitudine di opere che possono portare un vantaggio alla collettività, le infrastrutture di trasporto ne rappresentano forse il miglior esempio: lo stato dell'impianto infrastrutturale non solo rispecchia la salubrità economica di un paese, ma ne condiziona anche il sistema economico-sociale a cui è strettamente collegato, la sostenibilità economico-sociale di un impianto infrastrutturale è di fondamentale importanza. Per questi motivi la valutazione degli impatti delle infrastrutture stradali rappresenta un'importante indicatore per valutare la necessità di effettuare nuovi investimenti atti a migliorare la viabilità con la realizzazione di una nuova infrastruttura. Questo è il caso di Piazza Baldissera a Torino, dove da anni si sta discutendo per cercare soluzioni alla insostenibilità che si è andata a creare sia per i diretti utilizzatori dell'infrastruttura che per gli abitanti delle immediate vicinanze.

INDICE

INTRODUZIONE 1

CAPITOLO 1

L'ANALISI COSTI-BENEFICI 4

1.1 Definizione 5

1.2 Premessa storica 6

1.3 Metodologia 7

1.3.1 Analisi finanziaria 8

1.3.2 Analisi economico-sociale 13

1.3.2.1 Sistema dei prezzi e tecniche di quantificazione 14

1.4 ACB in Italia e all'estero 16

CAPITOLO 2

LE INFRASTRUTTURE STRADALI 17

2.1 Caratteristiche delle infrastrutture stradali 18

2.1.1 Classificazione delle strade 19

2.1.2 Circolazione veicolare 22

2.2 Gli impatti delle infrastrutture 26

2.2.1 Congestione stradale 27

2.2.2 Inquinamento atmosferico 28

2.2.2.1 Generalità 28

2.2.2.2 Principali sostanze inquinanti 30

2.2.2.3 Modelli di emissione 36

2.2.2.4 Parco veicolare circolante 37

2.2.2.5 Efficacia misure di limitazione del traffico 46

CAPITOLO 3

CASO STUDIO: PIAZZA BALDISSERA 53

3.1 Premessa storica 55

3.2 Piazza Baldissera oggi.....63

3.2.1 Caratteristiche del sistema socio-economico 63

3.2.2 Caratteristiche dell'assetto delle infrastrutture di trasporto 68

3.2.2.1 Criticità viarie 71

3.2.2.2 Caratteristiche del traffico 71

CAPITOLO 4

ACB APPLICATA AL CASO STUDIO 80

4.1 La valutazione delle esternalità.....81

4.2 Costi della congestione stradale.....82

4.2.1 Valore del tempo 83

4.2.1.1 Quantificazione e monetizzazione 84

4.2.1.2 Valorizzazione 88

4.2.1.3 Osservazioni 90

4.3 Costi dell'inquinamento atmosferico.....93

4.3.1 Valori emissioni inquinanti 93

4.3.1.1 Quantificazione e monetizzazione 93

4.3.1.2 Valorizzazione 100

4.3.1.3 Osservazioni 101

4.4 Costi cambiamenti climatici.....104

4.4.1 Emissioni totali equivalenti di CO_2..... 104

4.4.1.1 Quantificazione e monetizzazione 104

4.4.1.2 Valorizzazione 105

4.4.1.3 Osservazioni 106

4.5 Altri costi legati alla valutazione delle esternalità.....110

4.5.1 Costi dell'incidentalità 110

4.5.1.1 Metodologia..... 111

4.5.2 Costi dell'inquinamento acustico 112
4.5.2.1 Metodologia..... 113
4.5.3 Perdita di valore degli immobili..... 114
4.6 Osservazioni conclusive.....115

CAPITOLO 5

GIS PER PIAZZA BALDISSERA 117

5.1 La progettazione di un GIS 118
5.1.1 Modello esterno..... 118
5.1.2 Modello Concettuale 123
5.1.3 Modello logico 125
5.1.4 Modello Interno..... 129
5.1.4.1 Input..... 129
5.1.4.2 Sistema di riferimento..... 132
5.1.4.3 Calcolo automatico valori attributi..... 134
5.1.4.4 Relazioni: Join e Relate..... 134
5.2 Consultazione del modello.....138
5.2.1 Strumento *identify* 138
5.2.2 Selezione per attributi o riferimento spaziale..... 139
5.2.3 Grafici e valori statistici 140
5.2.4 Visualizzazioni e tematismi 141

CONCLUSIONI 143

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA..... 146

INDICE DELLE ABBREVIAZIONI

ACB	Analisi Costi-Benefici
ACI	Automobile Club Italia
ARPA	Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale
C_6H_6	Benzene
CCC	Costi per il Cambiamento Climatico
CCS	Costi per la Congestione Stradale
CH_4	Metano
CIA	Costi per l'Inquinamento Atmosferico
CO	Monossido di carbonio
CO_2	Anidrice carbonica
COPERT	Software per il calcolo delle emissioni inquinanti da traffico veicolare (*COmputer Programme to calculate Emissions from Road Traffic)*
CVM	Metodo di Valutazione della Contingenza (*Contingent Valutation Method*)
DAP	Disponibilità A Pagare
DC	Costo del ritardo (*Delay Cost*)
dt	Tempo di permanenza in coda in caso di traffico (*Delay Time*)
DWL	Perdita secca (*Dead Weight Loss*)
EEA	Agenzia europea per l'ambiente (*European Environment Agency*)
ENPV	Valora Attuale Netto Economico *(Economic Net Present Value)*
ERR	Tasso Interno di Rendimento Economico *(Economic Rate of Return)*
FIAIP	Federazione Italiana Agenti Immobiliari Professionali
FNPV	Valora Attuale Netto Finanaziario *(Financial Net Present Value)*
FRR	Tasso Interno di Rendimento Finanziario *(Financial Rate of Return)*
g.	giorno
GIS	Sistema Informativo Territoriale (*Geogrphical Information System*)
GTT	Gruppo Torinese Trasporti
h	Ora (tempo)
h.pers	Ore a persona
HGV	Veicoli pesanti (Heavy Goods Vehicle)
IARC	Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (*International Agency for Research on Cancer)*
ISPRA	Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
ISTAT	Istituto nazionale di statistica
k	Densità veicolare
km	Chilometri (lunghezza)
LCV	Veicoli commerciali leggeri (*Light Commercial Vehicle*)
LdS	Livello di Servizio
min	Minuti (tempo)
MIT	Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
N_2O	Protossido di azoto

NH_3	Ammoniaca
NOX	Ossidi di azoto
NPV	Valore Attuale Netto *(Net Present Value)*
O_3	Ozono
OMS	Organizzazione Mondiale della Sanità
PBP	Tempo di ritorno dell'investimento *(Pay Back Period)*
pkm	Passeggeri al chilometro
PM	Composti organici in forma di particolato (*Particulate Matte*r)
PM_{10}	Particolato con diametro inferiore a 10 micron
$PM_{2,5}$	Particolato con diametro inferiore a 2,5 micron
PPP	Partenariato Pubblico Privato
PTS	Composti organici in forma di particolato
q	Flusso veicolare
RBCA	Rapporto Costi Benefici Attualizzati
RR	Tasso Interno di Rendimento *(Rate of Return)*
Sfm	Servizio ferroviario metropolitano
SIT	Sistema Informativo Territoriale
SMC	Costo marginale sociale (*Social Marginal Cost*)
SO_X	Ossidi di zolfo
SP	Strada Provinciale
spo	Percentuale motivi dello spostamento
SR	Strada Regionale
SS	Strata Statale
t	tonnellate (peso)
TGM	Traffico Giornaliero Medio
TIR	Tasso Interno di Rendimento
UE	Unione Europea
v	Velocità veicolare istantanea media
VAN	Valora Attuale Netto
ve	Veicoli
VOT	Valore del tempo (*Value Of Time*)

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1-1: Esempio costi e benefici diretti ed indiretti in un investimento per la realizzazione di una infrastruttura stradale a percorrenza veloce 8
Tabella 1-2: Esempio prospetto costi totali di investimento 9
Tabella 1-3: Esempio prospetto costi operativi e ricavi 10
Tabella 1-4: Esempio risorse di finanziamento 11
Tabella 1-5: Esempio prospetto rendimento finanziario del capitale nazionale 12
Tabella 1-6: Esempi orizzonti temporali per settore di investimento 13
Tabella 2-1: Schema riassuntivo principali impatti di un'infrastruttura stradale 27
Tabella 2-2: Valori limite principali inquinanti atmosferici secondo il D.Lgs. 55/10 29
Tabella 2-3: Parco veicolare circolante per categoria di veicoli 38
Tabella 2-4: Parco veicolare circolante di sole AUTOVETTURE per categorie di alimentazione 39
Tabella 2-5: Parco veicolare circolante di sole AUTOVETTURE per classi ambientali (2018) 43
Tabella 2-6: Parco circolante autovetture nel comune di Torino (2018) distinte per categoria di alimentazione e classe ambientale Euro 45
Tabella 2-7: Concentrazioni di PM10 (stazione Torino-Rebaudengo) e livello di limitazione del traffico nel periodo dicembre 2018 - gennaio 2019 48
Tabella 2-8:Concentrazioni di PM10 (stazione Torino-Rebaudengo) e livello di limitazione del traffico nel periodo dicembre 2019 - gennaio 2020 50
Tabella 2-9: Dati riassuntivi periodi di analisi limitazioni del traffico e concentrazione di PM10 52
Tabella 2-10: Numero di autovetture interessate dalle limitazioni del traffico in base al livello di tali limitazioni 52
Tabella 3-1: Residenti zone statistiche nei pressi di piazza Baldissera 64
Tabella 3-2: Residenti per sezioni di censimento nei pressi di piazza Baldissera 65
Tabella 3-3: Valori medi di mercato in €/m^2 degli immobili nel quartiere Aurora di Torino 67
Tabella 3-4:Valori medi di mercato in €/m^2 degli immobili nel quartiere Barriera di Milano di Torino 67
Tabella 3-5:Valori medi di mercato in €/m^2 degli immobili nel quartiere Borgo Vittoria di Torino 68
Tabella 3-6:Valori medi di mercato in €/m^2 degli immobili nel quartiere San Donato di Torino 68

Tabella 3-7: Numero di corsie convoglianti in piazza Baldissera *70*
Tabella 3-8: Flusso del traffico entrante in piazza Baldissera in giorno feriale medio nei vari confluenti vari *73*
Tabella 3-9: Veicoli in coda in attesa di immettersi in piazza Baldissera *76*
Tabella 3-10: Tempi di attesa o di coda dei veicoli per attraversare piazza Baldissera *78*
Tabella 4-1: Valori del tempo (VOT) per motivo dello spostamento e classe di distanza *85*
Tabella 4-2: Valori VOT scelti per l'analisi *85*
Tabella 4-3: Percentuale motivi di spostamento per fascia oraria *86*
Tabella 4-4: Tempi di coda (dt) [min] per fasce orarie in ogni confluente viario della piazza *87*
Tabella 4-5: Costi del ritardo (DC) (€/h.pers) per fasce orarie in ogni affluente viario della piazza *88*
Tabella 4-6: Costi del ritardo (DC) (€/h) per fasce orarie in ogni affluente viario della piazza *89*
Tabella 4-7: Costi del ritardo (DC) per giorno feriale medio *90*
Tabella 4-8: Costi congestione stradale annui 2019 ..... *91*
Tabella 4-9: Ammortamento CCS con investimento di 60 mln € *92*
Tabella 4-10: Ammortamento CCS con investimento di 30 mln € *92*
Tabella 4-11: Parco veicolare circolante autovetture provincia di Torino (2018) distinte per classe Euro e fascia di cilindrata *95*
Tabella 4-12: Tabella 4 11: Parco veicolare circolante percentuale autovetture provincia di Torino (2018) distinte per classe Euro e fascia di cilindrata *96*
Tabella 4-13:Parco veicolare circolante autovetture in piazza Baldissera distinte per classe Euro e fascia di cilindrata *97*
Tabella 4-14: Parco veicolare circolante finale piazza Baldissera distinto per categoria Euro e alimentazione *99*
Tabella 4-15: Valori costi emissioni sostanze inquinanti autovetture distinte per classe Euro e cilindrata *100*
Tabella 4-16: Costi inquinamento atmosferico giornalieri distinti per classi Euro e cilindrata autovetture *101*
Tabella 4-17: Costi inquinamento atmosferico totali giornalieri *101*
Tabella 4-18: Costi inquinamento ambientale annui piazza Baldissera *103*
Tabella 4-19: Valori costi emissioni CO_2 equivalente autovetture distinti per classe ambientale Euro e cilindrata *105*

Tabella 4-20: Costi cambiamenti climatici giornalieri distinti per classi Euro e cilindrata autovetture *106*
Tabella 4-21: Costi cambiamenti climatici totali giornalieri *106*
Tabella 4-22: Fattori di emissione di CO_2 autovetture per classe ambientale Euro e categoria di alimentazione *109*
Tabella 4-23: Costi cambiamenti climatici annui piazza Baldissera *109*
Tabella 4-24: Valori costi esterni incidentalità per i paesi dell'UE [€] *112*
Tabella 4-25: Costi del rumore da traffico [€/dB/persone/anno] *114*
Tabella 4-26: Costi esternalità piazza Baldissera totali (2016) *115*
Tabella 4-27: Costi esternalità piazza Baldissera totali attualizzati (2019) *115*
Tabella 5-1: Indici statistici per Biossido di azoto NO2 (µg/m3) *121*
Tabella 5-2: Indici statistici per Monossido di carbonio CO (mg/m3) *121*
Tabella 5-3: Indici statistici per Benzene e Toulene (µg/m3) *122*
Tabella 5-4: Indici statistici per particolato atmosferico PM10 (µg/m3) *122*
Tabella 5-5: Indici statistici per particolato atmosferico PM 2.5 (µg/m3) *122*
Tabella 5-6: Entità individuate e la tipologia dei dati in esse raccolti. Ciascun colore identifica un differente tipo di dato rendendolo immediatamente riconoscibile. *125*
Tabella 5-7: Struttura entità "Archi" *126*
Tabella 5-8: struttura della relazione "Civico" *126*
Tabella 5-9: struttura entità "Nodi" *126*
Tabella 5-10: struttura entità "Stazione" *126*
Tabella 5-11: struttura entità "Enti" *127*
Tabella 5-12: struttura entità "Inquinanti" *127*
Tabella 5-13: struttura entità "Stradario" *127*
Tabella 5-14: struttura entità "Traffico" *127*
Tabella 5-15: struttura entità "Valore del tempo" *128*
Tabella 5-16: struttura entità "Viabilità" *128*
Tabella 5-17: struttura entità "Edifici" *128*
Tabella 5-18: struttura entità "Sezioni di censimento 2011" *128*

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1-1: Schema riassuntivo analisi finanziaria: 12
Figura 2-1: diagrama flusso-velocità e densità-velocità del modello di Greenshields 24
Figura 2-2: Autovetture per categoria di alimentazione provincia di Torino (2018) 39
Figura 2-3: Autovetture per categoria di alimentazione a livello nazionale (2018) 39
Figura 2-4: Parco circolante autovetture per categorie di alimentaz. in Torino (2018) 40
Figura 2-5: Limitazioni permanenti al traffico nella città di Torino. Fonte: ordinanza n.42 AA del 27/09/2019 42
Figura 2-6: Autovetture per classe ambientale provincia di Torino (2018) 44
Figura 2-7: Autovetture per classe ambientale a livello nazionale (2018) 44
Figura 2-8: Andamento concentrazioni di PM10 nel dicembre 2018 49
Figura 2-9:Andamento concentrazioni di PM10 nel gennaio 2019 49
Figura 2-10:Andamento concentrazioni di PM10 nel dicembre 2019 51
Figura 2-11:Andamento concentrazioni di PM10 nel gennaio 2020 51
Figura 3-1:Zona di piazza Baldissera tra i quartieri di Torino 53
Figura 3-2: Localizzazione Piazza Baldissera nel territorio comunale di Torino 54
Figura 3-3:Piano generale cinta daziaria. 55
Figura 3-4: Caselli daziari Barriera di Milano, Corso Vercelli. 56
Figura 3-5: Estratto del Piano Regolatore e di ampliamento del 1906-1908 con indicazione della zona dell'attuale piazza Baldissera. 57
Figura 3-6: Vista della zona dell'attuale piazza Baldissera con la stzione Dora. 58
Figura 3-7:Pianta di Torino, 1945 circa, particolare. 59
Figura 3-8: Cavalcavia di corso Mortara, vista aerea da nord. 60
Figura 3-9: Piazza Baldissera nel 2010. Ortofoto 2010 Città di Torino. 61
Figura 3-10: Piazza Baldissera nel 2016. Ortofoto 2016 Città di Torino. 62
Figura 3-11: Piazza Baldissera con i suoi confluenti viari 63
Figura 3-12: Zone statistiche di Torino 2018 attorno a piazza Baldissera 64
Figura 3-13: Sezioni di censimento ISTAT 2011 nei pressi di piazza Baldissera 65
Figura 3-14: Edifici per categoria d'uso nei pressi di piazza Baldissera 66
Figura 3-15: Stazioni autobus di linea nei pressi di piazza Baldissera 69
Figura 3-16: Assetto delle infrastrutture di trasporto nei pressi di piazza Baldissera 70
Figura 3-17: Sezioni stradali di rilevamento del traffico 72
Figura 3-18: Grafico andamento orario traffico convogliante in piazza Baldissera in giorno feriale medio 74

Figura 3-19:Istogramma andamento orario traffico convogliante in piazza Baldissera in giorno feriale medio 74
Figura 3-20: Flussi complessivi giornalieri traffico convogliante in piazza Baldissera 75
Figura 3-21: Grafico veicoli in coda in attesa di immettersi in piazza Baldissera 77
Figura 3-22: Grafico tempi di coda dei veicoli per attraversare p.zza Baldissera 79
Figura 4-1: Congestione stradale dipendente dalla condizione della rete 82
Figura 4-2: Incidenza DC dei diversi affluenti viari della piazza in giorno feriale medio 90
Figura 4-3: Incidenza dt dei diversi affluenti viari della piazza in giorno feriale medio 91
Figura 4-4: Incidenza categorie alimentazione parco veicolare circolante 102
Figura 4-5:Incidenza CIA per categorie di alimentazione 102
Figura 4-6: Media costi unitari emissioni inquinanti 103
Figura 4-7: Incidenza categorie alimentazione parco veicolare circolante 107
Figura 4-8: Incidenza CCC per categorie alimentazione 107
Figura 4-9: Media costi unitari emissione CO_2 equivalente 108
Figura 4-10: Costi esternalità piazza Baldissera 116
Figura 4-11: Incidenza costi esternalità piazza Baldissera 116
Figura 5-1: Buffer di 250 m (in giallo) da piazza Baldissera utilizzato per selezionare l'area di analisi 130
Figura 5-2: Area di studio ottenuta 131
Figura 5-3: Organizzazione shapefile utilizzati 131
Figura 5-4: Esempio esportazione di shapefile aree_verdi partendo shapefile 060401_AREA_VERDE.shp 132
Figura 5-5: Interfaccia CartLab3 con settaggio impostazioni 133
Figura 5-6: Esempio di Join da tabella 135
Figura 5-7: Esempio tabella creata con Join. In blu gli attributi ottenuti dall'unione delle entità, in arancione la colonna calcolata successivamente. 136
Figura 5-8: Esempio creazione relate strade-enti 137
Figura 5-9: Esempio interrogazione identify dell'arco di corso Vigevano con la sezione di rilevamento del traffico 138
Figura 5-10: Esempio di select by location 139
Figura 5-11: Esempio di select by location 140
Figura 5-12: Esempio statistics 141
Figura 5-13: Esempio grafico flusso del traffico estrapolato direttamente dal software 141
Figura 5-14: Esempio tavola tematica 142

INTRODUZIONE

Saper valutare la convenienza di un investimento pubblico, da diversi punti di vista, è di fondamentale importanza per arrivare alla realizzazione di opere che portino giovamenti alla collettività; le tecniche utilizzate per raggiungere tali obiettivi trovano fondamenti tanto nell'ingegneria quanto nell'economia e l'analisi costi-benefici è il principale strumento che ormai da anni viene impiegato per perseguire questo scopo. La collettività è l'obiettivo verso il quale deve essere rivolto lo sguardo, non si può pensare che tecniche valutative solide e affidabili nel caso di investimenti privati siano altrettanto attendibili quando il fulcro dell'analisi si sposta dal privato al pubblico. L'analisi costi-benefici è la metodologia necessaria che ci permette di affrontare questi temi nel miglior modo possibile. Tale analisi è talvolta rigida e di facile valutazione, nel caso dell'analisi finanziaria, o talvolta flessibile e più interpretabile, nel caso dell'analisi economica, ma in ogni caso ci permette di avere dei riferimenti chiari alla valutazione monetaria della cosa pubblica.

Attraverso la metodologia dell'analisi costi-benefici è dunque possibile valutare non solo *ex-ante* un progetto di investimento pubblico, ma anche stimare gli impatti che un'opera può avere sulla collettività e quindi sul contesto socio-economico ed ambientale in cui viene realizzata. Questa particolare possibilità è estremamente interessante se si prendono in considerazione opere infrastrutturali, con un particolare riferimento alle infrastrutture di trasporto, che probabilmente rappresentano il miglior esempio di come un investimento pubblico possa condizionare, sotto tutti i punti di vista, il contesto in cui viene pensato. Lo stato dell'impianto infrastrutturale non solo rispecchia la salubrità economica di un paese, ma ne condiziona anche il sistema sociale a cui è strettamente legato, ed è indispensabile monitorare e valutare costantemente lo stato delle infrastrutture di trasporto, non solo sotto il punto di vista, assolutamente indispensabile, della sicurezza strutturale, ma anche dal punto di vista delle relazioni economico-sociali che produce. La sostenibilità economico-sociale di un impianto infrastrutturale, dal più piccolo al più grande, è di fondamentale importanza per la collettività. A tal proposito si è deciso di analizzare un nodo di viabilità critico della città di Torino in piazza Generale Antonio Baldissera, che, come vedremo, da anni è oggetto di critiche e trasformazioni che hanno portato ad oggi una

condizione di insostenibilità sia per i diretti utilizzatori dell'infrastruttura che per gli abitanti delle immediate vicinanze.

L'obiettivo del presente lavoro è stato, pertanto, chiaro fin da subito: esporre nella maniera più chiara e possibile le metodologie necessarie per giungere alla valutazione di un progetto di investimento pubblico ed in particolare arrivare ad evidenziare gli impatti che un'infrastruttura di trasporto può avere sul sistema economico-sociale, con un particolare riferimento ad il caso studio di piazza Baldissera a Torino.

Le motivazioni che mi hanno portato ad approfondire tali argomenti sono molteplici ma mi sento di poter affermare che trovano il giusto compendio fondamentalmente in due presupposti: la mia passione per le tecnologie ingegneristiche applicabili al fine di migliorare il benessere della società e il mio profondo interessamento verso le discipline estimative; inoltre è stato un grosso stimolo analizzare le tematiche legate alla viabilità della mia città, Torino, che sono sempre attuali ed estremamente concrete.

La metodologia usata per affrontare questi temi è stata da una parte rigorosa, perché c'era la necessità di analizzare in maniera concreta determinati aspetti, ma dall'altra più flessibile, in quanto è stato dato un grosso contributo per contestualizzare al meglio l'analisi dei temi proposti e ho avuto la possibilità di utilizzare strumenti molto interessanti ed innovativi come i sistemi informativi territoriali (GIS) che mi hanno aiutato ad inquadrare nella maniera migliore possibile il problema.

La tesi è dunque articolata in cinque capitoli.

Nel primo capitolo viene fornita una visione generale dell'analisi costi-benefici, andando a chiarire il ruolo delle due fondamentali parti di cui essa è composta, ovvero l'analisi finanziaria e l'analisi economico-sociale, che ha come scopo principale quello di individuare proprio quegli impatti, già citati, che vengono generati dalla realizzazione di un'opera di interesse pubblico.

Nel secondo capitolo si vuole dare un quadro generale relativo alle infrastrutture di trasporto, andando ad analizzare in maniera molto sintetica le principali basi teoriche della tecnica ed economia dei trasporti, per poi analizzare più nel dettaglio gli impatti che in particolare queste tipo di infrastrutture possono portare. È in questa fase che sono state analizzate nel dettaglio le cause e le conseguenze di un elevato inquinamento atmosferico con un interessante approfondimento relativo alla città di Torino.

Nel terzo capitolo si va ad effettuare un'attenta analisi di contesto del caso studio, andando ad esaminare nel dettaglio le caratteristiche dell'assetto delle infrastrutture di trasporto e del sistema economico-sociale dell'area oggetto di studio, piazza Baldissera a Torino; in questo capitolo verrà esposto l'importante lavoro di rilevamento del traffico effettuato, reso necessario per poter caratterizzare al meglio le criticità viarie relative alla congestione stradale.

Nel quarto capitolo si entrerà nel vivo dell'analisi, dove i presupposti solamente teorici espostisi fino a quel punto verranno applicati per effettuare una stima monetaria del valore degli impatti generati dal caso studio, andando in particolare ad esaminare nel dettaglio gli impatti relativi alla congestione stradale e gli impatti ambientali, composti quindi dal contributo dell'inquinamento atmosferico con un particolare riferimento a quegli inquinanti che contribuiscono al surriscaldamento globale, i cosiddetti gas serra.

Infine nel quinto capitolo viene data una seppur breve ma importante descrizione degli strumenti GIS utilizzati, che hanno accompagnato tutto il lavoro.

Grazie a questo studio è stato dunque possibile analizzare in maniera critica un problema concreto che sicuramente ha bisogno di trovare delle soluzioni.

Capitolo 1

L'ANALISI COSTI-BENEFICI

In generale quando si ha a che fare con qualsiasi progetto che preveda un impiego di capitale è fondamentale identificare le tecniche di valutazione che ci permettono di stimare la convenienza economica dell'investimento. Si pongono subito due questioni da chiarire: la prima riguarda la natura dell'investimento, mentre la seconda la concezione di convenienza economica. È chiaro che i due concetti sono strettamente interconnessi, infatti molto semplicemente si devono distinguere tra di loro gli investimenti di natura pubblica da quelli di natura privata che conseguentemente porteranno a delle concezioni di convenienza economica differenti; è doveroso comprendere che quando si parla in generale di convenienza economica si vuole valutare la bontà dei "giovamenti" che possono portare a bei benefici di varia natura, da puramente finanziari ad economici – sociali o politici. La distinzione tra pubblico e privato è dunque fondamentale, perché essa si ripercuote su diversi aspetti che entrano in gioco nella valutazione dei progetti, tra i quali i principali sono:

- gli obiettivi: nel caso privato fornire beni o servizi traendo dei profitti, che non sono esclusivamente monetari nel caso pubblico, dove si preferisce infatti utilizzare il termine benefici;
- le fonti di finanziamento: esclusivamente private o pubbliche;
- l'orizzonte temporale del progetto di investimento: relativamente breve nel caso privato o piuttosto lungo nel caso pubblico;
- i beneficiari delle convenienze: gli imprenditori o i finanziatori dei progetti nel privato, tutta la collettività nel pubblico;

Data la diversa natura delle tipologie di investimento pubblico e privato è naturale che le tecniche di valutazione devono necessariamente essere differenti; ad esempio non è possibile valutare la bontà di un investimento pubblico attraverso un'analisi costi-ricavi, il quale obiettivo è quello di misurare la redditività monetaria di un investimento dal punto di vista privato. La tecnica necessaria dunque per misurare le convenienze pubbliche dal punto di vista della collettività è l'analisi costi-benefici. In questo capitolo si andranno ad analizzare le caratteristiche e i risultati di tale analisi.

1.1 Definizione

In letteratura le definizioni di analisi costi-benefici (ACB) sono molteplici, e sostanzialmente rimarcano il concetto che tale analisi sia uno strumento utilizzato per misurare i benefici della collettività. "In linea di principio, l'analisi costi benefici costituisce un complesso di regole destinate a guidare le scelte pubbliche tra ipotesi alternative di investimento."[1] Da un punto di vista tecnico l'ACB è un'analisi monetaria, basata sulla tecnica dei flussi di cassa attualizzati, utilizza per misurare la sostenibilità finanziaria ed economico-sociale di un investimento dal punto di vista della collettività. Generalmente è un'analisi svolta *ex-ante*, finalizzata ad allocare risolse ad un determinato intervento, anche se viene spesso svolta *ex-post* andando a definire la sostenibilità o l'insostenibilità dello stesso.

[1] F. NUTI, *L'analisi costi-benefici*, Il Mulino, Bologna 1987.

1.2 Premessa storica

Fino alla fine del XIX secolo i casi di interventi pubblici di concentravano sostanzialmente sulla realizzazione di beni o servizi non rivali e non esclusivi come interventi relativi alla giustizia o alla difesa nazionale; con la crescita della consapevolezza dell'effetto positivo che gli interventi pubblici potevano avere sulla collettività, gli investimenti dello stato si sono sempre più diffusi, soprattutto in ambito infrastrutturale e quindi per migliorare il welfare del paese.

La prima trattazione analitica completa sul perché e come si effettua una valutazione di un progetto risale al 1844 presso la Grande Ecole de Ponts et Chaussées, una delle scuole per la Pubblica Amministrazione operanti in Francia e la maggiore scuola di formazione di ingegneri civili. L'ingegnere-economista Jules Dupuit nella pubblicazione dal titolo "On the Measurement of the Utility of Public Work" delinea in modo chiaro e molto rigoroso quelli che possiamo chiamare gli elementi di base dell'analisi costi-benefici;[2] anche se tradizionalmente si fa coincidere l'origine dell'ACB con l'emanazione negli Stati Uniti d'America del Flood Control Act del 1939, legge relativa al controllo delle piene dei fiumi, che stabilisce per la prima volta che lo Stato avrebbe finanziato un progetto solo se i benefici portati alla collettività superavano i costi relativi alla sua realizzazione; per omologare le procedure di valutazione vengono pubblicate, a partire dal 1950, dalla *US Federal Inter-Agency River Basin Committee*, le *Proposed Practices for Economic Analysis of River Basin Projects*, meglio note come *Green Book*, considerato il primo vero manuale operativo di ACB. È a partire dagli anni '50 del Novecento infatti che il quadro teorico della ACB viene definito all'interno dell'economia del benessere neoclassica, dove di particolare rilevanza risultano le pubblicazioni di Eckstein e McKean (1958); si arriva fino alla fine degli anni '60 dove nel mondo anglosassone (USA, Canada, UK) viene istituzionalizzata la necessità di una ACB per la valutazione *ex-ante* di politiche e progetti di investimento. È poi negli anni '70 e '80 che troviamo le principali pubblicazioni di manuali sull' ACB, anche in Europa e in Italia, e tale analisi si conferma dei metodi più usati da tutti gli organismi internazionali per la valutazione degli investimenti.

[2] S. TONIN *et al.*, *Life 12 / BIO / IT / 000556. Azione D2 Analisi Costi-Benefici. Report on CBA evaluation*, 2016.

1.3 Metodologia

Capito lo scopo e l'obiettivo per il quale viene perseguita la via dell'ACB è bene analizzare qual è la metodologia che porta alla realizzazione di questa analisi.

Le fasi procedurali di un'ACB si possono distinguere in 5 semplici fasi:

1. inquadramento generale, dove viene analizzato l'investimento, viene definito un orizzonte temporale e viene effettuata un'accurata localizzazione dello stesso;
2. individuazione degli effetti dell'intervento, dove si individuano i soggetti portatori di interesse;
3. analisi domanda – offerta relativa all'investimento;
4. analisi monetarie dove ci sarà la quantificazione dei costi e dei benefici, con una successiva attualizzazione dei valori;
5. valutazione della convenienza economica dell'investimento analizzando i risultati.

Si è parlato fino ad ora di costi e di benefici ma non si è mai entrati nel dettaglio ad analizzare il significato e l'accezione di questi termini. Per costi si intendono tutti quei valori monetari che nell'analisi di flusso di cassa hanno un segno negativo e quindi che comportano una perdita di capitale, mentre per benefici si intendono tutti quei valori monetari che nell'analisi di flusso di cassa hanno un valore positivo e quindi che comportano un'acquisizione di ricchezza. Sia per gli uni che per gli altri è bene sottolineare che al loro interno convogliano due accezioni separate:

- quella relativa ai costi e ai benefici diretti, ovvero quelli che competono esclusivamente al soggetto che realizza e gestisce l'opera;
- quella relativa ai costi e ai benefici indiretti[3], ovvero quelli che competono a soggetti diversi da quello che realizza e gestisce l'opera (come la collettività).

Una caratteristica fondamentale dell'ACB, è la necessità di monetizzare, ovvero di tradurre in un valore monetario, tutti questi costi e benefici, sia diretti che indiretti, con le relative difficoltà che comporta. La valutazione delle esternalità, ovvero i costi indiretti (esternalità negative) e i benefici indiretti (esternalità positive), di un investimento, è forse uno dei punti più critici per questo tipo di analisi, che a volte

[3] La differenza nel definire una acquisizione di ricchezza ricavo piuttosto che beneficio risiede proprio nel fatto che con il termine ricavo non sono contemplati tutti quegli effetti positivi indiretti.

porta anche a dover considerare i costi e i benefici intangibili, così definiti in quanto non valutabili, almeno direttamente, in forma monetaria.

Tabella 1-1: Esempio costi e benefici diretti ed indiretti in un investimento per la realizzazione di una infrastruttura stradale a percorrenza veloce

COSTI		BENEFICI	
Diretti es. Costo di costruzione derivante dalla realizzazione dell'opera	**Indiretti** es. Aumento inquinamento derivante dal maggior traffico veicolare che si produrrà	**Diretti** es. Ricavi di gestione derivanti dal pagamento degli utenti utilizzatori	**Indiretti** es. Riduzione tempi di percorrenza per spostamento degli utenti per una determinata tratta

L'individuazione dei costi e dei benefici appena descritti necessita dunque di analisi che se pur correlate tra loro sono indipendenti per obiettivi e risultati, esse si possono principalmente distinguere in due dimensioni: quello finanziario e quello economico-sociale. Nei paragrafi seguenti andremo ad analizzare queste due tipologie differenti.

1.3.1 Analisi finanziaria

L'analisi finanziaria è quella che va a considerare tutti gli effetti monetari diretti, ovvero quelli rilevanti per i soggetti direttamente interessati alla realizzazione; in questa fase vengono individuati dunque i costi ed i benefici diretti. Questa parte dell'ACB è infatti quella più simile alle valutazioni degli investimenti a sfondo privato, perché non entrano in gioco considerazioni economico-sociali di alcun genere. In questa fase è estremamente importante individuare nella maniera più accurata possibile i costi da sostenere per realizzare l'opera in esame; è in questa fase che oltre ai costi di investimento, come i costi di costruzione e le spese tecniche, e ai costi di esercizio, si definiscono le risorse finanziarie da utilizzare. L'analisi finanziaria rappresenta il primo step necessario per la valutazione della fattibilità di un progetto, valutando la sostenibilità finanziaria si verifica se i flussi in entrata, opportunamente attualizzati, riescono a coprire tutti i costi finanziari dell'investimento. In questo caso l'obiettivo è quello di verificare le condizioni di equilibrio finanziario durante il ciclo di vita del progetto. Questo tipo di analisi impiega gli strumenti tipici della contabilità aziendale quali lo stato patrimoniale il conto economico.

L'analisi finanziaria può essere riassunta e schematizzata, come illustrato nelle linee guida europee, con la valutazione dei seguenti punti:

A. Costi totali di investimento (total investment costs): registrano le uscite di cassa connesse alla realizzazione dell'investimento e alle opere di manutenzione non ordinaria come:
   - investimenti fissi (*fixed investment*): costo di costruzione, costo del terreno ecc.
   - costi di avviamento (*stat-up costs*): costi studi preparatori, costi spese tecniche ecc.

Tabella 1-2: Esempio prospetto costi totali di investimento[4]

		Years						
	Total	1	2	3	4-9	10	11-29	30
Start-up and technical costs		6,980		1,816				
Land		1,485	757					
Buildings			37,342	17,801				
Equipment			11,355	23,273				
Machinery			25,722					
Initial Investment	**126,531**	**8,465**	**75,176**	**42,890**				
Replacement costs						11,890	9,760	
Residual value								-4,265
Total Investment costs	**152,655**	**8,465**	**75,176**	**42,890**		**11,890**	**9,760**	**-4,265**

These can include also costs, e.g. for feasibility studies, borne before the start of the evaluation period, although not eligible for EU funding.

In the example, expenditures of EUR 11.9 and 9.8 million are expected in year 10 and 20, respectively, to replace short life equipment and machinery.

The residual value is considered with negative sign because it is an inflow.

B. Costi operativi e ricavi totali (*total operating costs and revenues*) distinti in:
   - costi operativi (operating costs): esborsi relativi ad acquisti di beni non di investimento (consumati entro il periodo contabile):
     - costi diretti di produzione (direct production costs): consumo di materiali e servizi, costi per il personale, ecc.
     - spese amministrative e generali (administrative and general expenditures);
     - spese di vendita e distribuzione (sales and distribution expenditures).

[4] EUROPEAN COMMISSION, *Guide to Cost-benefit Analysis of Investment Projects: Economic appraisal tool for Cohesion Policy 2014-2020*, *Publications Office of the European Union*, 2014.

- ricavi (revenues) eventuali derivanti dalla vendita dei beni o servizi.
- ricavi netti (net revenues): differenza fra ricavi e costi operativi.

Tabella 1-3: Esempio prospetto costi operativi e ricavi[5]

		Years						
	Total	**1-3**	**4**	**5**	**6**	**...**	**29**	**30**
Service 1		0	11,355	11,423	11,492	...	11,979	11,979
Service 2		0	243	243	243	...	243	243
Total revenues	**407,862**	**0**	**11,598**	**11,666**	**11,735**	**...**	**12,222**	**12,222**
Personnel		0	1,685	1,685	1,685	...	1,685	1,685
Energy		0	620	623	626	...	648	648
General expenditure		0	260	260	260	...	260	260
Intermediate services		0	299	299	299	...	299	299
Raw materials		0	2,697	2,710	2,724	...	2,821	2,821
Total operating costs	**153,487**	**0**	**5,561**	**5,577**	**5,594**	**...**	**5,713**	**5,713**
Net revenues	**254,375**	**0**	**6,037**	**6,089**	**6,140**	**...**	**6,509**	**6,509**

During the construction phase no operating revenues and costs usually occur.

Personnel costs are assumed to be fixed along the reference period, while energy requirements are variable and follow the expected production growth.

C. Fonti di finanziamento (*sources of financing*): identificazione di tutte le fonti utilizzate per il finanziamento del progetto per il calcolo delle risorse finanziarie; ad esempio le principali fonti di finanziamento nei progetti co-finanziati dall'Unione Europea possono essere:
   - finanziamento UE (EU grant);
   - finanziamento pubblico nazionale (national public contribution);
   - capitale privato nazionale (Es. capitale di rischio privato nel caso di partenariato pubblico privato (Public Private Partnership, PPP);
   - altre risorse. (Es. prestiti da privati o dalla European Investment Bank, EIB).

[5] Ibid.

Tabella 1-4: Esempio risorse di finanziamento[6]

		Years						
	Total	1	2	3	4	5	6	7-30
Union assistance	47,054	3,148	27,956	15,950	-	-	-	-
Public contribution	47,054	3,148	27,956	15,950	-	-	-	-
Private equity	16,212	1,085	9,632	5,495	-	-	-	-
Private loan	16,212	1,085	9,632	5,495	-	-	-	-
Total resources	**126,531**	**8,465**	**75,176**	**42,890**	**0**	**0**	**0**	**0**

The Union assistance is calculated in line with the provisions of Art. 61 of Reg. 1303/2012 and by applying a 50 % maximum co-financing rate of the priority axis.

In the example, the private financing is given by 50 % equity and 50 % loan.

The total sources of financing should always match the initial investment cost.

D. Rendimento finanziario sul costo dell'investimento (*financial return on investment cost*) & rendimento finanziario sul capitale nazionale (*financial return on the national capital*): gli indici di rendimento netto utilizzati, che vengono calcolati sulla base dei flussi di cassa attesi per valutare la sostenibilità finanziaria di un investimento, sono principalmente:
   - il Valore Attuale Netto (VAN[7]) finanziario (Financial Net Present Value, FNPV),
   - il Tasso Interno di Rendimento (TIR[8]) finanziario (Financial Internal Rate of Return, FRR).

[6] Ibid.

[7] Il VAN rappresenta la sommatoria attualizzata dei flussi monetari di cassa; esprime l'incremento di ricchezza, valutato al momento iniziale, che si realizza grazie all'investimento. Analiticamente viene espresso come:

$$VAN = \sum_{t=0}^{n} \frac{F_t}{(1+i)^t}$$

Dove:

- n: numero dei periodi considerati;
- t: periodo di riferimento;
- F_t: Flussi di cassa nel periodo t;
- i: tasso di attualizzazione.

[8] Il TIR rappresenta quel saggio di interesse determinato dal rendimento del capitale investito; esprime il tasso che annulla il VAN, ovvero che rende equivalenti i flussi di cassa positivi e negativi di un investimento. Analiticamente viene espresso come:

$$TIR = \sum_{t=0}^{n} \frac{F_t}{(1+i)^t} = 0$$

Questi indicatori danno una misura del rendimento che, per gli investimenti pubblici può essere espressa in termini di costo dell'investimento (FNPV(C) e FRR(C)) o in termini di capitale nazionale (FNPV(K) e FRR(K)).

Tabella 1-5: Esempio prospetto rendimento finanziario del capitale nazionale[9]

	Years							
	1	2	3	4	5-9	10	11-29	30
Total revenues				11,598	...	12,011	...	12,222
Residual value								4,265
Total inflows	**0**	**0**	**0**	**11,598**	**...**	**12,011**	**...**	**16,487**
Public contribution	3,148	27,956	15,950					
Private equity	1,085	9,632	5,495					
Loan repayment (including interest)					1,789	1,789	1,789	
Total operating & replacement costs				5,561	...	17,552	...	5,713
Total outflows	**4,233**	**37,588**	**21,445**	**5,561**	**...**	**19,341**	**...**	**5,713**
Net cash flow	**-4,233**	**-37,588**	**-21,445**	**6,037**	**...**	**-7,329**	**...**	**10,774**
FNPV(K)	**11,198**							
FRR(K)	**5.4 %**							

The loan is here an outflow and is only included when reimbursed. In this example, it is assumed to be paid back in ten constant payments starting in year 5.

In this example, replacement costs are self-financed with the project revenues. Accordingly, they are treated as operating costs.

E. Sostenibilità finanziaria (*financial sustainability*): il progetto è considerato finanziariamente sostenibile quando i flussi di cassa netti cumulati sono positivi in tutti i periodi considerati.

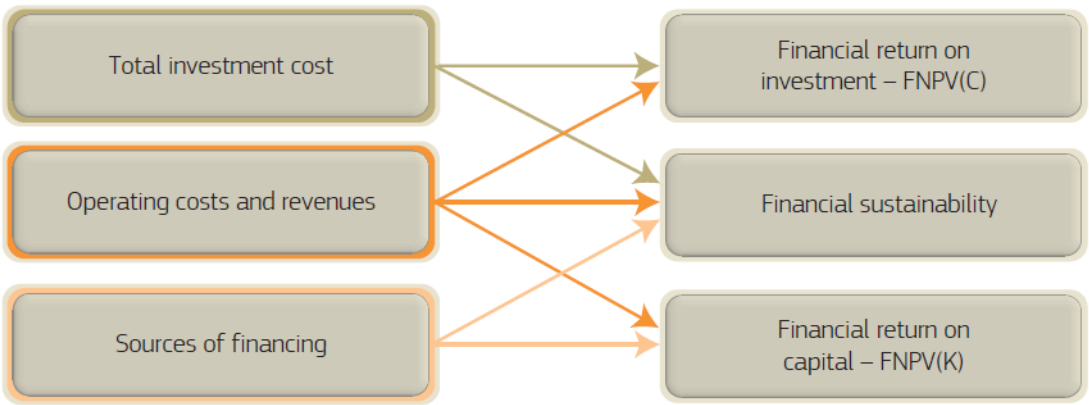


Figura 1-1: Schema riassuntivo analisi finanziaria:[10]

[9] EUROPEAN COMMISSION, *Guide to Cost-benefit Analysis of Investment Projects: Economic appraisal tool for Cohesion Policy 2014-2020*, cit.
[10] Ibid.

Un altro aspetto di fondamentale importanza è la definizione dell'orizzonte temporale degli investimenti (*reference period*), in quanto determina lo svolgimento dell'analisi stessa; esso può variare considerevolmente dal tipo di intervento che si considera.

Tabella 1-6: Esempi orizzonti temporali per settore di investimento[11]

Sector	Reference period (years)
Railways	30
Roads	25-30
Ports and airports	25
Urban transport	25-30
Water supply/sanitation	30
Waste management	25-30
Energy	15-25
Broadband	15-20
Research and Innovation	15-25
Business infrastructure	10-15
Other sectors	10-15

Inoltre al termine della durata temporale considerata, all'opera realizzata con l'investimento può ancora essere attribuito un valore residuo (*residual value*) che in generale viene valutato come costo di costruzione deprezzato.

1.3.2 Analisi economico-sociale

L'analisi economico-sociale è sostanzialmente differente in quanto cambia il punto di vista dell'analista, l'analisi sarà effettuata dal punto di vista della collettività. Cambia essenzialmente l'obiettivo, in quanto in questo caso si vogliono determinare il valore di tutte le esternalità, positive o negative, che genera un investimento. In questa fase vengono individuati dunque i costi ed i benefici indiretti, andando a valutare la convenienza economica per la collettività; è forse la fase che si può ritenere più critica in quanto c'è la necessità di avvalersi di complessi modelli di valutazione, per riuscire a monetizzare i costi e i benefici indiretti; queste tecniche non sempre sono convenzionali, e spesso possono far riferimento a dei sistemi di prezzi differenti che da quelli di mercato; per questi motivi è necessario che l'analista descriva in modo chiaro e condivisibile le metodologie adottate per effettuare le valutazioni. (Si

[11] Ibid.

approfondiranno le questioni relative al sistema dei prezzi e alle tecniche per la quantificazione monetaria di costi e benefici indiretti nel paragrafo seguente.)

L'analisi economica è la fase che più di altre può essere oggetto di critiche, fondamentalmente perché anche se l'analista effettua ogni studio in maniera oggettiva, le considerazioni che vengono fatte possono essere impugnate politicamente in quanto un orientamento piuttosto che un altro può dare diversa importanza a temi differenti. Tuttavia c'è da sottolineare che in ogni caso, una buona analisi con saldi fondamenti teorici e chiari riferimenti, da un punto di vista tecnico dovrebbe essere inoppugnabile. Una volta conclusa l'analisi economica è possibile valutare la bontà dell'investimento calcolando gli indici di performance economica, che possono essere strettamente legati alla valutazione economica-sociale o in generale a tutta l'ACB, giudicando nel complesso l'investimento; questi possono essere:

- VAN economico (Economic Net Present Value, ENPV);
- TIR economico (Economic Rate of Return, ERR);
- Rapporto Benefici Costi Attualizzati (RBCA) (Benefit/Cost ratio), semplicemente il rapporto tra la sommatoria attualizzata dei benefici e la sommatoria attualizzata dei costi;
- Tempo di ritorno dell'investimento (Pay Back Period, PBP): è l'indicatore che consente di individuare il numero di periodi necessari affinché i flussi netti positivi generati dall'investimento uguaglino il flusso negativo iniziale.

1.3.2.1 Sistema dei prezzi e tecniche di quantificazione

Nel procedere alla realizzazione dell'analisi economica e quindi in particolare nella valutazione di tutti quegli effetti indiretti che genera un intervento dal punto di vista della collettività, non ci si è ancora posti il problema di come affrontare la questione dei prezzi di riferimento, perché è evidente che il sistema dei prezzi di mercato, per questo tipo di analisi, non sempre può essere adatto. Inoltre si è accennato alla necessità di dotarsi di diverse tecniche per stimare il valore monetario di questi beni, ma non si è ancora scesi nel dettaglio di quali siano queste tecniche di quantificazione monetaria differenti. È doveroso dunque dare uno scenario sintetico di questi elementi.

- Sistema dei prezzi ombra: "prezzi di mercato corretti e associati a beni e servizi che non hanno prezzi di mercato, o per i quali tale prezzo non ne rispecchia in modo soddisfacente il valore intrinseco"[12];
- Sistema dei prezzi di trasferimento: sistema dei prezzi che consiste nel depurare i prezzi di mercato dai costi relativi alle entrate verso lo stato, considera i prezzi al netto della tassazione e della contribuzione;
- Disponibilità a pagare (DAP): tecnica utilizzata per stimare un prezzo teorico che dipende dalle preferenze del consumatore che attribuisce un valore soggettivo ad un determinato bene o servizio; per stimare tali prezzi possono essere utilizzate diverse metodologie, tra le più importanti ci sono il metodo della valutazione della contingenza (*Contingent Valutation Method, CVM*), che rileva le preferenza attraverso indagini campionarie, il metodo dei prezzi edonici, che stima la differenza tra il valore di mercato di beni o servizi con il valore che assumerebbe in presenza o in assenza di una determinata condizione che ne farebbe aumentare o diminuire il valore, o il metodo dei costi di viaggio, che stima il valore in base alla disponibilità degli utenti di raggiungere e utilizzare il bene.

[12] G. CATALANO, S. LOMBARDO, *L'analisi costi-benefici nelle opere pubbliche ed elementi di analisi multicriteri*, Dario Flaccovio Editore, Palermo 1995.

1.4 ACB in Italia e all'estero

Come già accennato l'ACB è normalmente uno strumento da utilizzare ex-ante alla realizzazione di un intervento; il suo obiettivo generale, infatti, è quello di orientare le scelte di investimento, in modo da definire una sorta di graduatoria che permetta di identificare i progetti di investimento sui quale puntare per portare i massimi benefici alla collettività; tuttavia spesso viene anche utilizzata ex-post ovvero quando l'opera è già realizzata e ne si vuole dimostrare l'insostenibilità piuttosto che la sostenibilità, sotto i diversi punti di vista già analizzati. In Italia la tendenza, purtroppo, è quella appena descritta, in questo modo vengono perse tutte le effettive potenzialità dell'analisi costi-benefici, che diventa spesso uno strumento per analizzare dei problemi esistenti. Nel caso di questo studio l'ACB diventa proprio uno strumento di questo genere, andando ad analizzare un'opera infrastrutturale che, come vedremo, forse meglio rappresenta i grossi investimenti fatti dalle amministrazioni competenti ad ogni scala.

Se in Italia la tendenza è quella appena descritta, sia a livello Europeo che a livello internazionale le cose cambiano. In Europa il Directorate General Regional Policy della Commissione Europea pubblica Guide to Cost-Benet Analysis of Investment Projects, la cui ultima versione è relativa al periodo 2014-2020, e con obiettivo principale quello di fornire un quadro di riferimento e delle linee guida per la valutazione dei progetti nell'ambito della EU Cohesion Policy cofinanziati. L'ACB è indicata come principale strumento di valutazione ex-ante dei progetti di investimento, e diventa obbligatoria nel caso di:

- progetti di investimento con budget superiore a 50 milioni di euro;
- progetti ambientali con budget superiore a 25 milioni di euro;
- progetti assistiti IPA con budget superiore a 10 milioni di euro.

È fondamentale quindi in un'ottica internazionale capire le metodologie alla base di queste analisi, soprattutto per opere di un'importanza strategica rilevante come le infrastrutture.

Capitolo 2

LE INFRASTRUTTURE STRADALI

Le infrastrutture di trasporto rappresentano un elemento fondamentale per la valutazione dello stato di sviluppo e di modernità di una nazione: lo stato dell'impianto infrastrutturale non solo rispecchia la salubrità economica di un paese, ma ne condiziona anche il sistema sociale a cui è strettamente legato.

Per questi motivi è indispensabile monitorare e valutare costantemente lo stato delle infrastrutture di trasporto, non solo sotto il punto di vista, assolutamente indispensabile, della sicurezza strutturale, ma anche dal punto di vista delle relazioni economico-sociali che produce. La sostenibilità economico-sociale di un impianto infrastrutturale, dal più piccolo al più grande, è di fondamentale importanza per la collettività.

La concezione di infrastruttura di trasporto è molto ampia, essa è costituita da qualsiasi tipo di impianto, legato al trasporto, che compone una rete su cui, in senso lato, viaggiano gli utenti[13] del sistema.

Si distinguono dunque le reti del sistema trasportistico a seconda dell'uso che gli utenti del sistema ne faranno; si parla di reti definite come linee o infrastrutture lineari nel caso in cui vengano usate dagli utenti per viaggiare[14], mentre si parla di terminali o infrastrutture puntuali nel caso in cui vengano usate come origine o destinazione del viaggio stesso. Faranno dunque parte delle reti del primo tipo le infrastrutture stradali, quelle ferroviarie, le vie di navigazione, e gli oleodotti, mentre del secondo gli aeroporti, le stazioni ferroviarie, le stazioni degli autobus, gli autoporti merci e i porti fluviali e marittimi.

In questo capitolo si vogliono dare le basi per comprendere in maniera semplice i termini, le definizioni e le caratteristiche, delle infrastrutture stradali, proprie della tecnica dei trasporti, per successivamente indagare gli impatti legate alle stesse.

[13] Con il termine utenti, in questo caso, non si vuole solo intendere persone fisiche, ma anche qualsiasi entità, come ad esempio merci, che usufruiscono della rete.

[14] Con il termine viaggio si vuole intendere il trasferimento in generale degli utenti.

2.1 Caratteristiche delle infrastrutture stradali

La tecnica dei trasporti è la disciplina che analizza le iterazioni tra i mezzi circolanti e le strutture viarie di una rete di trasporto; tali analisi necessitano delle definizioni delle caratteristiche principali e dei componenti dei veicoli e delle infrastrutture di trasporto stesse che compongono il sistema[15].

Le componenti di un sistema di trasporto stradale si possono così distinguere:

- Veicoli: qualsiasi tipo di mezzo meccanico adibito al trasporto di persone, animali o cose, circolante su strada. Ai fini delle valutazioni che verranno fatte nel testo la distinzione dei tipi di veicoli adottata è la stessa dell'*Handbook on the external costs of transport* [16]:
    - Autoveicoli: veicoli per il trasporto di persone su 4 ruote (*Passenger Car*);
    - Motoveicoli: veicoli per il trasporto di persone su 2 ruote (*Motorcycle*);
    - Autobus: veicoli per il trasporto di gruppi di persone su medio-corta distanza (spostamenti urbani e metropolitani) (*Bus*);
    - Pullman: veicoli per il trasporto esclusivamente di gruppi di persone su lunga distanza (*Coach*);
    - Veicoli commerciali leggeri (LCV): veicoli commerciali per il trasporto di merci e/o persone con massa massima[17] inferiore a 3,5t (*Light commercial vehicle – LCV*);
    - Autocarro (HGV): automezzo pesante per il trasporto di merci con massa massima superiore a 3,5t (*Heavy goods vehicle – HGV*).
- Infrastrutture stradali: complesso di impianti ed installazioni necessari per la circolazione dei veicoli, ovvero l'insieme di strade e il complesso di opere che consentono il movimento di passeggeri e il trasferimento di merci.
- Sistemi di gestione e controllo: complesso di impianti ed installazioni necessari per la gestione e il controllo della circolazione dei veicoli, come ad esempio gli impianti semaforici.
- Utenti: l'insieme di chi usufruisce della rete di infrastruttura di trasporto.

[15] Nella trattazione tutte le definizioni faranno riferimento solamente ai sistemi di trasporto stradali, pertanto esse non vanno considerate come definizioni "assolute", ovvero complete e sempre valide.
[16] EUROPEAN COMMISSION, *Handbook on the external costs of transport: Version 2019*, 2019.
[17] Massa a pieno carico, definita anche come peso totale a terra.

- Ambiente esterno: l'insieme di tutti gli elementi (compresi quelli ambientali) che sono in stretto contatto con il sistema, dagli edifici a qualsiasi installazione del territorio.

Dunque l'elemento principale che caratterizza le infrastrutture stradali è la strada, definita come "l'area ad uso pubblico destinata alla circolazione dei pedoni, dei veicoli e degli animali"[18] o ancora come "un'opera ingegneristica destinata alla circolazione di persone, animali e veicoli, ove la mobilità (spostamento di passeggeri e merci), in condizioni di sicurezza, efficienza ed economicità, è garantita da un insieme di componenti fisiche (per esempio carreggiate, marciapiedi, scarpate, accessi ecc.) opportunamente proporzionate".

2.1.1 Classificazione delle strade

Le strade possono essere sottoposte a diversi tipi di classificazioni a seconda delle analisi che si stanno svolgendo. Nel nostro caso è utile elencare in queste righe le principali classificazioni che saranno utili per una migliore comprensione del testo.
Una prima classificazione è di tipo tecnico, individuata dal Codice della Strada[19], e consiste in una distinzione in base alle caratteristiche costruttive, tecniche e funzionali.
I tipi di strade sono i seguenti:

- A - Autostrada: strada extraurbana o urbana a carreggiate indipendenti o separate da spartitraffico invalicabile, ciascuna con almeno due corsie di marcia, eventuale banchina pavimentata a sinistra e corsia di emergenza o banchina pavimentata a destra, priva di intersezioni a raso e di accessi privati, dotata di recinzione e di sistemi di assistenza all'utente lungo l'intero tracciato, riservata alla circolazione di talune categorie di veicoli a motore e contraddistinta da appositi segnali di inizio e fine. Deve essere attrezzata con apposite aree di servizio ed aree di parcheggio, entrambe con accessi dotati di corsie di decelerazione e di accelerazione.
- B - Strada extraurbana principale: strada a carreggiate indipendenti o separate da spartitraffico invalicabile, ciascuna con almeno due corsie di marcia e banchina pavimentata a destra, priva di intersezioni a raso, con accessi alle

[18] Art. 2 comma 1, *D.lgs n. 285 30 aprile 1992*.
[19] Art. 2 comma 2-3, *D.lgs n. 285 30 aprile 1992*.

proprietà laterali coordinati, contraddistinta dagli appositi segnali di inizio e fine, riservata alla circolazione di talune categorie di veicoli a motore; per eventuali altre categorie di utenti devono essere previsti opportuni spazi. Deve essere attrezzata con apposite aree di servizio, che comprendano spazi per la sosta, con accessi dotati di corsie di decelerazione e di accelerazione.

- C - Strada extraurbana secondaria: strada ad unica carreggiata con almeno una corsia per senso di marcia e banchine.
- D - Strada urbana di scorrimento: strada a carreggiate indipendenti o separate da spartitraffico, ciascuna con almeno due corsie di marcia, ed una eventuale corsia riservata ai mezzi pubblici, banchina pavimentata a destra e marciapiedi, con le eventuali intersezioni a raso semaforizzate; per la sosta sono previste apposite aree o fasce laterali esterne alla carreggiata, entrambe con immissioni ed uscite concentrate.
- E - Strada urbana di quartiere: strada ad unica carreggiata con almeno due corsie, banchine pavimentate e marciapiedi; per la sosta sono previste aree attrezzate con apposita corsia di manovra, esterna alla carreggiata.
- F - Strada locale: strada urbana od extraurbana opportunamente sistemata ai fini di cui al comma 1 non facente parte degli altri tipi di strade.
- F-bis. Itinerario ciclopedonale: strada locale, urbana, extraurbana o vicinale, destinata prevalentemente alla percorrenza pedonale e ciclabile e caratterizzata da una sicurezza intrinseca a tutela dell'utenza debole della strada.
- Strada di servizio: strada affiancata ad una strada principale (autostrada, strada extraurbana principale, strada urbana di scorrimento) avente la funzione di consentire la sosta ed il raggruppamento degli accessi dalle proprietà laterali alla strada principale e viceversa, nonché il movimento e le manovre dei veicoli non ammessi sulla strada principale stessa.

Un'ulteriore classificazione viene fatta, sempre nel Codice della strada[20], per le esigenze di carattere amministrativo, dove la distinzione viene concepita in base all'ente proprietario della strada, tali enti possono essere lo Stato, la regione, la

[20]Art. 2 comma 5-6, *D.lgs n. 285 30 aprile 1992*.

provincia, il comune[21]. Le categorie amministrative, di tutte le strade escluse quelle di tipo A di cui al comma 2, si distinguono in:

- A – Strade Statali (SS), quando:
    a) costituiscono le grandi direttrici del traffico nazionale;
    b) congiungono la rete viabile principale dello Stato con quelle degli Stati limitrofi;
    c) congiungono tra loro i capoluoghi di regione ovvero i capoluoghi di provincia situati in regioni diverse, ovvero costituiscono diretti ed importanti collegamenti tra strade statali;
    d) allacciano alla rete delle strade statali i porti marittimi, gli aeroporti, i centri di particolare importanza industriale, turistica e climatica;
    e) servono traffici interregionali o presentano particolare interesse per l'economia di vaste zone del territorio nazionale.
- B – Strade Regionali (SR), quando allacciano i capoluoghi di provincia della stessa regione tra loro o con il capoluogo di regione ovvero allacciano i capoluoghi di provincia o i comuni con la rete statale se ciò sia particolarmente rilevante per ragioni di carattere industriale, commerciale, agricolo, turistico e climatico.
- C – Strade Provinciali (SP), quando allacciano al capoluogo di provincia capoluoghi dei singoli comuni della rispettiva provincia o più capoluoghi di comuni tra loro ovvero quando allacciano alla rete statale o regionale i capoluoghi di comune, se ciò sia particolarmente rilevante per ragioni di carattere industriale, commerciale, agricolo, turistico e climatico.
- D – Strade Comunali, quando congiungono il capoluogo del comune con le sue frazioni o le frazioni fra loro, ovvero congiungono il capoluogo con la stazione ferroviaria, tranviaria o automobilistica, con un aeroporto o porto marittimo, lacuale o fluviale, con interporti o nodi di scambio intermodale o con le località che sono sede di essenziali servizi interessanti la collettività comunale.

[21] Per le strade destinate esclusivamente al traffico militare e denominate "strade militari", l'ente proprietario è considerato il comando della regione militare territoriale.

2.1.2 Circolazione veicolare

Le principali caratteristiche che determinano, anche in fase di progettazione, la struttura e quindi la conformazione di un'infrastruttura stradale sono la natura, il tipo e l'intensità del traffico veicolare. È fondamentale dunque comprende le relazioni che intercorrono tra i veicoli e l'infrastruttura stessa andando ad analizzare le principali caratteristiche della circolazione veicolare.
I parametri fondamentali che caratterizzano la circolazione e l'interazione tra i veicoli nel trasporto stradale sono il flusso, la velocità e la densità veicolare.

Il flusso veicolare (q) è definito come il rapporto tra il numero di veicoli n che transitano attraverso una sezione stradale in un intervallo di tempo t:

$$q = \frac{n}{t}$$

Spesso nella nostra trattazione troveremo q espresso in n° veicoli all'ora (t=[h]).
È importante sottolineare che la quantità q risulta caratterizzata da ricorrenza e regolarità e che dunque vengono applicate spesse volte le leggi della scienza statistica per studiare il flusso veicolare.
In relazione al flusso veicolare si possono definire altre variabili che incontreremo nella trattazione:

- la capacità, ovvero il numero massimo di veicoli che possono attraversare una sezione stradale nell'unità di tempo;
- il Traffico Giornaliero Medio (TGM), ovvero il valore del flusso veicolare medio in una determinata sezione stradale nell'arco di 24 ore.

La velocità veicolare *v* rappresenta la velocità assunta dai veicoli presenti in un tronco stradale, essa sarà intesa nella trattazione secondo queste modalità:

- la velocità istantanea *V*, in una generica sezione, è il rapporto fra lo spazio percorso da un singolo veicolo un intervallo di tempo [km/h];
- la velocità media *v* rappresenta la media delle velocità istantanee di n veicoli che transitano in un tronco stradale [km/h];

La densità veicolare k [ve/km] in un determinato tronco stradale è il rapporto fra il numero di veicoli contemporaneamente presenti e la lunghezza del tronco; si definisce inoltre la densità limite k_L la densità massima raggiungibile dal tronco stradale che corrisponde ad una condizione di veicoli accodati.
La relazione che lega queste tre grandezze è detta relazione fondamentale del traffico stradale:

$$q = kv$$

Sperimentalmente si può osservare che:

- per valori di k tendenti a 0 v è prossima ad un valore massimo detto velocità libera di deflusso v_0;
- per valori di k tendenti a k_L v tende a 0;
- v decresce nel tempo all'aumentare di k;

Da queste osservazioni sono stati creati dei modelli analitici in grado di descrivere queste relazioni, il più semplice è il modello di Greenshields, che suppone una relazione lineare tra v e k del tipo:

$$v = v_0\left(1 - \frac{k}{k_L}\right)$$

e in termini di flusso si ricava che:

$$q = v_0\left(k - \frac{k^2}{k_L}\right)$$

ottenendo un modello parabolico dove il flusso corrispondente ai punti di massimo delle parabole è la capacità della strada e i corrispondenti valori di densità e velocità sono detti critici (k_{CR} e v_{CR}).

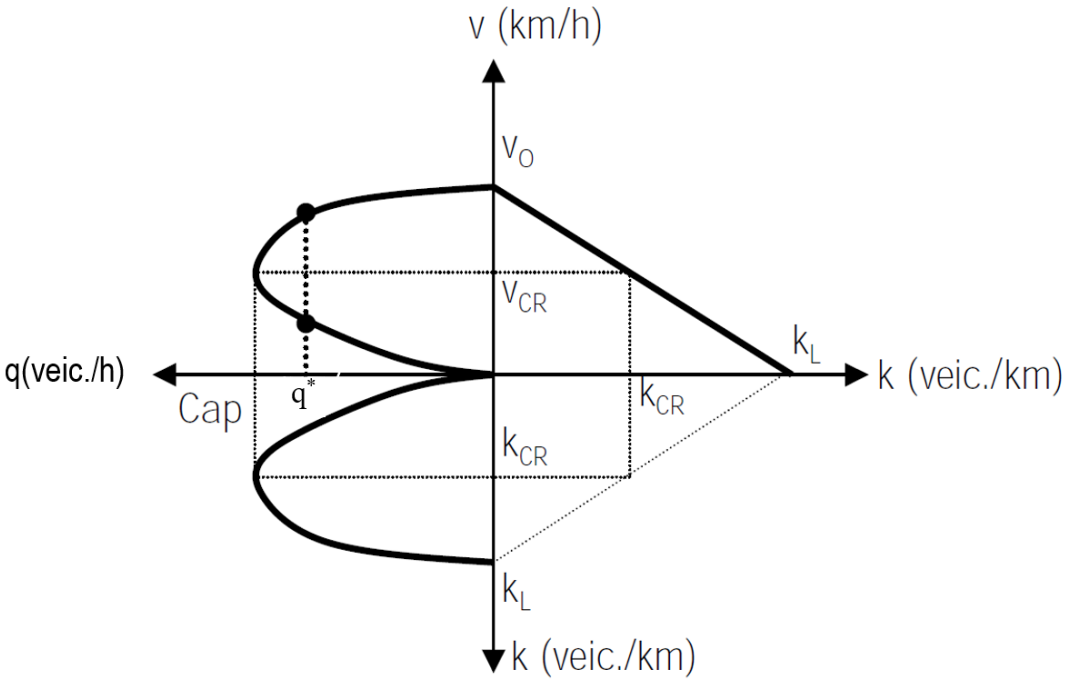


Figura 2-1: diagrama flusso-velocità e densità-velocità del modello di Greenshields

Se si esaminano i diagrammi v = v(q) e k = k(q) si nota che lo stesso flusso q* si può avere sotto due diverse condizioni:

- in corrispondenza di una velocità minore della velocità critica (densità maggiore della densità critica);
- in corrispondenza di una velocità maggiore della velocità critica (densità minore della densità critica).

I diagrammi $v = v(q)$ e $k = k(q)$ possono essere suddivisi in due rami, rappresentativi di diverse condizioni del deflusso:

- ramo stabile, per $v > v_{CR}$ $(k < k_{CR})$;
- ramo instabile, per $v < v_{CR}$ $(k > k_{CR})$.

Sul ramo stabile, un aumento di densità comporta una diminuzione della velocità, ma un aumento del flusso; viceversa, sul ramo instabile, un aumento della densità comporta una ulteriore diminuzione della velocità ed anche una diminuzione del flusso, instaurando fenomeni di *stop-and-go*.[22]

Ai fini tecnici, le procedure per le verifiche funzionali dei tronchi di strade, si fondano proprio sulle correlazioni appena descritte; per questi motivi viene introdotto il livello

[22] M. GALLO, *Appunti di: Tecnica ed Economia dei Trasporti.*, 2002.

di servizio (LdS), di uno specifico elemento d'infrastruttura, che rappresenta una misura della qualità della relativa circolazione dedotta dai caratteri del flusso che vi s'instaura.[23]

Per i tronchi stradali a flusso ininterrotto s'individuano sei livelli di servizio, contraddistinti dalle lettere dalla A alla F:

- LdS A o flusso libero: i singoli utenti non sono influenzati dalla presenza degli altri, godono della libertà di regolare la velocità a loro piacimento e di manovrare il veicolo nel modo che ritengono più opportuno; il comfort degli utenti è eccellente;
- LdS B o flusso stabile: i singoli utenti iniziano a sentire la presenza degli altri, rimane immutata la libertà di regolare la velocità, ma si affievolisce la libertà di manovra; il comfort degli utenti è buono;
- LdS C o flusso quasi stabile: si evidenzia l'inizio di significative limitazioni alle scelte dell'utente, la velocità e la manovra sono condizionate dalle iterazioni con gli altri veicoli; il livello generale di comfort è discreto;
- Lds D o flusso ad alta densità: la velocità e la libertà di manovra sono fortemente limitate anche se persiste la continuità della circolazione; il livello di comfort degli utenti è insoddisfacente;
- Lds E o flusso alla capacità: le velocità sono ridotte a valori bassi ma relativamente uniformi mentre la libertà di manovra è estremamente condizionata e non è garantita la continuità della circolazione; il livello di comfort è scadente;
- LdS F o flusso forzato: l'assoluta mancanza di libertà dell'utente nel proseguire ad una velocità accettabile e nell'effettuare manovre rende il flusso completamente instabile e quindi intermittente (arresti prolungati e ripartenze); il comfort è pessimo.

[23] F. A. SANTAGATA, *Strade - Teoria e tecnica delle costruzioni stradali*, Pearson Italia, Lavis (TN) 2016.

2.2 Gli impatti delle infrastrutture

Ai fini di un'analisi complessiva di un'infrastruttura è necessario identificare gli impatti che la stessa genera e nei confronti di chi o cosa avranno degli effetti. Per questo motivo è bene distinguere tra due principali tipologie di impatti:

- gli **impatti interni**, ovvero quelli che hanno degli effetti sugli utenti diretti dell'infrastruttura ed eventualmente sui gestori della stessa;
- gli **impatti esterni**, ovvero quelli che generano degli effetti, in generale, sulla collettività (quindi sugli utenti indiretti di un'infrastruttura piuttosto che sull'ambiente e il territorio).

Parlare di impatti di un'infrastruttura significa nientemeno riferirsi alle esternalità descritte nel capitolo precedente, ovvero all'insieme degli effetti, connessi a un'infrastruttura, quantificati e monetizzati, che possono essere positivi oppure negativi. È importante dunque descrivere e distinguere questi impatti.

Secondo quanto descritto precedentemente, il livello di servizio determina uno stato di comfort degli utenti, dipendente dalla qualità della circolazione lungo l'infrastruttura stradale. In questo caso il comfort o discomfort che si creano sono riferiti agli utilizzatori diretti della strada, andando a definire un impatto interno. Questo tipo di impatto genera degli effetti relativi alla congestione stradale[24], in quanto, ad esempio, vanno ad influire sui tempi di spostamento. Tuttavia la stessa congestione stradale può avere effetti anche sugli agli utenti indiretti del sistema, e quindi essere considerata come un impatto esterno. Un altro impatto che può essere considerato sia interno che esterno è quello relativo alla incidentalità, ovvero agli effetti in termini di morti e feriti che gli incidenti provocano in una determinata infrastruttura stradale.

Per quanto riguarda gli impatti esterni si fa inoltre riferimento generalmente agli impatti ambientali che comprendono, principalmente, l'inquinamento acustico, l'inquinamento atmosferico (con una distinzione per quanto riguarda i gas che concorrono al riscaldamento globale relativi all'effetto serra) e gli effetti sul paesaggio che determinano l'impatto paesaggistico.

[24] Vedi § 2.2.1 Congestione stradale

Tabella 2-1: Schema riassuntivo principali impatti di un'infrastruttura stradale

Impatti interni	• Congestione stradale • Incidentalità
Impatti esterni	• Congestione stradale • Incidentalità • Impatti ambientali: - Inquinamento acustico - Inquinamento atmosferico - Emissioni gas serra - Impatto paesaggistico

In questo contesto si vogliono descrivere i principali impatti che andranno successivamente a determinare la valutazione delle esternalità nell'analisi costi benefici.

2.2.1 Congestione stradale

In letteratura esistono diverse definizioni per la congestione stradale, in generale, essa si può definire come l'intralcio che i veicoli recano l'uno sull'altro, in condizioni in cui il flusso di traffico si avvicina alla capacità massima della rete.

Per congestione stradale si intende dunque quella condizione, legata al traffico, che porta i veicoli che percorrono un tragitto, ad accumulare un ritardo nel loro viaggio; ovvero si avrà un costo relativo alla congestione stradale quando la velocità del flusso dei veicoli in transito diminuisce, fino ad azzerarsi, andando ad aumentare il tempo di percorrenza.

Come intuibile dalla definizione, per la valutazione di questo tipo di esternalità è fondamentale la relazione tra velocità dei veicoli e flusso di traffico descritta in precedenza; fino a quando il flusso è significativamente inferiore alla capacità della rete i veicoli viaggiano con una velocità indipendente dal flusso stesso, all'aumentare del flusso la velocità diminuisce, e di conseguenza aumenta il tempo di percorrenza della rete.

2.2.2 Inquinamento atmosferico

2.2.2.1 Generalità

L'inquinamento atmosferico può essere definito come la presenza in atmosfera di sostanze che, nella naturale composizione dell'aria, non sono presenti o sono presenti ad un livello di concentrazione tale da non produrre un effetto dannoso sull'uomo. L'atmosfera terrestre costituisce un sistema dinamico le cui caratteristiche chimiche e fisiche sono in continua trasformazione. Attualmente l'atmosfera terrestre è composta prevalentemente da azoto molecolare (N_2) al 78% e ossigeno molecolare (O_2) al 21%, oltre che argon al 0,9% e altri gas come l'anidride carbonica, il vapore acqueo e l'ozono in quantità esigue pari al 0,012%. Nell'ambito dei processi dinamici che avvengono nell'atmosfera può accadere che la sua composizione sia perturbata dalla presenza di sostanze che non fanno normalmente parte dei suoi componenti. Si parla di sostanze contaminanti quando, per cause naturali o antropiche, si verifica una sostanziale modifica della composizione media dell'aria, producendo effetti positivi, negativi o nulli.[25]

A livello normativo la legislazione Italiana definisce lo stato di inquinamento atmosferico come quello *stato dell'aria atmosferica conseguente alla immissione nella stessa di sostanze di qualsiasi natura in misura e in condizioni tali da alterare la salubrità dell'aria e da costituire pregiudizio diretto o indiretto per la salute dei cittadini o danno ai beni pubblici e privati.*[26]

Importanti disposizioni per quanto riguarda l'inquinamento atmosferico riguardano normative finalizzate a mantenere un certo standard di qualità dell'aria e a limitare la presenza in essa di sostanze inquinanti.

Queste norme fissano, per ciascun inquinante o classe di inquinanti, valori ammissibili predefiniti di concentrazione (soglie di inquinamento ammissibile). Tali limiti vengono stabiliti in modo tale che, sulla base del livello di conoscenza disponibile, se la concentrazione delle sostanze inquinanti rimane al di sotto di questi valori gli effetti sulla salute umana non sono tali da modificare significativamente il rischio di subire effetti dannosi reversibili o irreversibili. Per ciascuna di esse o per

[25] S. J. WILLIAMSON, *Fundamentals of Air Pollution*, Addison-Wesley, Londra 1993.
[26] *D.P.R. 24 maggio 1988 n.203, supplemento ordinario alla gazzetta ufficiale della repubblica Italiana, serie generale, n°140, 16 giugno 1988.*

ogni loro classe, le norme europee e italiane fissano quattro livelli ammissibili di concentrazione:

- Valori limite: per valori di concentrazione superiori a tali limiti i rischi per la salute si ritengono intollerabili;
- Valori di allarme: valori che richiedono interventi di mitigazione immediati per evitare il raggiungimento dei valori limite. Inoltre se questi valori vengono mantenuti per lunghi periodi possono essere dannosi;
- Valori di attenzione: valori che se permangono a lungo possono portare al raggiungimento dei livelli di allarme;
- Valori guida: livelli di concentrazione che se mantenuti assicurano nel tempo la salvaguardia della salute e dell'ambiente.

In Italia la normativa che determina tali valori è il D.Lgs n. 155 del 13 agosto 2010, si riportano di seguito i valori limite delle principali sostanze inquinanti[27].

Tabella 2-2: Valori limite principali inquinanti atmosferici secondo il D.Lgs. 55/10

Inquinante	Valore	[µg/m^3]
Biossido di zolfo	limite media oraria ≤ 24 volte/anno	350
	soglia di allarme 3 ore consecutive in tutto il territorio	500
Biossido di azoto	limite media oraria ≤ 18 volte/anno	200
	soglia di allarme 3 ore consecutive in tutto il territorio	400
	limite media annuale	40
PM10	limite media giornaliera ≤ 35 volte/anno	50
PM2,5	limite media annuale	40
	limite media annuale	25
Ozono	soglia di allarme 1 ora	240
	valore obiettivo 8 ore consecutive ≤ 25 volte/anno	120
Monossido di carbonio	limite media 8 ore consecutive	10000
Benzene	limite media annuale	5

[27] Descritte nel paragrafo seguente.

2.2.2.2 Principali sostanze inquinanti

I principali inquinanti prodotti dal funzionamento dei sistemi di trasporto sono:

- il monossido di carbonio (CO): è un gas inodore, insapore e altamente tossico. Viene generato durante la combustione di materiali organici quando la quantità di ossigeno a disposizione è insufficiente. La principale sorgente di CO è rappresentata dal traffico veicolare (circa l'80% delle emissioni a livello mondiale), in particolare dai gas di scarico dei veicoli a benzina. La concentrazione di CO emessa dagli scarichi dei veicoli è strettamente connessa alle condizioni di funzionamento del motore; si registrano concentrazioni più elevate con motore al minimo, ed in fase di decelerazione, condizioni tipiche di traffico urbano intenso e rallentato. La presenza di monossido di carbonio è fortemente legata ai flussi di traffico, l'andamento delle concentrazioni di CO misurato nei pressi della sezione di una strada durante l'arco della giornata è generalmente paragonabile a quello dei flussi veicolari che la percorrono. I danni causati alla salute dell'uomo derivano dal fatto che si lega all'emoglobina del sangue, impedendo il normale trasporto dell'ossigeno nelle varie parti del corpo. Il monossido di Carbonio ha, nei confronti dell'emoglobina, un'affinità 220 volte maggiore rispetto all'ossigeno ed il composto che si genera (carbossiemoglobina) è estremamente stabile. Gli organi più colpiti sono il sistema nervoso centrale e il sistema cardiovascolare, soprattutto nelle persone affette da cardiopatie. Concentrazioni elevatissime di CO possono anche condurre alla morte per asfissia;[28]
- l'anidride carbonica (CO_2): è un gas incolore e inodore più pesante dell'aria per cui lo si trova più facilmente verso terra che non in aria. Questo è il motivo per cui preoccupa il suo accumulo nelle città. È un gas velenoso solo alle alte concentrazioni (oltre il 30%). È prodotto principalmente dall'attività respiratoria dei vegetali ed è uno dei responsabili dell'effetto serra che determina un aumento della temperatura media del pianeta. Fra le cause antropiche di emissione della CO_2 nell'atmosfera, sono predominanti tutti i

[28] CITTÀ DI TORINO_INFORMAMBIENTE, *Monossido di carbonio (CO)*, 2012 http://www.comune.torino.it/ambiente/aria/aria_torino/princ_inquinanti/monossido-di-carbonio-co.shtml.

processi di combustione, quindi anche quelli che avvengono nei motori dei veicoli stradali;[29]

- i composti organici nella forma di particolato (PTS): rappresenta l'inquinante a maggiore impatto ambientale nelle aree urbane, tanto da indurre le autorità competenti a disporre dei blocchi del traffico nel tentativo di ridurne il fenomeno; sono sostanze allo stato solido o liquido, che a causa delle loro piccole dimensioni, restano sospese in atmosfera per tempi più o meno lunghi. Le polveri totali sospese o PTS vengono anche indicate come PM (*Particulate Matter*). Il particolato nell'aria può essere costituito da diverse sostanze: sabbia, ceneri, polveri, fuliggine, sostanze silicee di varia natura, sostanze vegetali, composti metallici, fibre tessili naturali e artificiali, sali, elementi come il carbonio o il piombo, ecc. In base alla natura e alle dimensioni delle particelle si possono distinguere:
    - gli aerosol, costituiti da particelle solide o liquide sospese in aria e con diametro inferiore a 1 micron;
    - le foschie, date da goccioline con diametro inferiore a 2 micron;
    - le esalazioni, costituite da particelle solide con diametro inferiore a 1 micron e rilasciate solitamente da processi chimici e metallurgici;
    - il fumo, dato da particelle solide di solito con diametro inferiore a 2 micron e trasportate da miscele di gas;
    - le polveri, costituite da particelle solide con diametro fra 2,5 e 500 micron;
    - le sabbie, date da particelle solide con diametro superiore a 500 micron.

  Di particolare importanza risultano le polveri PM10 che rappresentano il particolato che ha un diametro inferiore a 10 micron, e le PM2,5, che costituiscono il 60% delle PM10 e rappresentano il particolato che ha un diametro inferiore a 2,5 micron.

  A prescindere dalla tossicità, le particelle che possono produrre degli effetti indesiderati sull'uomo sono sostanzialmente quelle di dimensioni ridotte, infatti nel processo della respirazione le particelle maggiori di 15 micron vengono generalmente rimosse dal naso. Il particolato che si deposita nel tratto

[29] CNH INDUSTRIAL, *Piano degli spostamenti casa-lavoro. Comprensorio di Torio Stura*, 2014.

superiore dell'apparato respiratorio può generare effetti irritativi come l'infiammazione e la secchezza del naso e della gola. Per la particolare struttura della superficie, le particelle possono adsorbire dall'aria sostanze cancerogene, trascinandole nei tratti respiratori e prolungandone i tempi di residenza. Le particelle più piccole sono le più pericolose in quanto possono penetrare in profondità nel sistema respiratorio provocando o aggravando malattie respiratorie croniche come asma, bronchite e l'enfisema.

Inoltre gli effetti del particolato sul clima e sui materiali sono piuttosto evidenti. Le polveri sospese favoriscono la formazione di nebbie e nuvole, costituendo i nuclei di condensazione attorno ai quali si condensano le gocce d'acqua. Di conseguenza favoriscono il verificarsi dei fenomeni delle nebbie e delle piogge acide, che comportano effetti di erosione e corrosione dei materiali e dei metalli. Il particolato inoltre danneggia i circuiti elettrici ed elettronici, insudicia gli edifici e le opere d'arte e riduce la durata dei tessuti. Le polveri possono depositarsi sulle foglie delle piante e formare così una patina opaca che, schermando la luce, ostacola il processo della fotosintesi;[30]

- gli ossidi azoto (NO_X): sono attualmente tra gli inquinanti ritenuti maggiormente pericolosi. Il biossido di azoto (NO_2) è un gas di colore rosso bruno, di odore forte e pungente, altamente tossico e irritante. In generale gli ossidi di azoto sono generati da processi di combustione, qualunque sia il combustibile utilizzato, per reazione diretta tra l'azoto e l'ossigeno dell'aria ad alta temperatura (superiore a 1200°C). I processi di combustione emettono quale componente principale monossido di azoto (NO) che, nelle emissioni di un motore a combustione interna, rappresenta il 98% delle emissioni totali di ossidi di azoto. Successivamente il monossido di azoto in presenza di ozono e di radicali ossidanti si trasforma in biossido di azoto. I fumi di scarico degli autoveicoli contribuiscono enormemente all'inquinamento da NO; la quantità di emissioni dipende dalle caratteristiche del motore e dalla modalità del suo utilizzo (velocità, accelerazione, ecc.). in generale la presenza di NO aumenta quando il motore lavora ad elevato numero di giri. Si stima che in Italia

[30] Ibid.

vengano emesse in atmosfera circa 2 milioni di tonnellate all'anno di ossidi di azoto, di cui la metà dovuta al traffico di autoveicoli.

Per quanto riguarda gli effetti sulla salute dell'uomo, gli ossidi di azoto risultano potenzialmente pericolosi per la salute. Il biossido di azoto è più pericoloso per la salute umana, esercita il suo effetto tossico principalmente sugli occhi, sulle mucose e sui polmoni.[31] Gli ossidi di azoto si possono ritenere fra gli inquinanti atmosferici più critici sia perché è per sua natura irritante, sia perché dà inizio, in presenza di forte irraggiamento solare, ad una serie di reazioni che portano alla costituzione di sostanze inquinanti quali l'ozono, complessivamente indicate con il termine di "smog fotochimico".

In particolare l'NO_2 è irritante per le mucose ed è responsabile di specifiche patologie a carico dell'apparato respiratorio (bronchiti, allergie, irritazioni); contribuisce alla formazione delle piogge acide e favorisce l'accumulo di nitrati al suolo che possono provocare alterazione di equilibri ecologici ambientali;

- l'ozono (O3): è un gas altamente reattivo, di odore pungente e ad elevate concentrazioni di colore blu, dotato di un elevato potere ossidante. L'ozono si concentra nella stratosfera ad un'altezza compresa fra i 30 e i 50 chilometri dal suolo e la sua presenza protegge la troposfera (lo strato atmosferico compreso fra il livello del mare e i 10 km di quota) dalle radiazioni ultraviolette emesse dal sole e dannose per la vita degli esseri viventi. L'assenza di questo composto nella stratosfera è chiamata generalmente "buco dell'ozono".

  L'ozono presente nella troposfera ed in particolare nelle immediate vicinanze della superficie terrestre, è un componente dello "smog fotochimico" che si origina soprattutto nei mesi estivi in concomitanza di un intenso irraggiamento solare e di un'elevata temperatura. L'ozono non ha sorgenti dirette, ma si forma all'interno di un ciclo di reazioni che coinvolgono in particolare gli ossidi di azoto. Concentrazioni relativamente basse di ozono provocano irritazioni alla gola, alle vie respiratorie e bruciore agli occhi; concentrazioni superiori possono portare alterazioni delle funzioni respiratorie. L'ozono è responsabile anche di danni alla vegetazione, con relativa scomparsa di alcune specie arboree dalle aree urbane (alcune specie vegetali, particolarmente sensibili alle

[31] Ibid.

concentrazioni di ozono in atmosfera, vengono oggi utilizzate come bioindicatori della formazione di smog fotochimico);[32]

- gli ossidi di zolfo (SO_X): sono il naturale prodotto di ossidazione dello zolfo e dei composti che lo contengono. Nell'atmosfera l'anidride solforosa (SO_2) è ossidata ad anidride solforica (SO_3). L'ossidazione può avvenire direttamente dall'ossigeno atmosferico o da parte di altri inquinanti per via chimica. È un gas incolore, di odore pungente.

  Le principali emissioni di anidride solforosa derivano dai processi di combustione che utilizzano combustibili di tipo fossile (gasolio, olio combustibile, carbone), in cui lo zolfo è presente come impurità e dai processi metallurgici. Una percentuale molto bassa di anidride solforosa nell'aria (6-7%) proviene dal traffico veicolare, in particolare dai veicoli con motore diesel. La concentrazione di anidride solforosa presenta una variazione stagionale molto evidente, con i valori massimi nella stagione invernale, laddove sono in funzione gli impianti di riscaldamento domestici.

  Queste sostane sono molto irritanti per gli occhi, la gola e le vie respiratorie. In atmosfera, attraverso reazioni con l'ossigeno e le molecole d'acqua, contribuisce alla formazione delle piogge acide con effetti tossici sui vegetali e acidificazione dei corpi idrici, con conseguente compromissione della vita acquatica. Le precipitazioni acide possono avere effetti corrosivi anche sui materiali da costruzione, manufatti lapidei, vernici e metalli;[33]

- il benzene (C_6H_6): è una sostanza altamente infiammabile; a temperatura ambiente si presenta come un liquido incolore che evapora all'aria molto velocemente. È caratterizzato da un odore pungente e dolciastro. Il benzene presente in atmosfera viene prodotto dall'attività umana, in particolare dall'uso del petrolio, degli oli minerali e dei loro derivati. La maggior fonte di esposizione per la popolazione deriva dai gas di scarico degli autoveicoli, in particolare dei veicoli alimentati a benzina; stime effettuate a livello di Unione

[32] CITTÀ DI TORINO_INFORMAMBIENTE, *Ozono (O3)*, 2012 http://www.comune.torino.it/ambiente/aria/aria_torino/princ_inquinanti/ozono-o3.shtml.

[33] CITTÀ DI TORINO_INFORMAMBIENTE, *Biossido di zolfo (SO2)*, 2012 http://www.comune.torino.it/ambiente/aria/aria_torino/princ_inquinanti/biossido-di-zolfo-anidride-solforosa-so2.shtml.

Europea attribuiscono a questa categoria di veicoli più del 70% del totale delle emissioni di benzene. Il benzene è presente nelle benzine come tale e si produce inoltre durante la combustione a partire soprattutto da altri idrocarburi aromatici.

Il benzene è una sostanza classificata dalla Comunità Europea come cancerogeno di categoria 1, R45; dalla IARC (*International Agency for Research on Cancer*) nel gruppo 1 (sostanze per le quali esiste un'accertata evidenza in relazione all'induzione di tumori nell'uomo); dalla A.C.G.I.H. (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) in classe A1 (cancerogeno accertato per l'uomo). Esposizioni per periodi prolungati a concentrazioni relativamente basse possono colpire il midollo osseo e causare leucemie, quelle a breve termine e ad alti livelli possono provocare sonnolenza e perdita di coscienza.[34]

Come abbiamo appena visto sono molteplici le conseguenze che l'emissione di diverse sostanze inquinanti hanno sull'ecosistema e si possono sinteticamente ricondurre a 5 principali tipi di effetti negativi:

- sull'uomo: che portano danni alla salute, sia reversibili che irreversibili;
- sull'aria: che portano problemi alla qualità dell'aria con, ad esempio, alterazione dell'odore e riduzione di visibilità;
- sul clima: che possono portare a modificazioni dei microclimi urbani piuttosto che a contribuire globalmente all'innalzamento della temperatura dell'aria a causa dell'emissione di gas serra;
- sui materiali: che possono portare danni di deterioramento sui materiali (e quindi principalmente sugli edifici) di varia natura dalla corrosione chimica al ricoprimento;
- sulla vegetazione: che possono portare danni in linea generale alla flora locale e quindi anche al suolo.

[34] CITTÀ DI TORINO_INFORMAMBIENTE, *Benzene (C6H6)*, 2012 http://www.comune.torino.it/ambiente/aria/aria_torino/princ_inquinanti/benzene-c6h6.shtml.

2.2.2.3 Modelli di emissione

Annoverato quali sono le principali sostanze inquinanti e i loro effetti, è fondamentale comprendere e disporre dei dati delle loro immissioni. L'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), in qualità di National Reference Centre dell'Agenzia europea per l'ambiente (EEA), realizza l'inventario nazionale delle emissioni in atmosfera che viene correntemente utilizzato per verificare il rispetto degli impegni che l'Italia ha assunto a livello internazionale sulla protezione dell'atmosfera. La realizzazione di un inventario delle emissioni è un processo complesso che richiede la partecipazione di numerosi attori in grado di fornire i dati di base per le diverse attività emissive (traffico, agricoltura, allevamento, riscaldamento, ecc.) ed esperti in grado di utilizzare questi dati in modelli di stima che tengano in considerazione tutti gli aspetti legati all'emissione di un determinato inquinante.[35]

La stima delle emissioni in aria si basa su metodologie che consentono di stimare l'emissione dei diversi inquinanti dipendenti da diverse fonti, nel nostro caso naturalmente analizzeremo solamente le emissioni derivanti dal traffico veicolare. I modelli di emissione, dunque, consistono nella formulazione matematica delle relazioni esistenti tra le emissioni inquinanti dei veicoli a motore e le variabili da cui tali emissioni sono influenzate. Queste variabili sono diverse ma si possono principalmente raggruppare in:

- caratteristiche costruttive del veicolo: dal tipo di motore al tipo di combustibile fino alle caratteristiche della cilindrata;
- stato della meccanica del veicolo: stato di usura, di manutenzione;
- condizioni operative nelle condizioni reali di traffico: che rappresentano le caratteristiche di funzionamento dell'apparato di propulsione.

I modelli semplificati per l'elaborazione di scenari e inventari delle emissioni atmosferiche si basano generalmente sull'*emission factor approach*, secondo il quale le emissioni di un dato inquinante relative ad un certo settore sono il prodotto delle singole attività che generano emissioni e dei rispettivi fattori di emissione. Un fattore di emissione fornisce una rappresentazione quantitativa delle caratteristiche emissive di un dato inquinante per una data sorgente. Nello specifico la sorgente è il mezzo di

[35] ISPRA, *Emissioni in atmosfera*, s.d. http://www.isprambiente.gov.it/it/temi/Aria/emissioni-in-atmosfera.

trasporto considerato, che emette inquinanti durante gli spostamenti effettuati in un determinato lasso di tempo.
Tali modelli si basano su relazioni che potrebbero essere semplificate in questo modo:

$$emissioni\ [tonnellate] = n.veicoli\ *\ km\ percorsi\ *\ fattore\ di\ emissione\ (g/km)\ *\ 1/1.000.000$$

Il modello di calcolo più frequentemente utilizzato in Europa per la stima delle emissioni di inquinanti atmosferici dovuti ai trasporti stradali, adottato quindi anche nell'ambito di questo lavoro, è denominato COPERT (*Computer Programme to calculate Emissions from Road Traffic*), la cui metodologia è stata introdotta dall'*European Environment Agency* (EEA) per la redazione dei rapporti sullo stato dell'ambiente e che in Italia è applicata dall'ISPRA.[36]

2.2.2.4 Parco veicolare circolante

Uno dei parametri fondamentali per l'applicazione dei modelli appena descritti è la definizione del parco veicolare circolante distinto per categorie di alimentazione e per classe EURO. Si vuole esporre in questo paragrafo i dati legati al parco veicolare circolante di Torino e provincia, che saranno fondamentali nella determinazione dei costi dell'inquinamento atmosferico, con un riferimento ai dati regionali e nazionali. Tutti i dati riportati, i più aggiornati disponibili, provengono dalla consultazione dei database dell'Automobile Club d'Italia (ACI), Open Parco Veicoli disponibile online.[37]

[36] CNH INDUSTRIAL, *Piano degli spostamenti casa-lavoro stabilimento di Torino via Plava*, 2018.
[37] ACI, *Open Parco Veicoli*, s.d. http://www.opv.aci.it/WEBDMCircolante/index.html.

Tabella 2-3: Parco veicolare circolante per categoria di veicoli

	Comune di Torino 2018	Provincia di Torino 2018	Regione Piemonte 2018	Totale nazionale 2018
AB	2 217	3 331	6 157	100 042
AM	51 054	141 619	319 707	4 130 291
AS	10 375	36 246	69 081	736 491
AV	576 571	1 492 051	2 938 884	39 018 170
MC	73 790	221 784	459 357	6 780 733
MM	956	4 678	11 239	255 009
MS	1 037	4 163	9 193	84 600
ND	1	1	1	24
RM	1 984	6 519	18 451	278 551
RS	1 078	2 761	8 251	114 727
TS	1 768	4 706	12 498	183 732
Totale	720 831	1 917 859	3 852 819	51 682 370

LEGENDA	
AB	Autobus
AM	Autocarri trasporto merci
AS	Autoveicoli speciali/specifici
AV	Autovetture
MC	Motocicli
MM	Motocarri e quadricicli trasporto merci
MS	Motoveicoli e quadricicli speciali/specifici
ND	Non definito o non contemplato
RM	Rimorchi e semirimorchi trasporto merci
RS	Rimorchi e semirimorchi speciali/specifici
TS	Trattori stradali o motrici

Da questa tabella è interessante notare come a livello nazionale la categoria autovetture rappresenti oltre il 75% del totale del parco veicolare circolante, che diventa il 76% a livello regionale, quasi il 78% a livello provinciale e ben l'80% nel comune di Torino. Queste percentuali aumentano ancora se vengono considerate i soli centri urbani e per questi motivi nelle valutazioni sul parco veicolare circolante, vengono usati prevalentemente i dati relativi alle autovetture (come verrà fatto in questo testo).

Tabella 2-4: Parco veicolare circolante di sole AUTOVETTURE per categorie di alimentazione

	Comune di Torino 2018	Provincia di Torino 2018	Regione Piemonte 2018	Totale nazionale 2018
Benzina	278 707	715 954	1 405 286	18 083 402
Gasolio	227 796	584 281	1 229 087	17 316 888
GPL	54 552	156 830	249 777	2 409 840
Metano	9 595	23 049	34351	945 184
Elettriche/Ibride	5 902	11 875	20 245	256 640
Altre/N.D.	19	62	138	6 216
Totale	576 571	1 492 051	2 938 884	39 018 170

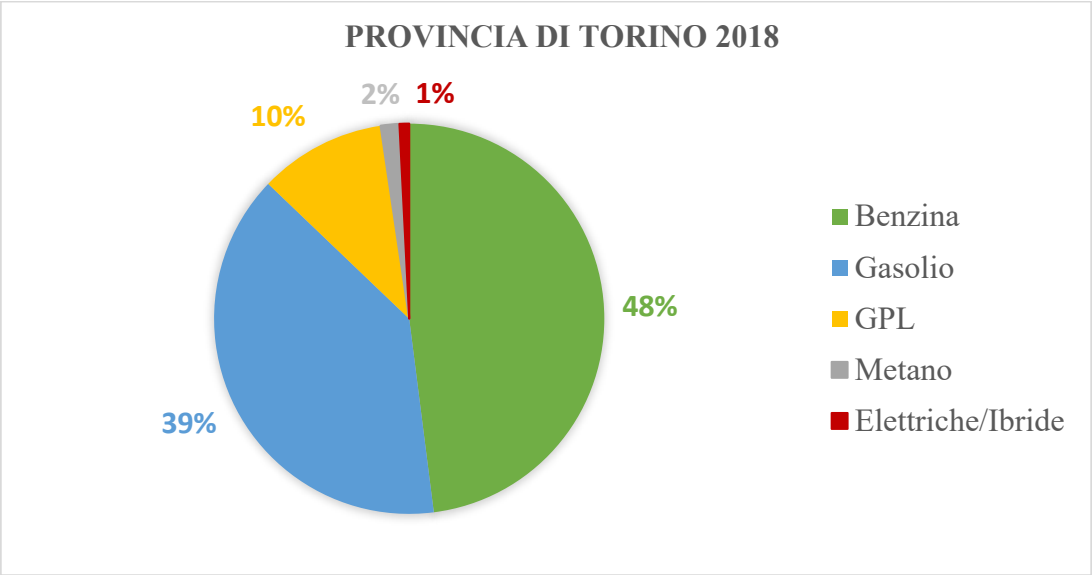


Figura 2-2: Autovetture per categoria di alimentazione provincia di Torino (2018)

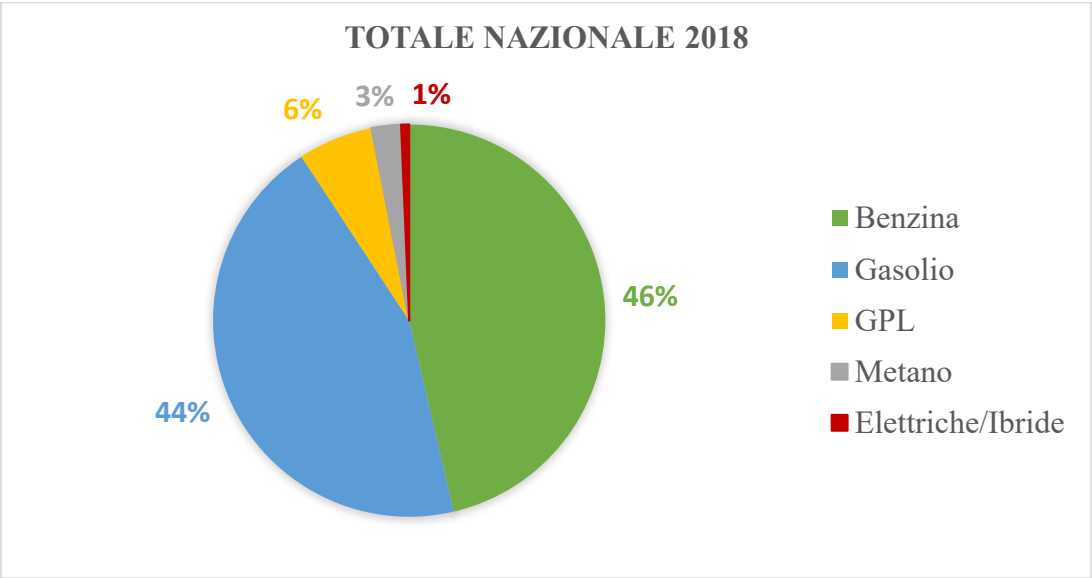


Figura 2-3: Autovetture per categoria di alimentazione a livello nazionale (2018)

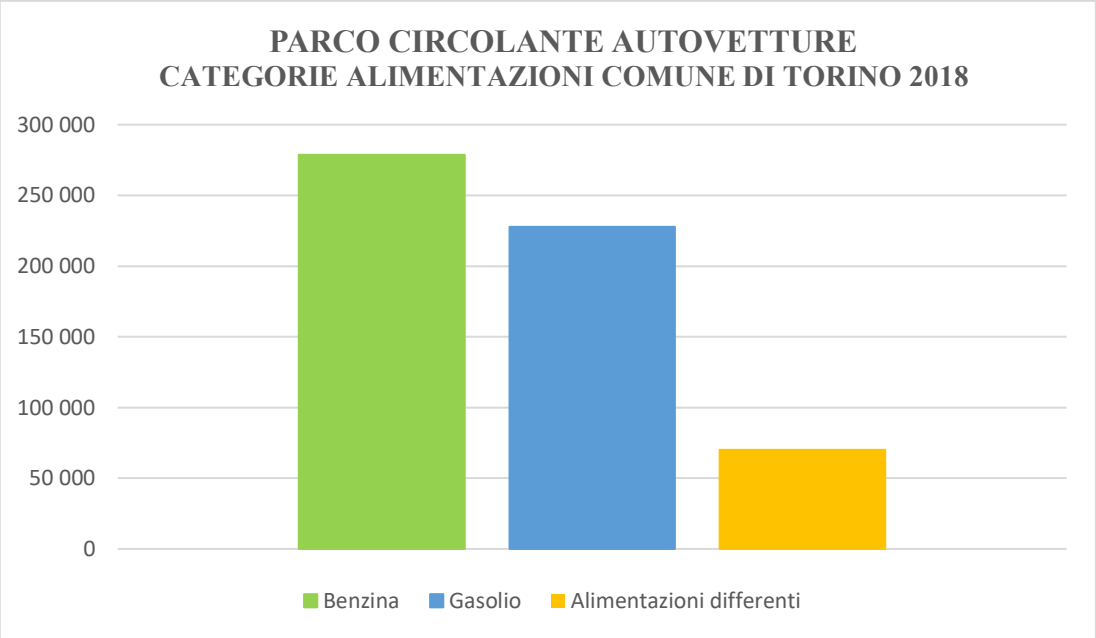


Figura 2-4: Parco circolante autovetture per categorie di alimentaz. in Torino (2018)

Il parco veicolare delle autovetture della provincia di Torino è caratterizzato da una prevalenza di autovetture con alimentazione a benzina o a gasolio, alla quale seguono le autovetture ad alimentazioni alternative con l'alimentazione a GPL che costituisce il 10% del parco circolante totale e ben circa l'82% delle autovetture alimentate in maniera differente; da notare che l'espansione dell'autovettura elettrica e ibrida è ancora marginale e rappresenta solo l'1% di tutto il parco circolante della provincia di Torino.

I dati appena discussi vedono una sostanziale riproposizione degli andamenti provinciali per quanto riguarda la situazione a livello nazionale, infatti c'è da notare una diminuzione delle autovetture alimentate a benzina dal 48% al 46% a fronte di un innalzamento di quelle alimentate a gasolio che passa dal 39% provinciale al 44% nazionale. È importante notare come il comparto GPL sia del 4% più alto della media nazionale, passa infatti dal 6% al 10% nella provincia.

A partire dal 1991 l'Unione Europea ha emanato una serie di direttive finalizzate a ridurre l'inquinamento ambientale prodotto dai veicoli. Sulla base di queste normative sono state individuate diverse categorie di appartenenza a cui fanno capo i veicoli prodotti dalle case automobilistiche, le cosiddette classi Euro 1-2-3-4-5-6 a cui si aggiunge la sigla Euro 0 per i veicoli più inquinanti immatricolati prima del dicembre

1992. Si tratta quindi di una serie di standard che sono stati introdotti progressivamente dall'Unione Europea, con caratteristiche sempre più restrittive, che riguardano le emissioni dei veicoli misurate in g/kWh per i veicoli commerciali pesanti e in g/km per tutti gli altri veicoli.[38]

Questa distinzione è diventata oggi un indicatore che molte Amministrazioni locali utilizzano per preservare la qualità dell'aria, emanando ordinanze che vietano la circolazione di determinate tipologie di veicoli proprio in funzione delle classi ambientali.

In particolare per la città di Torino per effetto dell'Ordinanza comunale n. 42 AA del 27/09/2019, si riportano dei prospetti riassuntivi riguardanti le limitazioni permanenti al traffico[39]:

[38] REGIONE PIEMONTE, *Report 2017 sulla mobilità veicolare in Piemonte*, 2017.

[39] Definizione delle categorie di autovetture e veicoli commerciali:
- categoria M1: veicoli destinati al trasporto di persone, aventi al massimo otto posti a sedere oltre al sedile del conducente
- categoria N1: veicoli destinati al trasporto di merci, aventi massa massima non superiore a 3,5 t
- categoria N2: veicoli destinati al trasporto di merci, aventi massa massima superiore a 3,5 t ma non superiore a 12 t
- categoria N3: veicoli destinati al trasporto di merci, aventi massa massima superiore a 12 t
- categoria L1: veicoli a due ruote la cilindrata del cui motore (se si tratta di motore termico) non supera i 50 cc e la cui velocità massima di costruzione (qualunque sia il sistema di propulsione) non supera i 45 km/h
- categoria L2: veicoli a tre ruote la cilindrata del cui motore (se si tratta di motore termico) non supera i 50 cc e la cui velocità massima di costruzione (qualunque sia il sistema di propulsione) non supera i 45 km/h
- categoria L3: veicoli a due ruote la cilindrata del cui motore (se si tratta di motore termico) supera i 50 cc o la cui velocità massima di costruzione (qualunque sia il sistema di propulsione) supera i 45 km/h
- categoria L4: veicoli a tre ruote asimmetriche rispetto all'asse longitudinale mediano, la cilindrata del cui motore (se si tratta di motore termico) supera i 50 cc o la cui velocità massima di costruzione (qualunque sia il sistema di propulsione) supera i 45 km/h (motocicli con carrozzetta laterale)
- categoria L5: veicoli a tre ruote simmetriche rispetto all'asse longitudinale mediano, la cilindrata del cui motore (se si tratta di motore termico) supera i 50 cc o la cui velocità massima di costruzione (qualunque sia il sistema di propulsione) supera i 45 km/h
- categoria L6: quadricicli leggeri, la cui massa a vuoto e' inferiore o pari a 350 kg, esclusa la massa delle batterie per i veicoli elettrici, la cui velocità massima per costruzione e' inferiore o uguale a 45 km/h e la cui cilindrata del motore e' inferiore o pari a 50 cm^3 per i motori ad accensione comandata; o la cui potenza massima netta e' inferiore o uguale a 4 kW per gli altri motori, a combustione interna; o la cui potenza nominale continua massima e' inferiore o uguale a 4 kW per i motori elettrici.
- categoria L7: i quadricicli, diversi da quelli di cui alla categoria L6 e, la cui massa a vuoto e' inferiore o pari a 400 kg (550 kg per i veicoli destinati al trasporto di merci), esclusa la massa delle batterie per i veicoli elettrici, e la cui potenza massima netta del motore e' inferiore o uguale a 15 kW.

LIMITAZIONI PERMANENTI				
TIPO VEICOLO	ORARI	CHI NON CIRCOLA	RIFERIMENTI ORDINANZA	ESENZIONI
Persone (M1), Merci (N1, N2, N3)	**tutto l'anno, tutti i giorni (festivi compresi)** con orario 0:00-24:00	- **Benzina, gpl e metano Euro 0** - **Diesel Euro 0 e euro 1** *(Diesel con omologazione Euro 2 a partire dal 1/10/2020)*	1.1	pt. 3
Ciclomotori e Motocicli (L1, L2, L3, L4, L5, L6, L7)	**01/10-31/03, tutti i giorni (festivi compresi)** con orario 0:00-24:00	**Benzina Euro 0**	1.4	pt. 3
Persone (M1), Merci (N1, N2, N3)	**tutto l'anno dal lunedì al venerdì** con orario 8:00-19:00	**Diesel Euro 2**	1.2	pt. 4
Persone (M1), Merci (N1, N2, N3)	**01/10-31/03, dal lunedì al venerdì** con orario 8:00-19:00	**Diesel Euro 3** *(Diesel con omologazione Euro 4 a partire dal 01/10/2020)*	1.3	pt. 4

Figura 2-5: Limitazioni permanenti al traffico nella città di Torino. Fonte: ordinanza n.42 AA del 27/09/2019

A queste si aggiungono limitazioni temporanee indette dal Comune nei periodi in cui le concentrazioni di determinati inquinanti (di solito si utilizzano come riferimento i valori della concentrazione di PM10) raggiungono i valori di allerta o di limite descritti in precedenza.

L'attivazione o disattivazione dei livelli di allerta è basata sull'analisi dei dati osservati da ARPA Piemonte nelle sue centraline di rilevamento automatico sparse per la città. Nello specifico l'ordinanza n. 42/AA prevede l'utilizzo di una gestione delle emergenze relative all'inquinamento dell'aria in funzione dell'accensione di un "semaforo" ideale e del colore dello stesso:

- all'accensione del semaforo arancione (dopo 4 giorni consecutivi di superamento dei limiti di PM10) si fermeranno anche le autovetture diesel Euro 4 dalle 8:00 alle 19:00 e i veicoli commerciali diesel Euro 4 dalle 8:30-14:00 e 16:00-19:00.

- all'accensione del semaforo rosso (dopo 10 giorni consecutivi di superamento dei limiti di PM10) si bloccheranno con le stesse modalità anche tutti i veicoli diesel Euro 5 immatricolati prima del 1° gennaio 2013 (gli Euro 5 più recenti saranno liberi di circolare) e i veicoli benzina Euro 1.
- all'accensione del semaforo viola (dopo 20 giorni consecutivi di superamento dei limiti di PM10) l'orario di blocco previsto per il livello rosso sarà esteso, sia per le autovetture che per i veicoli commerciali dalle 7:00 alle 20:00, e coinvolgerà tutti i veicoli diesel Euro 5 anche quelli più recenti immatricolati dopo il 1° gennaio 2013.

È importante quindi avere un quadro del parco veicolare circolante distinto per classi ambientali.

Tabella 2-5: Parco veicolare circolante di sole AUTOVETTURE per classi ambientali (2018)

	Comune di Torino 2018	Provincia di Torino 2018	Regione Piemonte 2018	Totale nazionale 2018
Euro 0	48 777	107 494	222 622	3 696 273
Euro 1	10 199	26 950	57 972	1 032 945
Euro 2	39 110	113 430	236 825	3 696 804
Euro 3	61 946	185 073	375 382	5 317 852
Euro 4	141 228	419 508	839 175	11 072 552
Euro 5	94 219	277 922	573 085	7 043 453
Euro 6	180 320	360 536	631 983	7 124 094
N.D.	772	1 138	1 840	34 197
Totale	576 571	1 492 051	2 938 884	39 018 170

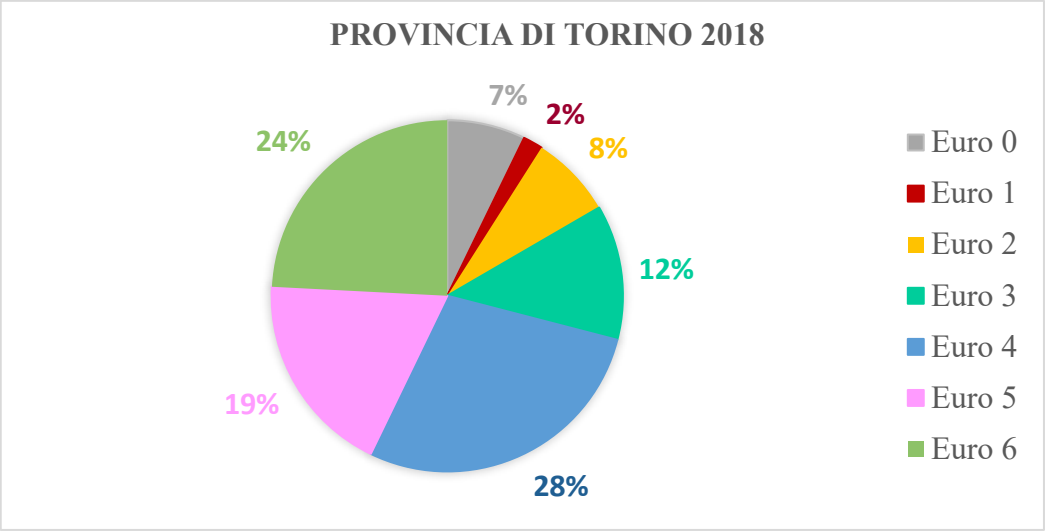


Figura 2-6: Autovetture per classe ambientale provincia di Torino (2018)

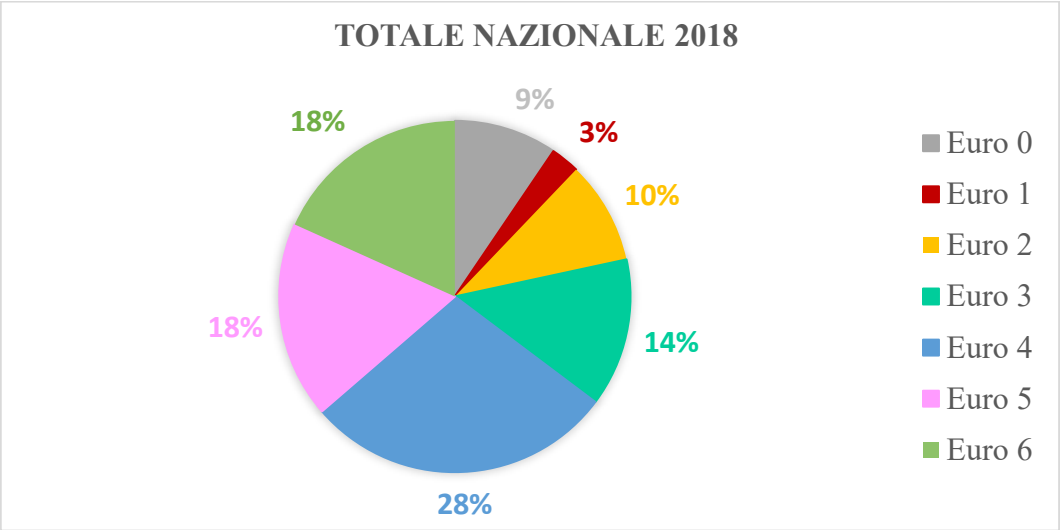


Figura 2-7: Autovetture per classe ambientale a livello nazionale (2018)

Nella provincia di Torino è ancora elevata la percentuale di autoveicoli appartenenti alla Classe Ambientale Euro 4 con il 28%, dato che si riflette nella stessa maniera a livello nazione, anche se le autovetture a Euro 6 occupano un'ampia fetta del parco circolante con il 19%.

Viste le restrizioni al traffico sempre più stringenti dovuti alla condizione della qualità dell'aria nell'area metropolitana di Torino (soprattutto negli ultimi mesi) è importante notare come ancora più della metà della totalità del parco veicolare circolante, ben il 64%, è composto da autovetture con una classe uguale o inferiore a Euro 4.

È interessante inoltre analizzare per il solo comune di Torino una distinzione incrociata che indichi sia la categoria di veicolo sia la classe ambientale di appartenenza delle autovetture.

Tabella 2-6: Parco circolante autovetture nel comune di Torino (2018) distinte per categoria di alimentazione e classe ambientale Euro

Euro	AL	BE	BG	BM	EL	GA	IB	IG	ND	Totale
EURO 0	4	38903	2717	102	0	7043	0	0	8	48777
EURO 1	0	7908	729	21	0	1541	0	0	0	10199
EURO 2	0	30255	2601	77	0	6177	0	0	0	39110
EURO 3	0	35484	1938	308	0	24216	0	0	0	61946
EURO 4	0	71053	17919	4889	0	47238	129	0	0	141228
EURO 5	1	34012	10866	1945	0	46527	834	34	0	94219
EURO 6	0	60716	17780	2252	0	95052	4484	36	0	180320
ND	0	376	2	1	385	2	0	0	6	772
TOTALE	5	278707	54552	9595	385	227796	5447	70	14	576571

LEGENDA	
AB	Autobus
AM	Autocarri trasporto merci
AS	Autoveicoli speciali/specifici
AV	Autovetture
MC	Motocicli
MM	Motocarri e quadricicli trasporto merci
MS	Motoveicoli e quadricicli speciali/specifici
ND	Non definito o non contemplato
RM	Rimorchi e semirimorchi trasporto merci
RS	Rimorchi e semirimorchi speciali/specifici
TS	Trattori stradali o motrici

Visto che le restrizioni appena citate sono spesso oggetto di dibattito è interessante studiare gli effetti che tali limitazioni del traffico hanno sulle concentrazioni di PM10[40] nella città di Torino.

[40] Spesso vengono usati i valori di questo inquinante come indicazione della qualità dell'aria complessiva.

2.2.2.5 Efficacia misure di limitazione del traffico

L'obiettivo di questo paragrafo è di evidenziare e mettere in relazione i dati di inquinamento della città di Torino con le misure di limitazione del traffico. Il processo che seguito si è sviluppato secondo queste fasi:

- scelta della stazione di rilevamento inquinanti a cui fare riferimento per ottenere i dati: nel nostro caso è stata scelta la stazione dell'ARPA Torino-Rebaudengo (P.zza Rebaudengo 23, Torino);
- scelta del periodo di analisi: si è deciso di analizzare i dati a partire dal 1/11/2019 al 31/01/2020 (già in vigore l'Ordinanza n. 42/AA) con lo stesso periodo dell'anno precedente 1/11/2018 – 31/01/2019 (ancora in vigore la vecchia ordinanza in tema di qualità dell'aria, Ordinanza comunale n. 67 del 23/10/2018[41]);
- registrazione valori della concentrazione media giornaliera di PM10 nel periodo prescelto;
- individuazione dei provvedimenti di limitazione della circolazione in vigore nel periodo prescelto.

I dati relativi alle concentrazioni di PM10 nei periodi indicati sono stati reperiti nell'archivio dei "Livelli inquinamento aria nella città di Torino", dati rilevati da ARPA Piemonte e pubblicati nel web dal Comune di Torino – Direzione Ambiente presso il proprio sito[42].

---

[41] L'ordinanza aveva delle disposizioni meno stringenti per quanto riguarda le limitazioni strutturali:

- divieto di circolazione dalle ore 0.00 alle 24.00 di tutti i veicoli adibiti al trasporto di persone aventi al massimo 8 posti a sedere oltre il conducente (categoria M1) e di tutti i veicoli adibiti al trasporto merci (categoria N1, N2, N3) con omologazione **inferiore all'Euro 1**;

- divieto di circolazione veicolare dalle ore 8.00 alle 19.00 nei giorni feriali dal lunedì al venerdì dei veicoli dotati di motore diesel adibiti al trasporto di persone aventi al massimo 8 posti a sedere oltre il conducente (categoria M1) e **dalle ore 8.30 alle ore 14:00 e dalle ore 16:00 alle ore 19.00** nei giorni feriali dal lunedì al venerdì dei veicoli dotati di motore diesel adibiti al trasporto merci (categoria N1, N2, N3) con omologazione uguale a Euro 1 e Euro 2;

- divieto di circolazione veicolare dalle ore 8.00 alle 19.00 nei giorni feriali dal lunedì al venerdì e nel solo periodo invernale (01 ottobre -31 marzo) dei veicoli dotati di motore diesel adibiti al trasporto di persone aventi al massimo 8 posti a sedere oltre il conducente (categoria M1) e **dalle ore 8.30 alle ore 14:00 e dalle ore 16:00 alle ore 19.00** nei giorni feriali dal lunedì al venerdì e nel solo periodo invernale (01 ottobre -31 marzo) dei veicoli dotati di motore diesel adibiti al trasporto merci (categoria N1, N2, N3) con omologazione uguale a Euro 3;

- divieto di circolazione veicolare dalle ore 0.00 alle 24.00 nel solo periodo invernale (01 ottobre -31 marzo) di tutti i ciclomotori e i motocicli adibiti al trasporto di persone o merci (categoria L1, L2, L3, L4, L5, L6, L7) con omologazione inferiore a **Euro 1** (Direttiva 97/24/EC);

[42] ARPA, *Livelli inquinamento aria nella città di Torino*, s.d. http://www.comune.torino.it/ambiente/inquinamento/new-report.php.

I dati relativi alle limitazioni della circolazione nei periodi indicati sono stati reperiti nell'archivio dei bollettini per il "Protocollo operativo per l'attuazione delle misure urgenti antismog" emanati dall'ARPA Piemonte, disponibili online[43].

I livelli di limitazione del traffico per semplicità sono intesi secondo quanto segue:

- Livello 0 (verde): limitazioni permanenti, blocco al traffico per diesel inferiori o uguali a Euro 3 e benzina uguali a Euro 0;
- Livello 1 (arancione): limitazione temporanea "semaforo arancione", blocco al traffico per diesel inferiori o uguali a Euro 4 e benzina Euro 0;
- Livello 2 (rosso) limitazione temporanea "semaforo rosso", blocco al traffico per diesel inferiori o uguali a Euro 5 immatricolati prima del 1/01/2013 e benzina inferiore o uguale Euro 1;
- Livello 3 (viola): limitazione temporanea "semaforo viola", blocco al traffico per diesel Euro 5 (tutti) e benzina inferiore o uguale Euro 1.

Si riassumono i dati nelle seguenti tabelle e grafici.

[43] ARPA, *Protocollo operativo per l'attuazione delle misure urgenti antismog*, s.d. https://www.arpa.piemonte.it/rischinaturali/tematismi/aria/cruscotto.html.

Tabella 2-7: Concentrazioni di PM10 (stazione Torino-Rebaudengo) e livello di limitazione del traffico nel periodo dicembre 2018 - gennaio 2019

Giorno	Concentrazione PM10 [µg/m^3] DICEMBRE 2018	Livello limitazione traffico	Concentrazione PM10 [µg/m^3] GENNAIO 2019	Livello limitazione traffico
1	77	0	90	1
2	70	0	107	1
3	90	0	94	1
4	92	1	94	1
5	72	1	111	1
6	86	1	92	1
7	98	1	90	1
8	39	1	121	2
9	30	1	99	2
10	48	1	62	2
11	55	0	64	2
12	71	0	76	2
13	53	0	77	2
14	ND	0	58	2
15	ND	0	62	0
16	ND	0	71	0
17	86	0	94	0
18	95	0	82	0
19	95	0	36	0
20	59	0	59	0
21	67	1	82	0
22	67	1	79	0
23	60	1	71	0
24	76	1	69	0
25	66	0	84	0
26	96	0	91	0
27	124	0	90	0
28	107	0	82	0
29	86	0	69	0
30	74	0	68	0
31	ND	0	66	0

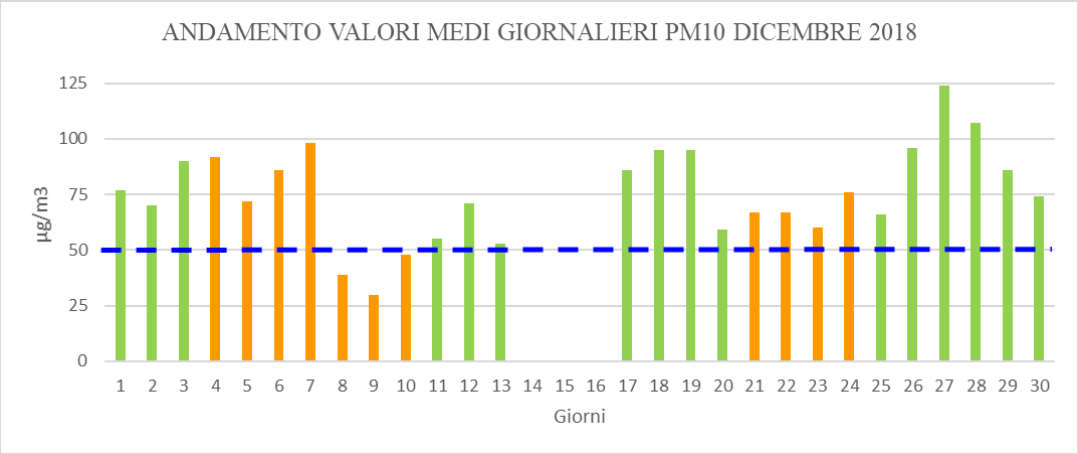


Figura 2-8: Andamento concentrazioni di PM10 nel dicembre 2018

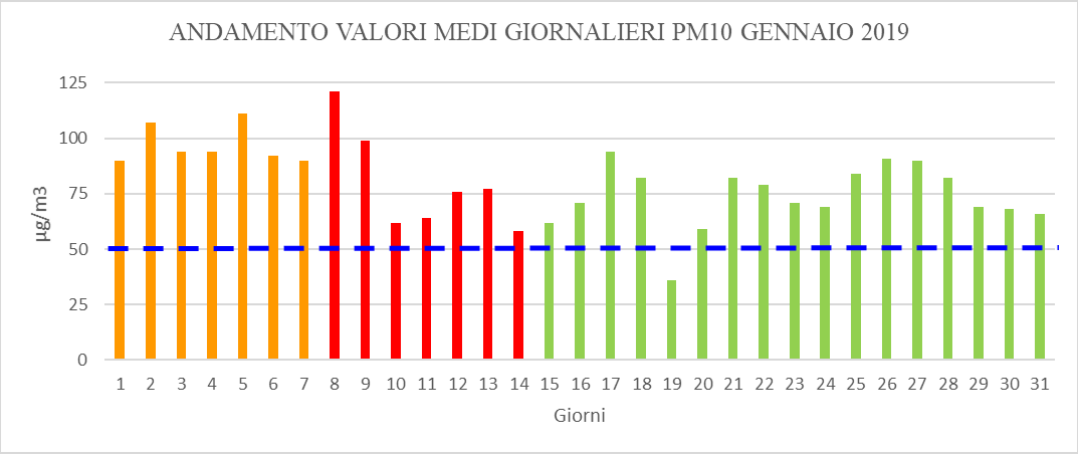


Figura 2-9:Andamento concentrazioni di PM10 nel gennaio 2019

Nel mese di dicembre 2018 il limite di 50 µg/m^3 per la concentrazione di PM10 è stato superato 24 volte su 27 giorni con dati reperibili, ovvero nel'89% dei giorni; sono state disposte limitazioni temporanee per 11 giorni (41%); nel mese di gennaio 2019 il limite è stato superato 30 volte su 31 (97%) e le limitazioni temporanee sono state disposte per 14 giorni (tra cui 7 giorni con livello rosso) per un totale del 45% dei giorni; complessivamente nel periodo considerato il livello di PM10 ha superato il limite 54 volte (93% nel periodo) e sono stati disposti limitazioni al traffico 25 volte (43% nel periodo, tra cui un 28% di livello 2). Considerando che il limite per la protezione della salute è fissato nel superamento di massimo 35 volte all'anno il periodo considerato ha un trend molto negativo.

Tabella 2-8:Concentrazioni di PM10 (stazione Torino-Rebaudengo) e livello di limitazione del traffico nel periodo dicembre 2019 - gennaio 2020

Giorno	Concentrazione PM10 [µg/m^3] DICEMBRE 2019	Livello limitazione traffico	Concentrazione PM10 [µg/m^3] GENNAIO 2020	Livello limitazione traffico
1	20	0	102	0
2	30	0	71	0
3	33	0	93	1
4	63	0	79	1
5	78	0	69	1
6	79	0	58	1
7	68	0	97	1
8	71	0	105	2
9	65	0	90	2
10	49	1	92	2
11	55	1	60	2
12	46	1	77	2
13	56	0	103	2
14	54	0	108	2
15	64	0	86	2
16	28	0	81	2
17	32	0	37	2
18	23	0	49	2
19	10	0	46	2
20	27	0	93	2
21	15	0	89	0
22	14	0	106	0
23	35	0	87	0
24	32	0	91	0
25	41	0	93	0
26	58	0	87	0
27	74	0	67	0
28	72	0	63	1
29	78	0	59	1
30	86	0	ND	1
31	ND	0	ND	1

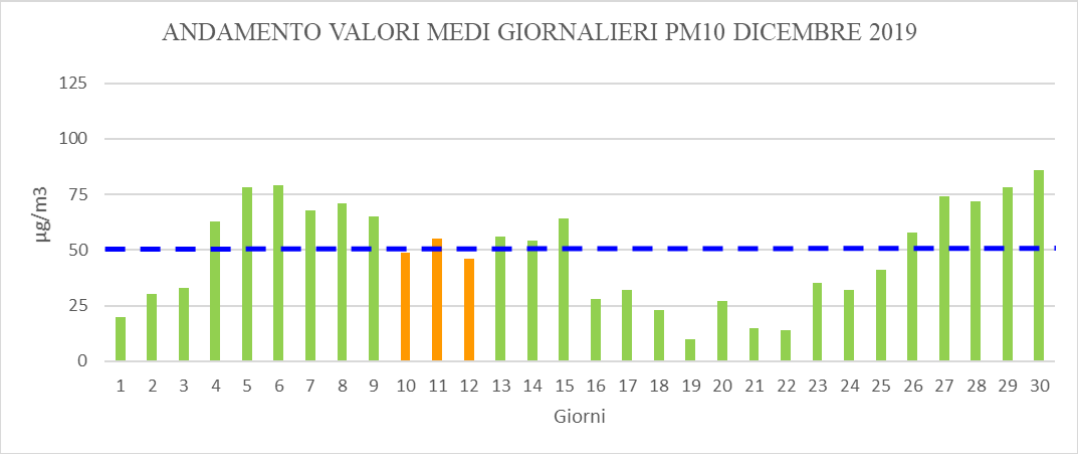


Figura 2-10:Andamento concentrazioni di PM10 nel dicembre 2019

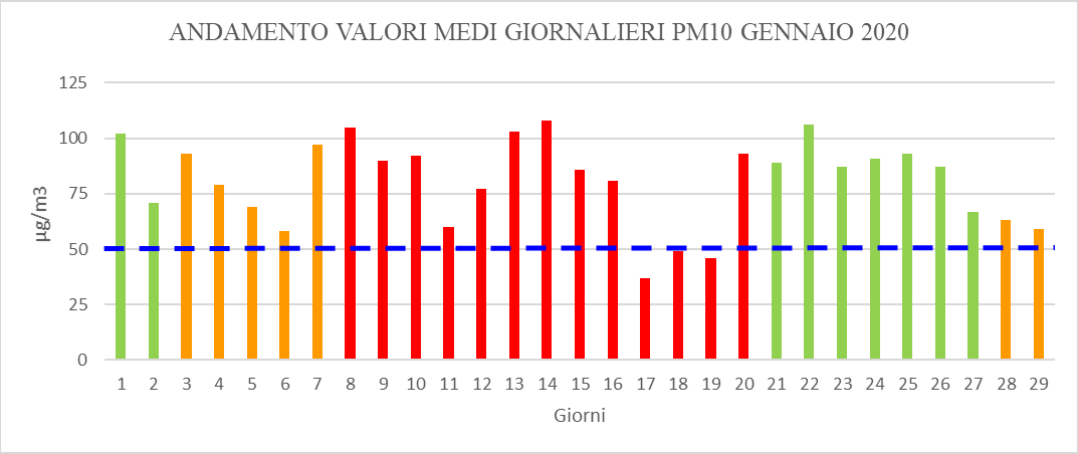


Figura 2-11:Andamento concentrazioni di PM10 nel gennaio 2020

Nel mese di dicembre 2019 il limite di 50 µg/m^3 per la concentrazione di PM10 è stato superato 15 volte su 30 (50%) e sono state disposte limitazioni temporanee per 3 giorni (10%); nel mese di gennaio 2020 il limite è stato superato 26 volte su 29 (90%) e le limitazioni temporanee sono state disposte per 20 giorni (tra cui 13 giorni con livello rosso) per un totale del 69% dei giorni; complessivamente nel periodo considerato il livello di PM10 ha superato il limite 41 volte (69% del periodo) e sono stati disposti limitazioni al traffico 23 volte (39% nel periodo, tra cui un 32% di livello 2). Complessivamente il limite è stato superato un numero minore di volte rispetto allo stesso periodo dell'anno precedente ma questo periodo ha visto gennaio 2020 con un media complessiva peggiore e con un blocco del traffico di livello 2 incrementato del 22%.

Si riassumono tali considerazioni in tabella.

Tabella 2-9: Dati riassuntivi periodi di analisi limitazioni del traffico e concentrazione di PM10

	dic-18		gen-19		dic-19		gen-20	
Giorni rilevati	27		31		30		29	
Media mensile concentrazione PM10 [µg/m^3]	76		80		49		81	
Giorni di sup. limite PM10 50 µg/m^3	24	89%	30	97%	15	50%	26	90%
Giorni limitazioni traffico liv. 1	11	41%	7	23%	3	10%	7	24%
Giorni limitazioni traffico liv.2	0	0%	7	23%	0	0%	13	45%
Giorni limitazioni traffico totali	11	41%	14	45%	3	10%	20	69%

Se consideriamo i valori del parco circolante di autovetture classificati per classe ambientale e categoria di alimentazione per il solo comune di Torino (tabella 2-6)[44], possiamo stimare il numero di autovetture bloccate al traffico, tenendo conto delle limitazioni permanenti e delle limitazioni temporanee, nei periodi valutati[45].

Tabella 2-10: Numero di autovetture interessate dalle limitazioni del traffico in base al livello di tali limitazioni

	Liv. 0	Liv. 1	Liv. 2	Liv. 3
Numero autovetture interessate dalle limitazioni del traffico	77 900	125 118	156 325	179 553

[44] Per il calcolo sono state considerate solamente le colonne BG (autovetture alimentate a benzina) e GA (autovetture alimentate a gasolio, diesel).
[45] Per quanto riguarda le limitazioni di livello 2, il numero di autovetture diesel Euro 5 immatricolati prima del 2013 è stato considerato come la metà del totale.

Capitolo 3

CASO STUDIO: PIAZZA BALDISSERA

Una delle premesse fondamentali per effettuare un'analisi costi benefici il più possibile aderente alla realtà è quella di svolgere un'accurata valutazione del contesto economico-sociale e dell'assetto delle infrastrutture di trasporto dell'area in cui si effettuerà lo studio. In questa maniera i prodotti delle nostre analisi non saranno facilmente replicabili perché saranno strettamente legati al contesto in cui sono inserite e quindi alle proprietà intrinseche dell'ambito di studio.

Per questi motivi in questo capitolo si vuole effettuare questo tipo di analisi per caratterizzare al meglio il contesto dell'area di analisi.

Piazza Generale Antonio Baldissera sorge nella zona nord di Torino (coordinate WGS84 lat. 45,0900 long. 7,6779), fulcro di un'importante intersezione viaria tra i quartieri Borgo Vittoria, Barriera di Milano, Aurora e San Donato.

Figura 3-1:Zona di piazza Baldissera tra i quartieri di Torino

Figura 3-2: Localizzazione Piazza Baldissera nel territorio comunale di Torino

3.1 Premessa storica

La conformazione della zona ha origine nella seconda metà dell'800 quando Torino vive un periodo di grande sviluppo del sistema infrastrutturale dei collegamenti, soprattutto per quanto riguarda le infrastrutture ferroviarie, che portano ad una rapida espansione urbanistica delle aree limitrofe. È infatti nel 1856 che viene inaugurata la linea ferroviaria Torino-Milano; realizzata a raso diventa il fulcro per lo sviluppo urbanistico dell'area, attorno alla quale si sono sviluppate la borgata Vittoria e le borgate Montebianco e Monterosa, che oggi compongono il territorio piuttosto esteso chiamato Barriera di Milano.

Il nome connotante quest'area infatti non a caso è connesso alla costruzione della prima cinta daziaria avvenuta tra il 1853 ed il 1858; essa viene realizzata come strumento per implementare le risorse fiscali della città, imponendo dazi sulle merci in ingresso destinate al consumo locale. La cinta viene progettata dall'ingegnere Edoardo Pecco nell'ambito del Piano d'Ingrandimento della Capitale (1850-1852), concepito da Carlo Promis con intenti difensivi oltre che di riorganizzazione urbanistica. La sua struttura, un muro alto più di due metri con caselli per la riscossione del dazio (le cosiddette barriere) con strade di ronda interne e fossato esterno, è finalizzata principalmente alla lotta al contrabbando.

Figura 3-3:Piano generale cinta daziaria.

Fonte: Archivio Storico della Città di Torino, Serie 1K, Decreti Reali, 1849-1863, n.11, f. 296

Il percorso corrisponde agli attuali corsi Bramante, Lepanto, Pascoli, Ferrucci, Tassoni, Svizzera, Mortara, Vigevano, Novara e Tortona, con chiusura a est del fiume Po. Questo perimetro non racchiude l'intera area comunale, creando così un doppio regime fiscale che favorisce le zone esterne per quanto riguarda costi di costruzione e prezzi. Questo spiega come mai negli anni successivi, e fino a tutti gli anni Dieci del Novecento, lo sviluppo produttivo, industriale e commerciale della città, assieme a gran parte dello sviluppo edilizio, si localizzi fuori cinta, dando vita a nuove borgate, che spesso prendono il nome di barriera di proprio perché situate nei pressi dei caselli daziari[46].

Figura 3-4: Caselli daziari Barriera di Milano, Corso Vercelli.

Fonte: Collezione Chiara Devoti in www.immaginidelcambiamento.it, https://areeweb.polito.it/imgdc/schede/BM01.html

La forte peculiarità produttiva che aveva caratterizzato il territorio, con lo sviluppo degli gli assi ferroviari individuati in questa area, (oltre alla costruzione della linea Torino-Milano vede la luce la linea ferroviaria Torino-Venaria Reale i cui lavori iniziano nel 1868 e che verrà implementata fino a Céres nel 1913) determinano lo

[46] MUSEOTORINO, *Cinta daziaria del 1853*, s.d. http://www.museotorino.it/view/s/3aa5531eb90c41dcba4f53d4652205dd.

sviluppo anche delle altre borgate di Aurora e Madonna di Campagna che con Barriera di Milano vengono denominati "Borghi operai tipici della fase di industrializzazione della città".

Contemporaneamente si sviluppano quindi i grandi stabilimenti industriali (trai quali più importanti figurano Valdocco, Michelin, Ingest, Savigliano, Vitali e Parocchi) che, crescendo ed ampliandosi, iniziano ad occupare gli spazi urbani nel tessuto delle borgate; proprio per questi motivi la cinta viene smantellata completamente nel 1912 per essere sostituita da un'altra più ampia (di fatto mai completata) che rende conto delle nuove dimensioni assunte dalla città in seguito al massiccio sviluppo urbanistico dei decenni precedenti.

I territori appena citati erano già raccolti nel "Piano unico regolatore d'ampliamento" del 1908 ed erano indicati come aree caratterizzate da una forte spinta edificatoria

Figura 3-5: Estratto del Piano Regolatore e di ampliamento del 1906-1908 con indicazione della zona dell'attuale piazza Baldissera.

Fonte: Ufficio Tecnico Municipale dei Lavori Pubblici, Pianta della Città di Torino coll'indicazione del Piano Regolatore e di Ampliamento, 1906, Roma, 5 aprile 1908. ASCT, Serie 1K, Decreti Reali,Piani Regolatori, 1899-1911, n.14, all. 3 e successive varianti.

Già nel piano regolatore del 1908, come si può notare, è riconoscibile uno spazio di interconnessione tra le varie vie di collegamento che coincide con l'attuale piazza Baldissera.

Dopo i primi anni Dieci del '900 continua l'espansione delle borgate e con la terza variante al piano regolatore del 1908, approvata nel 1935, le aree vengono individuate come zone d'espansione della città, e dunque, se fino ad allora lo sviluppo urbanistico avveniva in maniera disomogenea, ora avviene in maniera razionale alla conformazione della città stessa.

Figura 3-6: Vista della zona dell'attuale piazza Baldissera con la stzione Dora.

Fonte: Lorenzo Artusio, Mille saluti da Torino, edizioni del Capricorno, Torino, 1990, p. 154.

Con l'ultima variante al piano del 1945 le caratteristiche del tessuto urbano diventano omogenee e continue prendendo le sembianze riconoscibili ancora oggi, dove una grossa edificazione si è vista concentrarsi sui principali assi di collegamento, come quello corrispondente alla Spina Centrale.

Figura 3-7:Pianta di Torino, 1945 circa, particolare.

Fonte: Biblioteca civica centrale, Cartografico 8/10.28.04 © Biblioteche civiche torinesi

Nella seconda metà del '900 con una forte urbanizzazione che ha visto sia l'aumento dei cittadini che dei veicoli su strada è nata la necessità di migliorare la circolazione delle correnti di traffico ed i collegamenti urbani, soprattutto in quell'area (vista l'ingombrante presenza della linea ferroviaria a raso Torino-Milano) che rimane da sempre uno dei centri nodali del traffico Torinese, dato anche l'incremento dei pendolari provenienti dalla prima cintura nord di Torino. Nasce così la sopraelevata di corso Mortara, costruita tra il 1969 e il 1971, sviluppandosi al di sopra di piazza Baldissera e stazione Dora, collega direttamente i corsi Vigevano e Mortara, altrimenti separati dagli impianti della linea ferroviaria Torino-Milano.

Figura 3-8: Cavalcavia di corso Mortara, vista aerea da nord.

Fonte: http://www.museotorino.it/view/s/5b302468e1a94d09a612cd77f4fadf0d

Negli ultimi decenni del XX secolo la zona di Torino nord è interessata da un processo di deindustrializzazione, rendendo l'area limitrofa a piazza Baldissera e lungo il fiume Dora un riferimento per lo sviluppo di una riqualificazione urbana della città; i grandi complessi industriali dismessi e le aree limitrofe sono individuate nel Piano Regolatore Generale del 1995 (Gregotti) come zone da riqualificare e da rifunzionalizzare.

La realizzazione del passante interrato del collegamento ferroviario Torino-Milano conclusasi nel 2012 è l'esempio più importante della rivoluzione del sistema di infrastrutture e dell'aspetto dell'intera area.

La zona liberata dalla ferrovia è stata denominata Spina Centrale ed è oggetto di una profonda e radicale riorganizzazione a livello urbanistico. L'area di piazza Baldissera rientra nella zona Spina 3 (Parco Dora, Valdocco) e nella Spina 4 (da piazza Baldissera lungo l'asse di corso Venezia fino a corso Grosseto).

La demolizione della sopraelevata di corso Mortara, avvenuta tra il 2005 e il 2011 è uno degli interventi che maggiormente hanno influenzato la conformazione dell'attuale piazza. Con le modifiche del sistema dei collegamenti che avevano come

fulcro piazza Baldissera, in attesa della sistemazione superficiale della piazza stessa la viabilità ha subito molte trasformazioni in fase di cantiere durato anni.

Figura 3-9: Piazza Baldissera nel 2010. Ortofoto 2010 Città di Torino.

Nell'immagine vediamo piazza Baldissera nel 2010, dove possiamo notare ancora la presenza di un tratto della sopraelevata di corso Mortara e la viabilità provvisoria.

Figura 3-10: Piazza Baldissera nel 2016. Ortofoto 2016 Città di Torino.

Nel 2016 vediamo come inizia a prendere vita la conformazione della piazza, anche se l'asse principale di corso Principe Oddone e corso Venezia non è ancora completato. Il completamento dei lavori della piazza e della viabilità è avvenuto nella primavera del 2017.

3.2 Piazza Baldissera oggi

La conformazione attuale di piazza Baldissera prevede una rotatoria con 6 confluenti viari principali[47]: corso Vigevano dalla direzione est, corso Venezia da nord, via Giacchino da nord-ovest, corso Mortara da sud-ovest, corso Principe Oddone da sud e via Cecchi da sud-est.

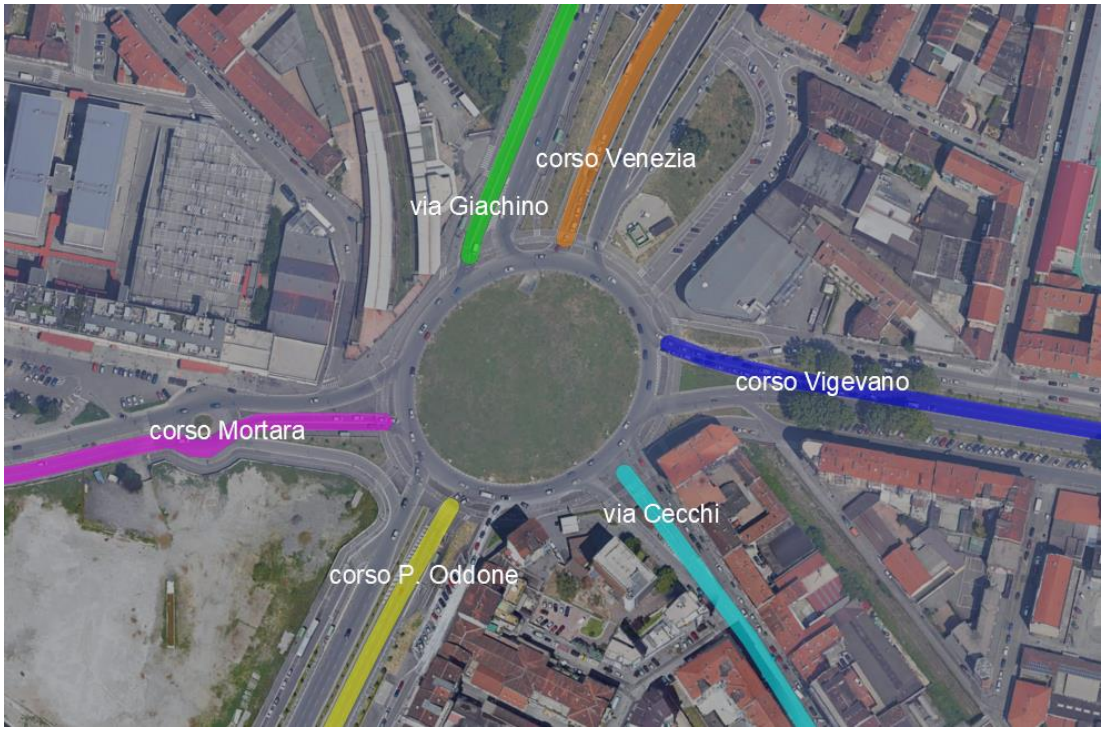


Figura 3-11: Piazza Baldissera con i suoi confluenti viari

Data la posizione strategica nel comune di Torino, l'importanza dei collegamenti infrastrutturali nell'area è cruciale.

3.2.1 Caratteristiche del sistema socio-economico

Piazza Baldissera, come già accennato, si trova all'intersezione tra 4 quartieri, che a loro volta fanno parte di 4 circoscrizioni di Torino: Circoscrizione 4 (S. Donato), 5 (Borgo Vittoria), 6 (Barriera di Milano), 7 (Aurora). Per quanto riguarda il censimento della popolazione l'area ricade sotto le zone statistiche di Torino 24-25-39-42-44. I

[47] Un altro confluente viario della piazza è via Stradella, tuttavia vista la conformazione della viabilità il contributo al traffico di tale strada è molto trascurabile, per questi motivi non è stata presa in considerazione nelle analisi.

dati più aggiornati riguardano l'anno 2018 ed è possibile individuare la popolazione residente totale e la popolazione residente straniera. Si riportano di seguito l'identificazione di tali zone e i dati relativi al 2018.

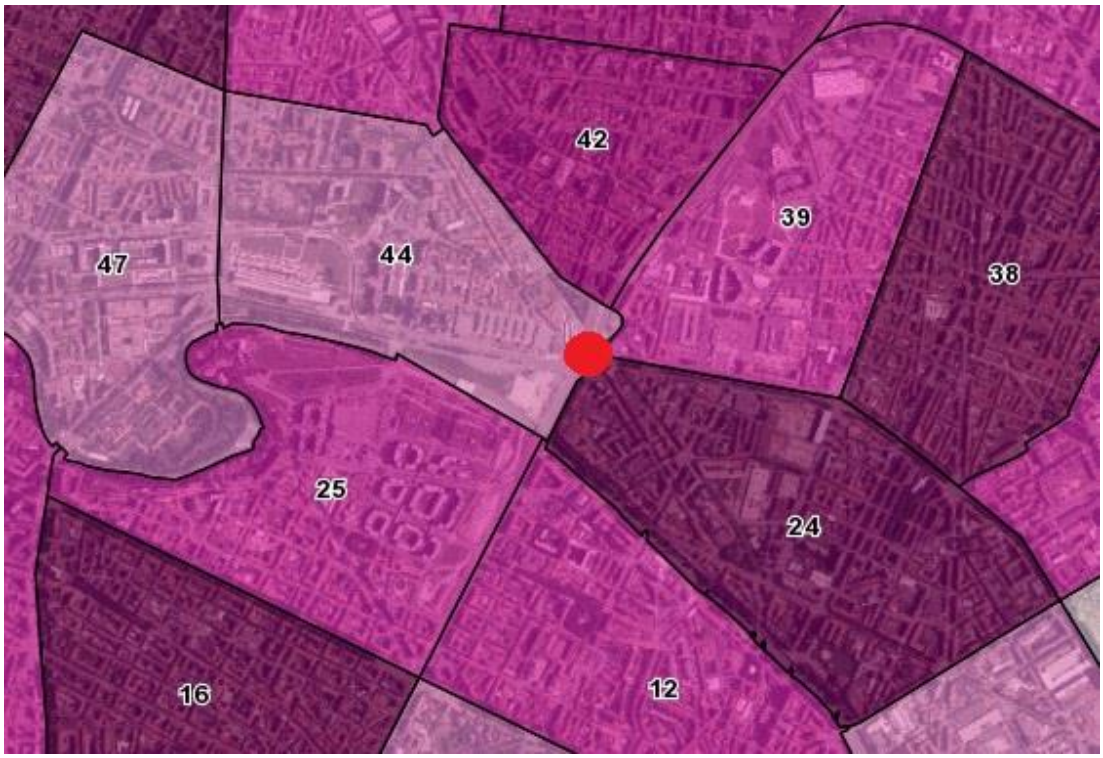


Figura 3-12: Zone statistiche di Torino 2018 attorno a piazza Baldissera

Tabella 3-1: Residenti zone statistiche nei pressi di piazza Baldissera

Zone statistiche Città di Torino (2018)	24		25		39		42		44	
Residenti totali	20432		13593		10338		15309		8219	
Residenti stranieri	7446	36%	3071	23%	3624	35%	3289	21%	1876	23%

Volendo restringere il perimetro per osservare il dato dei residenti si può fare riferimento al censimento ISTAT 2011 e alle sezioni di censimento limitrofe alla piazza. Si riportano di seguito l'identificazione di tali sezioni zone e i dati relativi lla popolazione residente.

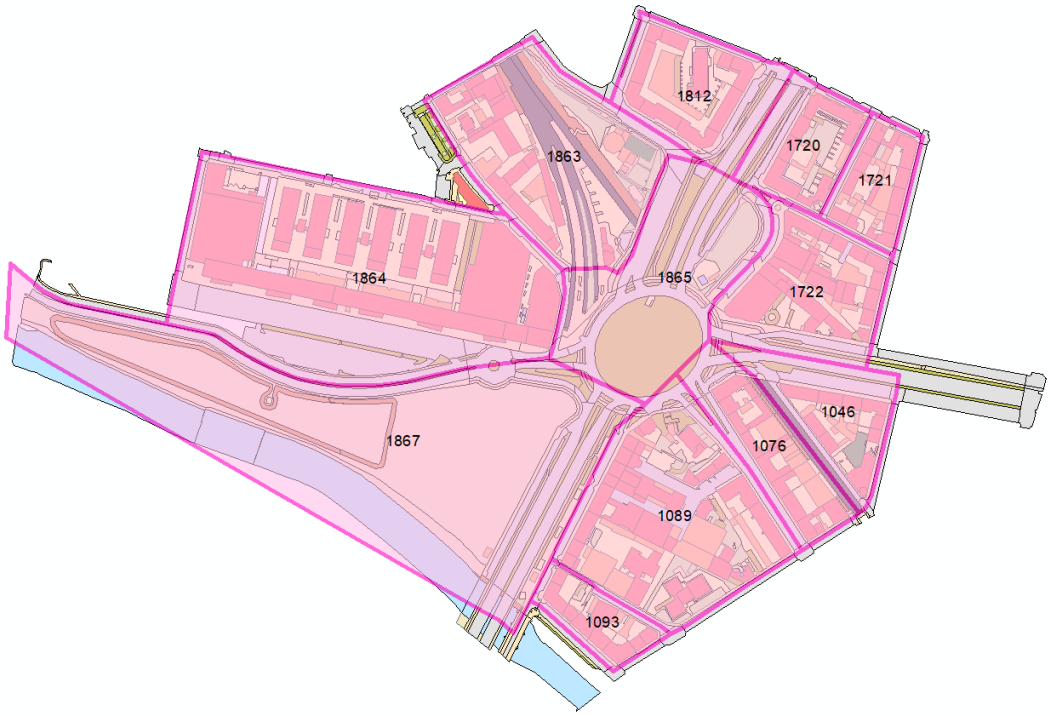


Figura 3-13: Sezioni di censimento ISTAT 2011 nei pressi di piazza Baldissera

Tabella 3-2: Residenti per sezioni di censimento nei pressi di piazza Baldissera

Sezioni statistiche ISTAT (2011)	1864	1867	1093	1089	1076	1046	1722	1865	1721	1720	1812	1863
Residenti totali	36	0	154	393	335	240	230	5	174	252	537	194

Per quanto riguarda gli esercizi commerciali, in zona sono presenti numerose piccole attività, prevalentemente legate alla ristorazione e bar, molte delle quali gestite da residenti stranieri, fatto che conferma la multietnicità dell'area. Rilevante è la presenza di due grosse catene commerciali, un ipermercato in Corso Mortara nel complesso di destinazione commerciale denominato Snos, e il negozio di una grossa catena di elettronica di consumo ed elettrodomestici in corso Vigevano all'angolo con piazza Baldissera. Per quanto riguarda gli altri immobili sono prevalentemente di carattere residenziale. Nella figura seguente si illustrano le varie categorie d'uso degli edifici nei pressi di piazza Baldissera.

Figura 3-14: Edifici per categoria d'uso nei pressi di piazza Baldissera

LEGENDA

- amministrativo
- commerciale
- commerciale - sede di supermercato, ipermercato
- commerciale - terziario
- commerciale - terziario ; commerciale
- commerciale ; residenziale
- ferroviario - deposito
- ferroviario - stazione passeggeri
- industriale
- luogo di culto
- non conosciuto
- non conosciuto ; residenziale
- residenziale
- residenziale ; commerciale
- residenziale ; non conosciuto
- servizi - istruzione - sede di scuola
- servizi - sede servizi sanitari asl
- servizio pubblico
- servizio pubblico ; residenziale
- strutture ricettive
- baracca
- basso fabbricato generico
- garage, box auto
- portico non sovracostruito

Si vogliono riportare inoltre i dati relativi ai valori medi di mercato degli immobili dei quartieri nei pressi di piazza Baldissera elaborati dall'osservatorio FIAIP (Federazione Italiana Agenti Immobiliari Professionali) di Torino.

Tabella 3-3: Valori medi di mercato in €/m² degli immobili nel quartiere Aurora di Torino

AURORA						
APPARTAMENTI	NUOVI O RISTRUTTURATI		IN BUONO STATO ABITABILI		DA RISTRUTTURARE	
valori in euro al metro quadro	min 1.300	max 1.500	min 1.100	max 1.300	min 700	max 900
PARCHEGGI	POSTI AUTO SCOPERTI		POSTI AUTO COPERTI		BOX SINGOLI	
valori in euro riferiti all'intera unità	min 3.000	max 5.000	min 6.000	max 7.000	min 10.000	max 16.000
NEGOZI	PRIMARIA POSIZIONE				ALTRE POSIZIONI	
valori in euro al metro quadro	min 1.100	max 1.400			min 900	max 1.000
UFFICI	valori in euro al mq		min 1.100		max 1.300	

Tabella 3-4:Valori medi di mercato in €/m² degli immobili nel quartiere Barriera di Milano di Torino

BARRIERA DI MILANO						
APPARTAMENTI	NUOVI O RISTRUTTURATI		IN BUONO STATO ABITABILI		DA RISTRUTTURARE	
valori in euro al metro quadro	min 1.050	max 1.700	min 700	max 1.050	min 450	max 700
PARCHEGGI	POSTI AUTO SCOPERTI		POSTI AUTO COPERTI		BOX SINGOLI	
valori in euro riferiti all'intera unità	min 2.750	max 5.000	min 5.500	max 9.000	min 7.500	max 12.500
NEGOZI	PRIMARIA POSIZIONE				ALTRE POSIZIONI	
valori in euro al metro quadro	min 600	max 800			min 400	max 500
CAPANNONI INDUSTRIALI	valori in euro al mq (riferiti al 2017)		min 400		max 500	

Tabella 3-5:Valori medi di mercato in €/m² degli immobili nel quartiere Borgo Vittoria di Torino

BORGO VITTORIA						
APPARTAMENTI	NUOVI O RISTRUTTURATI		IN BUONO STATO ABITABILI		DA RISTRUTTURARE	
valori in euro al metro quadro	min 1.500	max 1.900	min 1.100	max 1.400	min 700	max 1.000
PARCHEGGI	POSTI AUTO SCOPERTI		POSTI AUTO COPERTI		BOX SINGOLI	
valori in euro riferiti all'intera unità	min 5.000	max 6.000	min 6.000	max 9.000	min 10.000	max 15.000
NEGOZI	PRIMARIA POSIZIONE				ALTRE POSIZIONI	
valori in euro al metro quadro	min 800	max 1.100			min 500	max 700
UFFICI	valori in euro al mq		min 600		max 1.000	
CAPANNONI INDUSTRIALI	valori in euro al mq		min 500		max 700	

Tabella 3-6:Valori medi di mercato in €/m² degli immobili nel quartiere San Donato di Torino

SAN DONATO - CAMPIDOGLIO						
APPARTAMENTI	NUOVI O RISTRUTTURATI		IN BUONO STATO ABITABILI		DA RISTRUTTURARE	
valori in euro al metro quadro	min 1.800	max 2.500	min 1.300	max 1.800	min 900	max 1.400
PARCHEGGI	POSTI AUTO SCOPERTI		POSTI AUTO COPERTI		BOX SINGOLI	
valori in euro riferiti all'intera unità	min 5.300	max 6.700	min 7.300	max 10.000	min 14.000	max 21.800
NEGOZI	PRIMARIA POSIZIONE				ALTRE POSIZIONI	
valori in euro al metro quadro	min 900	max 1.500			min 600	max 1.100
UFFICI	valori in euro al mq		min 900		max 1.800	

3.2.2 Caratteristiche dell'assetto delle infrastrutture di trasporto

Una delle infrastrutture di trasporto più importanti della zona è la stazione di Torino Dora, capolinea della linea ferroviaria Torino-Cerés (SFM A, Servizio Ferroviario Metropolitano Torino Dora – Céres); essa è il collegamento ferroviario con l'area nord-ovest del capoluogo piemontese; il tragitto, di fondamentale importanza, collega la città con l'aeroporto di Torino-Caselle, passando per Venaria Reale e con stazione capolinea a Céres, comune della Città Metropolitana di Torino nelle Valli di Lanzo. La linea ha 21 stazioni e una lunghezza complessiva di 45 km; l'ente di gestione è la GTT (Gruppo Torinese Trasporti) e non le ferrovie dello stato; ha un'utenza elevata, in base agli ultimi dati disponibili[48], è stimata in circa 1 411 932 passeggeri nel 2014,

[48] Fonte: AGENZIA PER LA MOBILITÀ METROPOLITANA E REGIONALE, *Traffico passeggeri e utenza sulle linee Sfm*, 2015.

vale a dire più di 3 500 passeggeri al giorno.

Vista l'importanza del collegamento le linee urbane di autobus sono intensificate con la linea SF1 o linea Dora Express, che si compone di una sola tratta dalla stazione capolinea Dora Cap. in corso Principe Oddone nei pressi di piazza Baldissera fino alla stazione di interscambio di Torino Porta Susa.

Nell'area sono presenti numerose fermate delle linee urbane di autobus oltre a quella già citata.

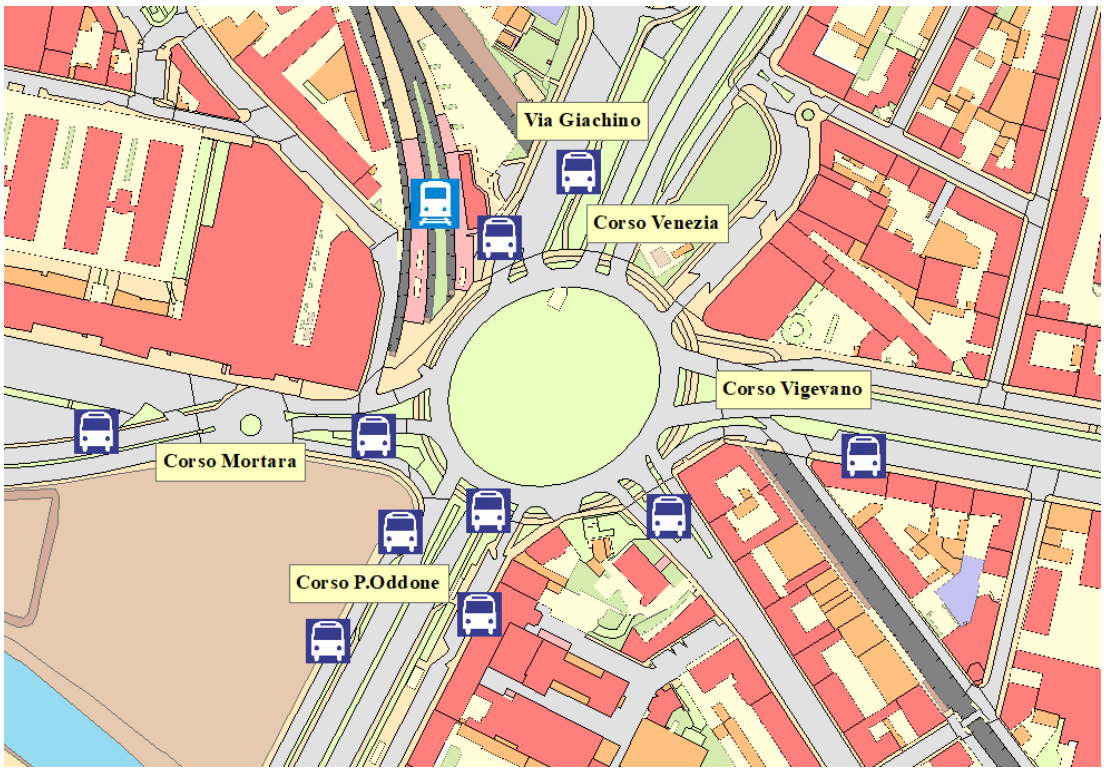


Figura 3-15: Stazioni autobus di linea nei pressi di piazza Baldissera

Al fine di analizzare successivamente i valori del traffico nei pressi di piazza Baldissera è bene avere un quadro ben chiaro sulle capacità dei vari confluenti viari, ovvero quantificare il numero di corsie, ordinarie e riservate ai mezzi pubblici, che si innestano in piazza Baldissera. Corso principe Oddone è sicuramente la strada con la maggior capacità, infatti il viale principale è composto da tre corsie ordinarie a carreggiata che si restringono in due corsie pochi metri prima dell'imbocco di piazza Baldissera, oltre ad un controviale ad una corsia; corso Vigevano invece ha 2 corsie ordinarie che confluiscono nella rotatoria con l'innesto pochi metri prima del

controviale; corso Mortara come via Giachino e via Cecchi sfocia nella piazza con una corsia ordinaria e una corsia riservata ai mezzi pubblici, mentre corso Venezia vede l'innesto nella piazza di una sola corsia ordinaria derivante dal restringimento di una carreggiata a 2 corsie ordinarie. Si riporta uno schema riassuntivo di quanto appena descritto.

Tabella 3-7: Numero di corsie convoglianti in piazza Baldissera

	Corsie ordinarie	Corsie riservate	Corsie totali
Corso P. Oddone	3	0	3
Corso Vigevano	2	0	2
Corso Mortara	1	1	2
Via Giachino	1	1	2
Via Cecchi	1	1	2
Corso Venezia	1	0	1

Oltre all'assetto delle infrastrutture di trasporto destinate alla circolazione veicolare è interessante notale l'assetto di quelle relative alla circolazione pedonale e ciclabile.

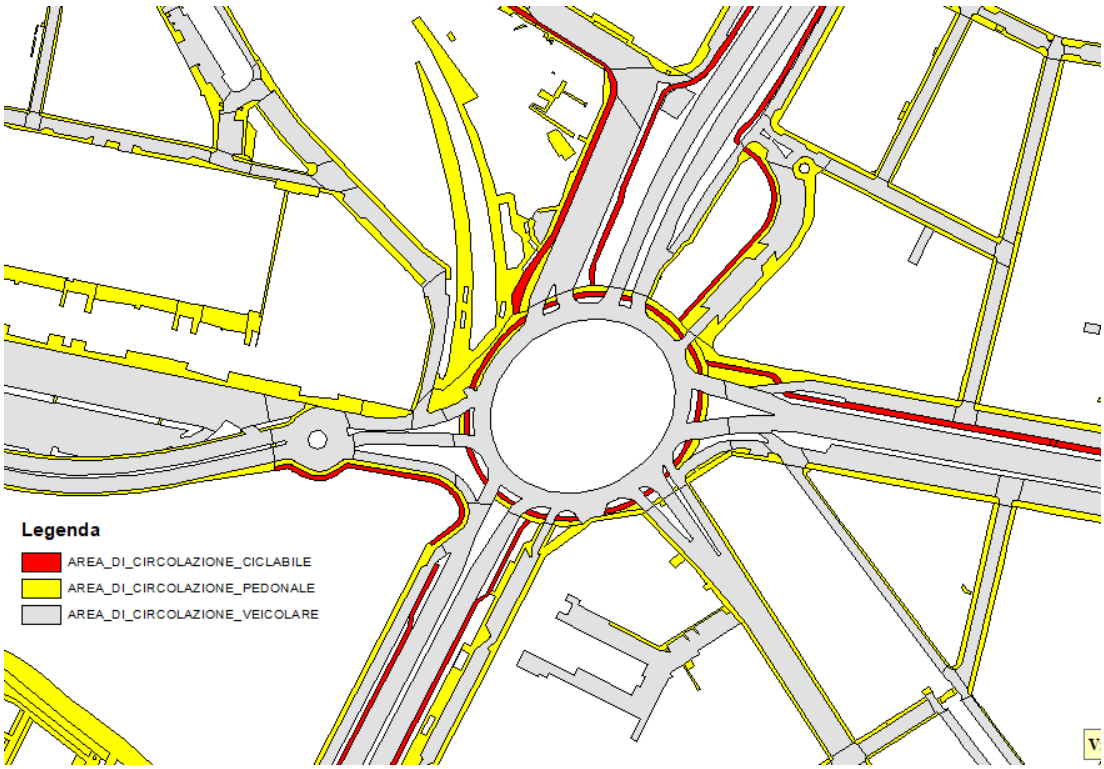


Figura 3-16: Assetto delle infrastrutture di trasporto nei pressi di piazza Baldissera

3.2.2.1 Criticità viarie

Per i fattori appena esposti piazza Baldissera è un nodo cruciale per quanto riguarda la circolazione veicolare. Il traffico veicolare è composto prevalentemente da autovetture e sostanzialmente la piazza è l'intersezione di 2 assi viari principali, l'asse est-ovest, che collega corso Vigevano a corso Mortara, e l'asse nord-sud, che collega corso Venezia a corso P. Oddone. Il traffico convogliante nella piazza è in gran parte composto da pendolari, provenienti dalla prima cintura nord di Torino, infatti il flusso di traffico è massimo nelle "ore di punta", ovvero quelle ore prima dell'apertura dei principali posti di lavoro e nelle ore secessive all'uscita dei lavoratori. Dati gli elevati flussi di traffico che vengono prodotti, la piazza, soprattutto nelle fasce orarie sopra citate, presenta una viabilità critica, che unita ad eventi imprevedibili (come ad esempio incidenti stradali), diventa da tutti i punti di vista insostenibile.
Per questi motivi è bene analizzare i dati del traffico, sia per quanto riguarda il flusso veicolare che per il numero di veicoli in coda oltre che ai tempi in cui permangono tali condizioni.

3.2.2.2 Caratteristiche del traffico

I dati del traffico che si vogliono presentare sono relativi ad una campagna di rilevazione del traffico effettuata in situ, con strumenti molto semplici quali contapersone e cronometri, nel periodo che va dal 16 settembre 2019 al 13 dicembre dello stesso anno. I dati esposti sono le medie dei valori dei vari rilevamenti nei mesi citati, per i soli giorni feriali (lunedì-venerdì), nelle varie ore della giornata. Le rilevazioni sono state effettuate su sezioni stradali che ben rappresentano il traffico stradale in entrata nella piazza, per questi motivi i dati sono stati rilevati nei tronchi stradali con flusso diretto in piazza Baldissera pochi metri prima dell'innesto con la rotatoria; nel caso di presenza di controviale è stato considerato nel conteggio anche il medesimo contributo. I dati del traffico sono stati rilevati in situ per le principali fasce orarie, solamente nelle ore notturne (dalle ore 2:00 alle ore 5:00) i dati sono il frutto di una stima effettuata tenendo conto dell'andamento del traffico e delle caratteristiche proprie della piazza.[49]

[49] In queste ore si è ritenuto non opportuno effettuare delle vere e proprie campagne di rilevamento del traffico in quanto i dati da utilizzare per le successive elaborazioni risultano meno rilevanti; in ogni caso visto l'andamento del traffico in queste ore la stima effettuata non si allontana dai valori reali.

Si riporta uno schema delle sezioni stradali di rilevamento e un esempio di scheda di rilevazione utilizzata in situ.

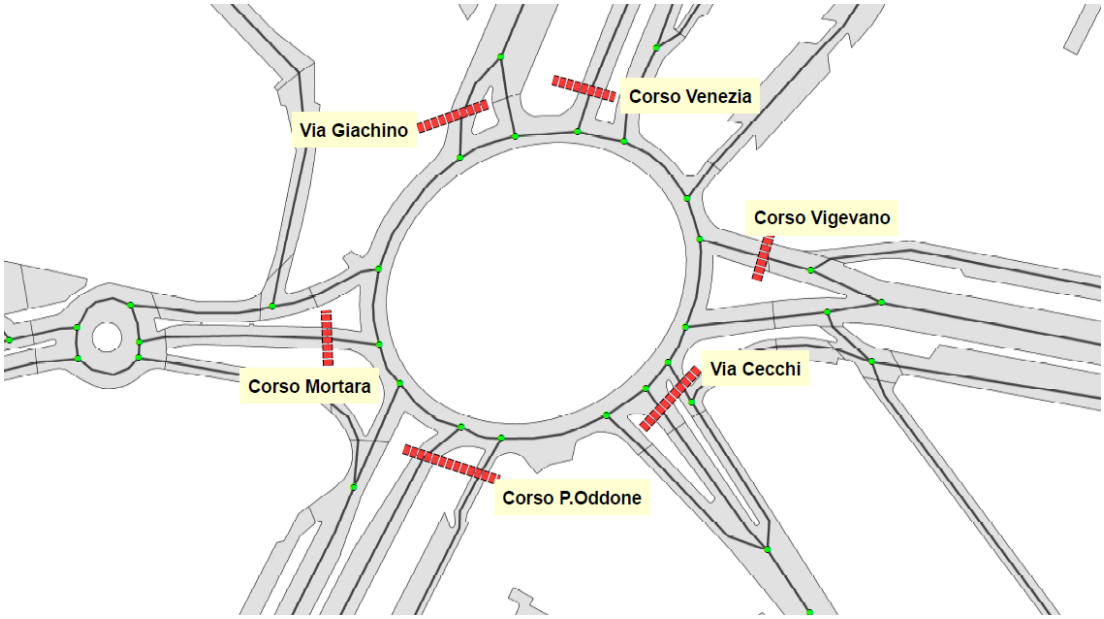


Figura 3-17: Sezioni stradali di rilevamento del traffico

I primi dati che si espongono sono quelli relativi al flusso veicolare per ogni confluente viario; nella tabella seguente i dati relativi al numero di veicoli/h per ogni fascia oraria.

Tabella 3-8: Flusso del traffico entrante in piazza Baldissera in giorno feriale medio nei vari confluenti vari

FLUSSO VEICOLI/h						
Fascia oraria	Corso Vigevano	Corso Venezia	Via Giachino	Corso Mortara	Corso Principe Oddone	Via Cecchi
0:00-1:00	276	84	96	102	414	42
1:00-2:00	193	67	77	82	290	29
2:00-3:00	97	54	61	65	145	15
3:00-4:00	48	27	31	33	72	7
4:00-5:00	97	67	77	65	145	15
5:00-6:00	130	146	128	89	268	28
6:00-7:00	260	292	256	178	535	56
7:00-8:00	520	584	512	356	1070	112
8:00-9:00	951	621	576	604	1390	134
9:00-10:00	563	363	323	486	1109	93
10:00-11:00	308	162	199	356	531	85
11:00-12:00	261	150	189	259	363	90
12:00-13:00	250	146	186	166	344	88
13:00-14:00	338	197	251	224	464	119
14:00-15:00	628	327	354	381	890	128
15:00-16:00	797	482	525	496	1203	138
16:00-17:00	956	538	565	564	1388	179
17:00-18:00	1123	593	601	592	1529	204
18:00-19:00	1004	564	579	583	1344	127
19:00-20:00	978	537	559	576	1092	119
20:00-21:00	798	480	478	486	960	98
21:00-22:00	730	337	355	353	850	84
22:00-23:00	631	259	279	275	693	61
23:00-24:00	534	135	162	147	579	50

Veicoli al giorno	12470	7212	7418	7517	17667	2101

TOTALI	54386

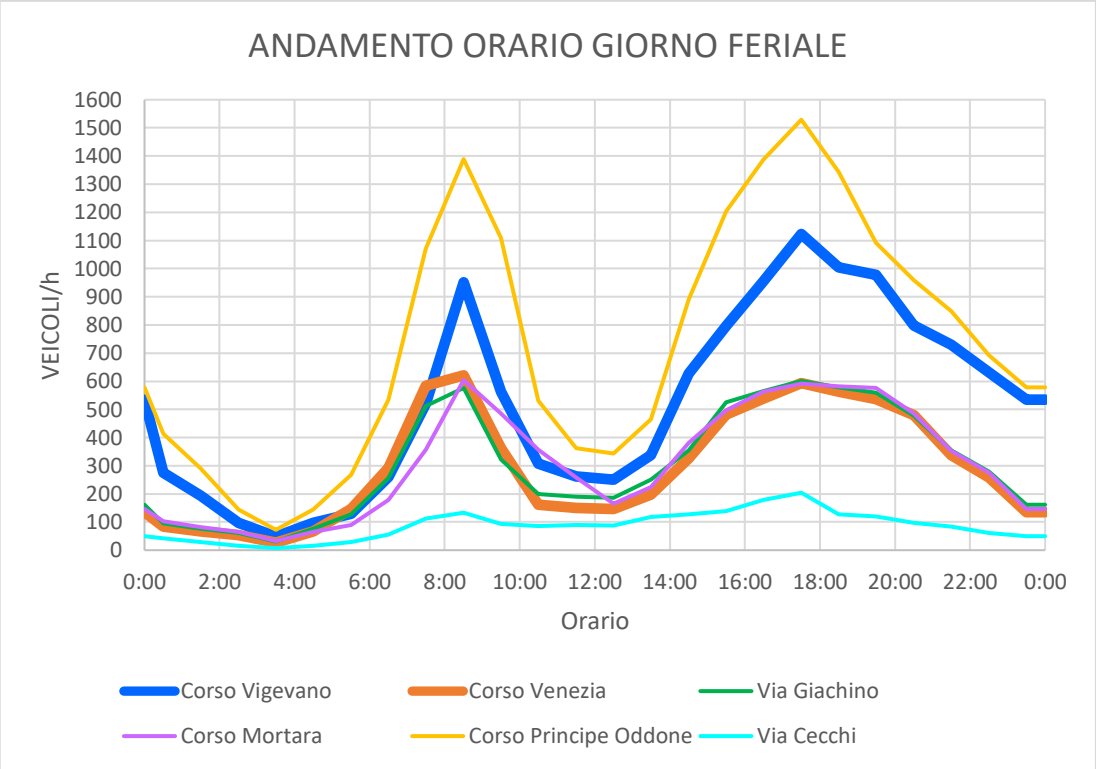


Figura 3-18: Grafico andamento orario traffico convogliante in piazza Baldissera in giorno feriale medio

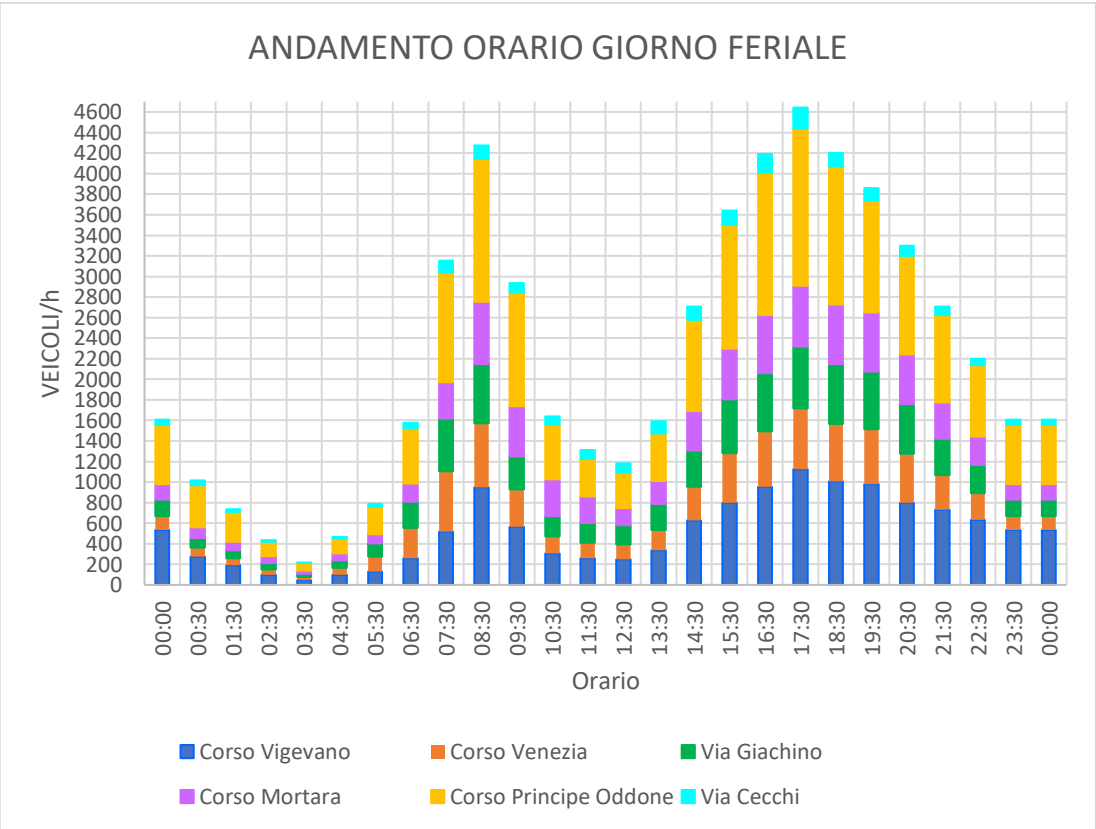


Figura 3-19:Istogramma andamento orario traffico convogliante in piazza Baldissera in giorno feriale medio

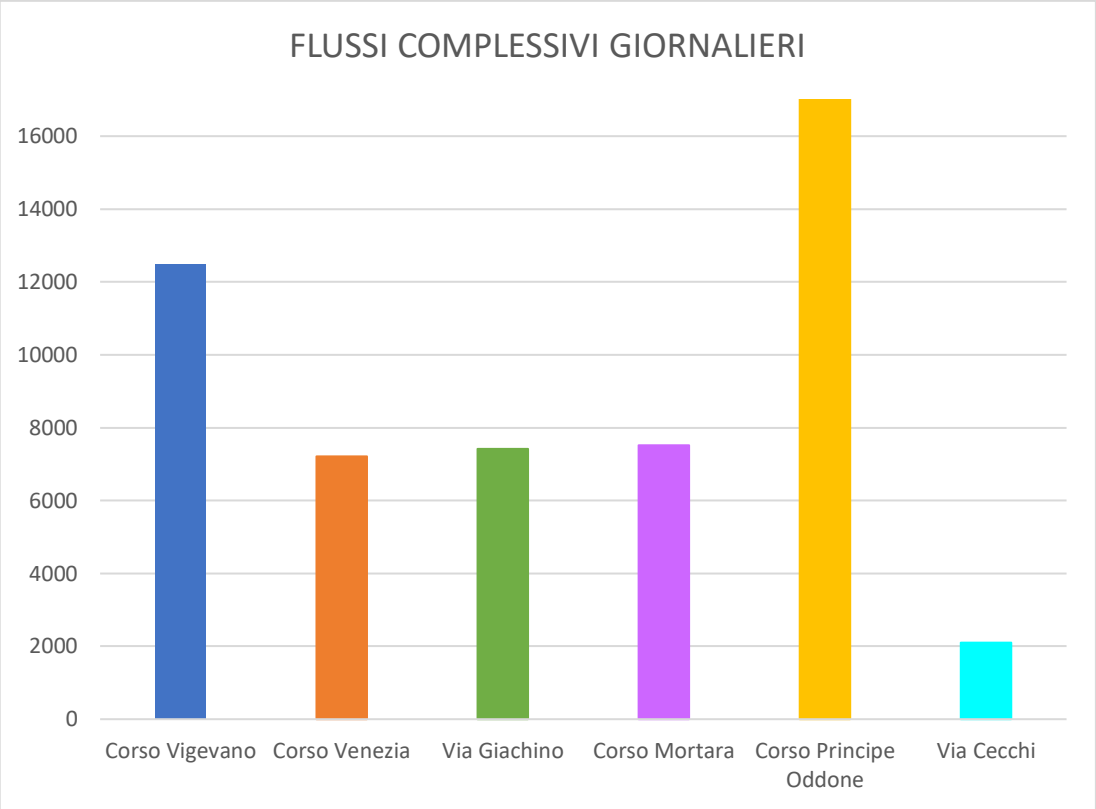


Figura 3-20: Flussi complessivi giornalieri traffico convogliante in piazza Baldissera

Come si può notare dai dati corso Principe Oddone è la strada con il più elevato valore di flusso di traffico, è da notare anche che è quella con la maggiore capacità. Al secondo posto in termini di flusso veicolare troviamo corso Vigevano che sicuramente ha una capacità inferiore a corso Principe Oddone ma comunque valori ti traffico elevati; corso Venezia via Giacchino e corso Mortara sono invece confrontabili tra loro e hanno un flusso molto simile; infine troviamo via Cecchi con un flusso di molto inferiore ma allo stesso modo con una capacità di molto inferiore rispetto agli altri confluenti viari.

Si espongono ora nella tabella seguente i dati relativi ai veicoli in coda, intesi come numero di veicoli la cui velocità è azzerata dato il raggiungimento della massima densità veicolare; i dati sono medie dei valori puntuali di veicoli fermi in coda rilevati 4 volte per ogni fascia oraria.

Tabella 3-9: Veicoli in coda in attesa di immettersi in piazza Baldissera

VEICOLI IN CODA						
	Corso Vigevano	Corso Venezia	Via Giachino	Corso Mortara	Corso Principe Oddone	Via Cecchi
0:00-0:30	0	0	0	0	0	0
0:30-1:00	0	0	0	0	0	0
1:00-1:30	0	0	0	0	0	0
1:30-2:00	0	0	0	0	0	0
2:00-2:30	0	0	0	0	0	0
2:30-3:00	0	0	0	0	0	0
3:00-3:30	0	0	0	0	0	0
3:30-4:00	0	0	0	0	0	0
4:00-4:30	0	0	0	0	0	0
4:30-5:00	0	0	0	0	0	0
5:00-5:30	0	0	0	0	0	0
5:30-6:00	0	0	0	0	0	0
6:00-6:30	0	0	0	0	0	0
6:30-7:00	33	18	12	13	8	0
7:00-7:30	66	35	23	26	15	0
7:30-8:00	94	40	39	28	16	5
8:00-8:30	125	31	41	31	24	14
8:30-9:00	159	27	35	61	22	16
9:00-9:30	116	17	19	52	17	8
9:30-10:00	66	14	10	28	11	5
10:00-10:30	35	12	11	18	12	5
10:30-11:00	15	10	8	11	12	3
11:00-11:30	11	5	6	10	10	3
11:30-12:00	10	5	7	10	10	3
12:00-12:30	5	0	0	10	10	4
12:30-13:00	0	0	0	0	10	0
13:00-13:30	0	0	0	0	0	0
13:30-14:00	0	0	0	0	0	0
14:00-14:30	21	0	0	10	10	0
14:30-15:00	32	5	0	10	13	0
15:00-15:30	52	5	10	15	17	4
15:30-16:00	76	10	10	25	20	8
16:00-16:30	82	15	25	36	23	13
16:30-17:00	88	18	23	48	26	15
17:00-17:30	122	23	28	65	59	16
17:30-18:00	164	29	33	56	46	26
18:00-18:30	128	22	26	48	33	21
18:30-19:00	103	10	21	33	24	14
19:00-19:30	86	10	10	24	15	10
19:30-20:00	53	10	10	15	15	5
20:00-20:30	20	5	5	10	10	0
20:30-21:00	10	0	0	10	10	0
21:00-21:30	0	0	0	0	0	0
21:30-22:00	0	0	0	0	0	0
22:00-22:30	0	0	0	0	0	0
22:30-23:00	0	0	0	0	0	0
23:00-23:30	0	0	0	0	0	0
23:30-0:00	0	0	0	0	0	0

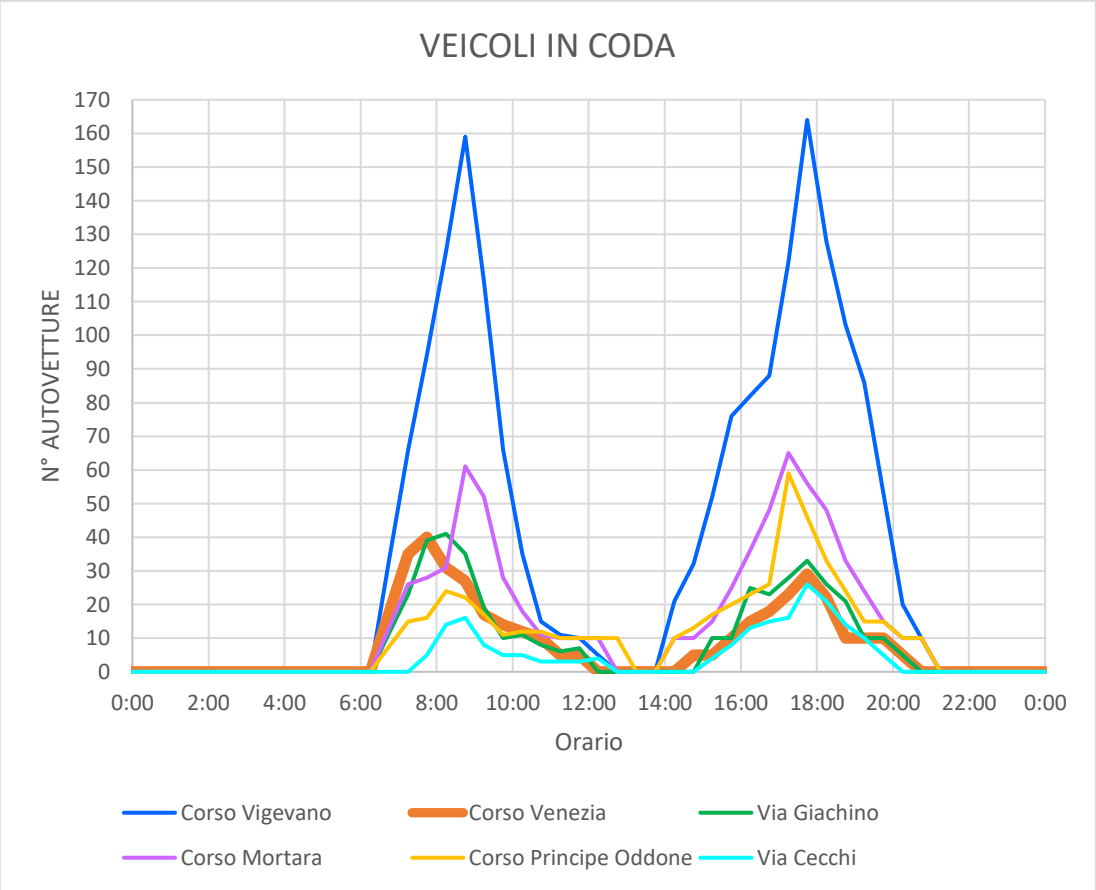


Figura 3-21: Grafico veicoli in coda in attesa di immettersi in piazza Baldissera

Si può notare da subito che il trend evidenziato dai dati di flusso non viene rispettato nel caso dei veicoli in coda, infatti nonostante il flusso sia maggiore per corso Principe Oddone è corso Vigevano ad avere in media le code di attesa più lunghe, seguito da corso Mortara; questo trend è molto evidente durante le ore di punta in mattinata dove in effetti il flusso di corso Principe Oddone è inferiore.

Si espongono ora nella tabella seguente i dati relativi ai tempi di attesa, intesi come la media del tempo in minuti che un veicolo permane nelle condizioni di coda, da quando, percorrendo uno dei confluenti viari di piazza Baldissera, per la prima volta subisce una condizione tale da azzerare la sua velocità (si arresta lungo il tronco stradale) fino a quando si immette nella rotatoria, ovvero quando attraversa la sezione stradale di rilevamento.

Tabella 3-10: Tempi di attesa o di coda dei veicoli per attraversare piazza Baldissera

TEMPI DI CODA [min]						
	Corso Vigevano	Corso Venezia	Via Giachino	Corso Mortara	Corso Principe Oddone	Via Cecchi
0:00-0:30	0	0	0	0	0	0
0:30-1:00	0	0	0	0	0	0
1:00-1:30	0	0	0	0	0	0
1:30-2:00	0	0	0	0	0	0
2:00-2:30	0	0	0	0	0	0
2:30-3:00	0	0	0	0	0	0
3:00-3:30	0	0	0	0	0	0
3:30-4:00	0	0	0	0	0	0
4:00-4:30	0	0	0	0	0	0
4:30-5:00	0	0	0	0	0	0
5:00-5:30	0	0	0	0	0	0
5:30-6:00	0	0	0	0	0	0
6:00-6:30	1	0	0	0	0	0
6:30-7:00	1	0	0	1	0	0
7:00-7:30	3	2	2	3	1	1
7:30-8:00	5	3	3	4	1	1
8:00-8:30	8	3	4	5	1	1
8:30-9:00	9	3	4	9	2	2
9:00-9:30	6	2	2	5	2	1
9:30-10:00	3	1	1	3	1	1
10:00-10:30	2	1	1	2	1	1
10:30-11:00	1	1	1	1	1	1
11:00-11:30	1	0	0	0	0	0
11:30-12:00	1	0	0	0	0	0
12:00-12:30	0	0	0	0	0	0
12:30-13:00	0	0	0	0	0	0
13:00-13:30	0	0	0	0	0	0
13:30-14:00	0	0	0	0	0	0
14:00-14:30	1	0	0	1	0	0
14:30-15:00	1	0	0	1	0	0
15:00-15:30	3	1	1	2	1	1
15:30-16:00	5	1	1	4	1	1
16:00-16:30	5	1	1	4	1	1
16:30-17:00	6	2	2	6	2	1
17:00-17:30	7	3	3	8	4	2
17:30-18:00	10	3	3	10	4	3
18:00-18:30	8	2	2	7	3	2
18:30-19:00	5	1	1	6	2	1
19:00-19:30	3	1	1	4	1	1
19:30-20:00	2	1	1	2	1	1
20:00-20:30	1	1	1	1	1	1
20:30-21:00	1	1	1	1	1	1
21:00-21:30	1	0	0	1	0	0
21:30-22:00	1	0	0	1	0	0
22:00-22:30	0	0	0	0	0	0
22:30-23:00	0	0	0	0	0	0
23:00-23:30	0	0	0	0	0	0
23:30-0:00	0	0	0	0	0	0

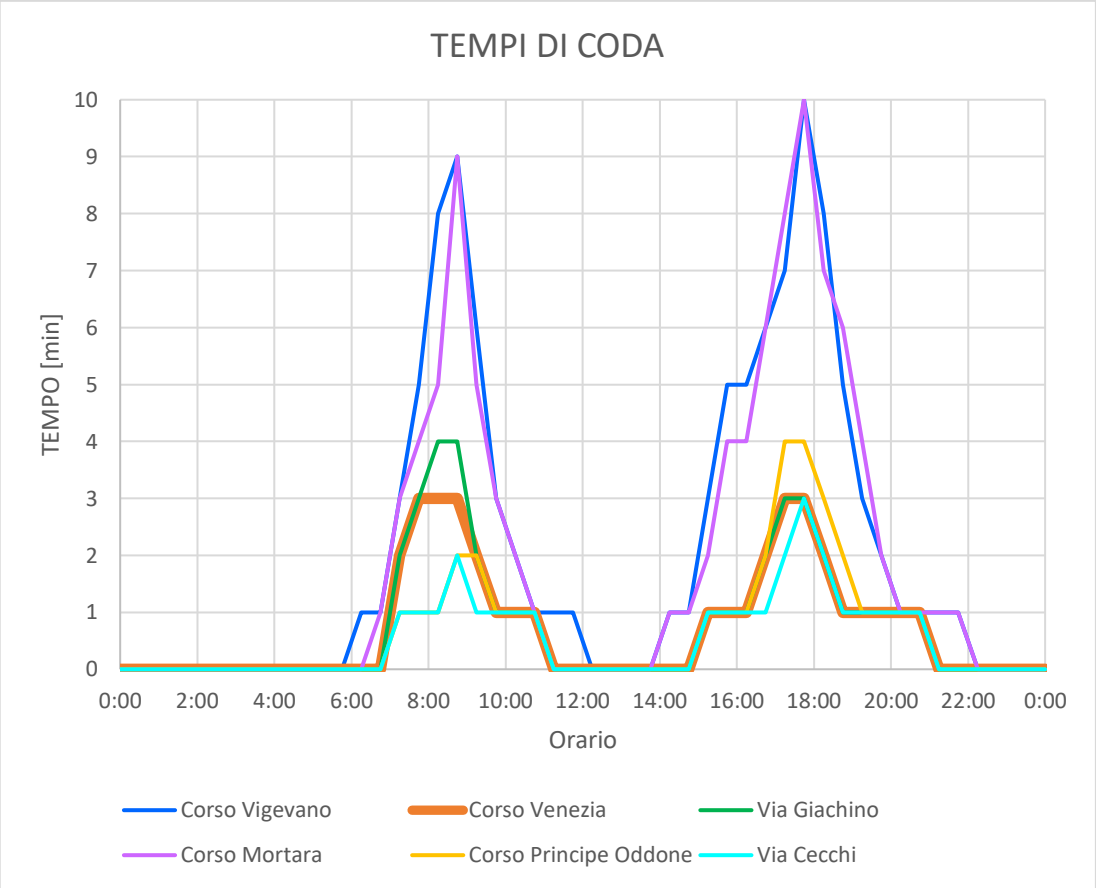


Figura 3-22: Grafico tempi di coda dei veicoli per attraversare p.zza Baldissera

Nel caso dei tempi di coda il trend analizzato in precedenza viene confermato e anzi accentuato, infatti i tempi di coda di corso Vigevano diventano confrontabili con quelli di corso Mortara. Le ragioni per cui corso Mortara risente molto di più del traffico in termini di tempi di coda, anche se in termini di flusso è confrontabile a corso Venezia e a via Giachino, va ricercata nelle traiettorie maggiormente solcate dalle autovetture nella rotatoria; infatti la principale destinazione di uscita dalla rotatoria è corso Principe Oddone, che è l'uscita successiva a corso Mortara, in questo modo il traffico di corso Mortara è bloccato dal traffico proveniente da tutti i confluenti viari verso corso Principe Oddone, andandone a risentire soprattutto in termini di tempi di percorrenza.

Capitolo 4

ACB APPLICATA AL CASO STUDIO

Come spiegato in precedenza, l'analisi costi benefici rappresenta uno strumento di supporto decisionale per la realizzazione di opere pubbliche, e quindi, come trattato in questo testo, per capire la sostenibilità finanziaria ed economico-sociale di un investimento atto a migliorare la viabilità urbana attraverso la realizzazione di una nuova infrastruttura.

Per realizzare un'analisi accurata è fondamentale, dunque, definire a priori un progetto, almeno di fattibilità tecnico-economica, dell'infrastruttura da realizzare, che possa caratterizzare in modo concreto tutta la prima parte dell'analisi, ovvero quella finanziaria, che definisce in modo univoco, tra gli altri, i costi legati alla realizzazione dell'opera come descritto nel capitolo 1.

Tuttavia, come già esposto in precedenza, la principale criticità nella realizzazione di un'analisi costi benefici, risiede nella determinazione, e quindi quantificazione, di tutte quelle esternalità, positive o negative, che produce un intervento; si tratta dunque di considerazioni proprie di un'analisi economico-sociale dell'investimento, che risultano di più difficile attuazione in quanto c'è la necessità di avvalersi di complessi modelli di valutazione, non sempre convenzionali, che usufruiscono sia di tecniche ormai consolidate che di procedure sperimentali, spesso provenienti da altre discipline.

In quest'ottica si vuole descrivere, in queste righe, un approccio alla individuazione, definizione, quantificazione e successiva valorizzazione o monetizzazione delle esternalità prodotte da un'infrastruttura per poi essere incorporate in un'analisi costi benefici vera e propria, applicabili a largo campo in qualsiasi intervento infrastrutturale, e nel nostro caso alle caratteristiche proprie di piazza Baldissera.

4.1 La valutazione delle esternalità

La valutazione delle esternalità di un'infrastruttura prevede in prima battuta un'analisi accurata del contesto economico-sociale e dell'assetto delle infrastrutture di trasporto, come fatto nel capitolo 3, per andare ad identificare tutte quelle caratteristiche che sono intrinseche all'intervento in esame. Risulta difficile dunque identificare linee guida precise per la determinazione di valutazioni di questo genere in quanto caratterizzanti ogni singola realtà. Quanto detto si rende necessario nell'ottica di realizzare un'ACB che non sia un semplicistico esercizio di stima effettuato adottando uno schema di valutazione "standard", ma un'analisi il più possibile realistica e contestualizzata.

In linea generale si deve far riferimento a quelle esternalità che realmente porteranno a benefici o a danni alla collettività caso per caso.

In questo studio ci si pone in un'ottica di valutazione delle esternalità prodotte dall'infrastruttura, ovvero piazza Baldissera, in questo momento, andando a valutare cioè quelli che di fatto sarebbero i benefici indiretti legati ad un'ACB di un investimento infrastrutturale migliorativo della piazza. Ci si concentrerà, dunque, in linea generale, sulla valutazione della congestione stradale, degli impatti ambientali e quindi sulla stima del costo sociale della vita umana.

4.2 Costi della congestione stradale

Con la concezione di congestione stradale fornita nel par. 2.2.1 si vuole descrivere la procedura per la terminazione dei costi della congestione stradale (CCS).

Esistono sostanzialmente due approcci per la determinazione dei CCS:

- uno legato alla sola determinazione del costo del ritardo (DC – Delay Cost), che definiremo approccio DC;
- l'altro legato alla cosiddetta perdita secca[50] (DWL – Dead Weight Loss), che definiremo approccio DWL.

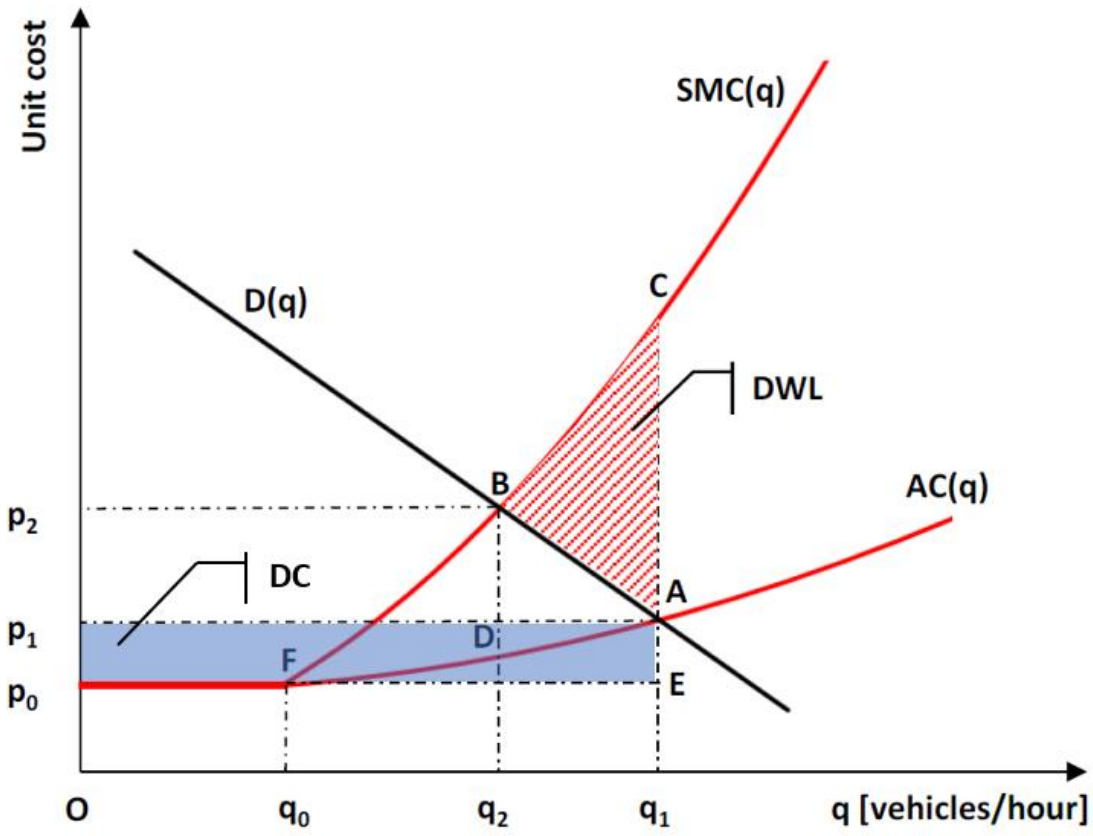


Figura 4-1: Congestione stradale dipendente dalla condizione della rete[51]

La figura 4-1 illustra la determinazione dei due diversi approcci, dove:

- q rappresenta il flusso di traffico espresso in ve/h;

[50] Con questo termine si intende la perdita di benessere da eccesso di consumo.
[51] Fonte: EUROPEAN COMMISSION, *Handbook on the external costs of transport: Version 2019*, Figure 7, p.88.

- p rappresentano i costi unitari della congestione stradale;
- AC(q) rappresenta la funzione di costo medio privato[52] del viaggio (Average Cost);
- D(q) rappresenta la curva di domanda di utilizzo del collegamento stradale;
- SMC(q) rappresenta la funzione di costo marginale sociale (Social Marginal Cost).

Il costo del viaggio rimane costante a p_0 fino a quando permangono condizioni di *free-flow*[53] (punto F); all'aumentare del flusso la velocità si riduce, il tempo di viaggio aumenta e conseguentemente il costo medio di viaggio aumenta, come descritto dalla curva AC(q), fino a che non si intercetta la curva di domanda della rete (punto A).
L'approccio DC definisce dunque i CCS come il valore del tempo (VOT – Value Of Time) perso in relazione ad una condizione di *free-flow*. Nella figura 4-2 esso coincide con il rettangolo p_0EAp_1.

$$CCS = DC$$

Il secondo approccio, DWL, è sicuramente più rappresentativo ma comporta un onere di calcolo maggiore, in prima battuta per la necessità di stimare i costi marginali della congestione stradale; per questi motivi per la determinazione dei CCS si utilizzerà l'approccio DC, andando a definire i VOT che caratterizzano la nostra analisi.

4.2.1 Valore del tempo

Il valore del tempo è un parametro che esprime il valore monetario associato al tempo che un utente impiega per muoversi legato alle infrastrutture di trasporto. Si arriverà dunque alla determinazione del DC, ovvero del valore del tempo che permane in coda un veicolo in caso di traffico.

[52] Inteso come costo medio a carico dell'utente che sta effettuando il trasferimento.
[53] Condizione definita di *flusso-libero* quando non si registrano flussi di traffico elevati e dunque il flusso è significativamente inferiore alla capacità della rete.

4.2.1.1 Quantificazione e monetizzazione

Il VOT è una delle poche esternalità che sono spesso presenti nelle ACB convenzionali effettuate su interventi infrastrutturali. Allo stesso tempo costituisce uno dei parametri la cui quantificazione è maggiormente standardizzata[54].

In letteratura esistono due metodologie per la monetizzazione del valore del tempo, con una distinzione tra la stima del tempo lavorativo e la stima del tempo non lavorativo (incluso il pendolarismo). Il primo metodo lega il valore del tempo al costo orario della forza lavoro, nell'ipotesi che il tempo impiegato per viaggi connessi all'attività lavorativa potrebbe essere impiegato in un'attività remunerativa alternativa e, pertanto, rappresenta un costo per il datore di lavoro. Il secondo metodo stima il valore del tempo di viaggio per motivi non solo lavorativi, tipicamente attraverso l'elaborazione di un modello di scelta discreta, utilizzando le preferenze espresse dai viaggiatori rispetto a diverse alternative di viaggio (caratterizzate da diversi tempi e costi, ad esempio percorsi o modi di trasporto alternativi). Pertanto, il primo approccio risulta utile per stimare il valore del tempo degli spostamenti connessi all'attività lavorativa, mentre per la stima del valore del tempo impiegato in spostamenti non connessi al lavoro sarà più opportuno adoperare il secondo approccio descritto[55].

Secondo quanto descritto nelle linnee guida del Ministero delle Infrastrutture e Trasporti (MIT) viene proposta la seguente tabella per la valutazione del VOT[56], in funzione dunque della classe di distanza dello spostamento, urbano/metropolitano o su media/lunga distanza, e del motivo di tale spostamento dei passeggeri:

- per motivi di lavoro (motivo del *business*). Chi effettua uno spostamento legato al lavoro stesso, quindi, come descritto precedentemente, il tempo trascorso per lo spostamento è a tutti gli effetti rientrante nelle ore lavorative, come ad esempio nel caso di corrieri, autotrasportatori o taxisti;
- per trasferimenti casa-lavoro (motivo del pendolarismo). Chi effettua lo spostamento per recarsi al proprio posto di lavoro o per tornare a casa, dove il tempo impiegato per lo spostamento viene considerato dagli individui parte

[54] A. FALVO, A. MARABUCCI, *L'analisi costi benefici applicata alle infrastrutture di trasporto*, in Working Paper n° 87, Dipartimento di Economia Università degli Studi Roma Tre, 2008.

[55] MINISTERO DELLE INFRASTUTTURE E DEI TRASPORTI, *Linee guida per la valutazione degli investimenti in opere pubbliche*, 2017.

[56] Tali valori proposti dal MIT sono frutto della valutazione dei valori di riferimento di EUROPEAN COMMISSION, *Handbook on the external costs of transport: Version 2019*.

integrante del lavoro, ma non rientra effettivamente nel conteggio di ore lavorative;

- altri motivi. Chi effettua uno spostamento in linea generale per il tempo libero come ad esempio nel caso di individui che si recano a fare compere.

Tabella 4-1: Valori del tempo (VOT) per motivo dello spostamento e classe di distanza[57]

	Valore del tempo (€2016/ore a persona)		
	Business	Pendolarismo	Altri motivi
Spostamenti urbani e metropolitani	12-20	5-10	5-15
Spostamenti su medie e lunghe distanze	20-35	10-15	10-25

Nel nostro caso, analizzando la tipologia di traffico in piazza Baldissera, si è ritenuto opportuno considerare solo gli spostamenti urbani e metropolitani[58], anche se con una approfondita analisi si potrebbe considerare una percentuale di spostamenti su medie e lunghe distanze per tutti gli utenti che percorrono la piazza e provengono dalla cintura nord di Torino. Con riferimento ai suddetti valori si è ipotizzato un VOT di riferimento pari a 20 €/ora per il motivo business, 10 €/ora per motivo pendolarismo, 10 €/ora per altri motivi.

Tabella 4-2: Valori VOT scelti per l'analisi

	VOT ***(€2016/h.pers)***		
	Business	Pendolarismo	Altri *motivi*
Spostamenti ***urbani e metropolitani***	20	10	10

Per arrivare alla determinazione del VOT è necessario, dunque, definire le percentuali di utenti che transitano nella piazza distinti per motivo di spostamento (spo). Effettuare questa valutazione può rivelarsi complicato, in quanto, probabilmente, l'unico modo per avere dati certi sarebbe quello di effettuare una campagna di rilevamento delle abitudini degli utenti della piazza tramite l'uso di questionari. Tuttavia è stato possibile stimare queste percentuali facendo riferimento principalmente alle caratteristiche del

[57] Fonte: MINISTERO DELLE INFRASTUTTURE E DEI TRASPORTI, *Linee guida per la valutazione degli investimenti in opere pubbliche*, 2017, p.90, Tabella A4_1

[58] Facendo questa assunzione probabilmente si sottostima il VOT visti i valori più elevati per gli spostamenti su medie e lunghe distanze, anche se in fase conclusiva è stato scelto un valore di VOT che sostanzialmente media i valori tra gli spostamenti urbani e su medie e lunghe distanze.

traffico osservate, oltre che al report sulla mobilità veicolare della Regione Piemonte[59] ed ai dati ISTAT relativi al pendolarismo.

Tabella 4-3: Percentuale motivi di spostamento per fascia oraria

	spo [%]		
	Business	Pendolarismo	Altri motivi
0:00-1:00	10%	0%	90%
1:00-2:00	10%	0%	90%
2:00-3:00	10%	0%	90%
3:00-4:00	10%	0%	90%
4:00-5:00	20%	5%	75%
5:00-6:00	25%	10%	65%
6:00-7:00	30%	50%	20%
7:00-8:00	15%	80%	5%
8:00-9:00	15%	80%	5%
9:00-10:00	20%	70%	10%
10:00-11:00	50%	30%	20%
11:00-12:00	50%	30%	20%
12:00-13:00	50%	30%	20%
13:00-14:00	50%	30%	20%
14:00-15:00	30%	50%	20%
15:00-16:00	15%	80%	5%
16:00-17:00	15%	80%	5%
17:00-18:00	15%	80%	5%
18:00-19:00	15%	80%	5%
19:00-20:00	30%	50%	20%
20:00-21:00	25%	10%	65%
21:00-22:00	20%	5%	75%
22:00-23:00	20%	5%	75%
23:00-24:00	15%	5%	80%

[59] REGIONE PIEMONTE, *Report 2017 sulla mobilità veicolare in Piemonte*, 2017, pp. 14-16.

In base alla tabella 3-10 si sono identificati i tempi medi, in minuti, che un utente trascorre in coda (dt – Delay Time), nelle diverse fasce orarie per ogni confluente viario della piazza.

Tabella 4-4: Tempi di coda (dt) [min] per fasce orarie in ogni confluente viario della piazza

	dt [min]					
	Corso Vigevano	Corso Venezia	Via Giachino	Corso Mortara	Corso P. Oddone	Via Cecchi
0:00-1:00	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
1:00-2:00	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
2:00-3:00	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
3:00-4:00	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
4:00-5:00	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
5:00-6:00	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
6:00-7:00	1.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
7:00-8:00	4.0	2.5	2.50	3.50	1.00	1.00
8:00-9:00	8.5	3.0	4.00	7.00	1.50	1.50
9:00-10:00	4.5	1.5	1.50	4.00	1.50	1.00
10:00-11:00	1.5	1.0	1.00	1.50	1.00	1.00
11:00-12:00	1.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
12:00-13:00	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
13:00-14:00	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
14:00-15:00	1.0	0.0	0.00	1.00	0.00	0.00
15:00-16:00	4.0	1.0	1.00	3.00	1.00	1.00
16:00-17:00	5.5	1.5	1.50	5.00	1.50	1.00
17:00-18:00	8.5	3.0	3.00	9.00	4.00	2.50
18:00-19:00	6.5	1.5	1.50	6.50	2.50	1.50
19:00-20:00	2.5	1.0	1.00	3.00	1.00	1.00
20:00-21:00	1.0	1.0	1.00	1.00	1.00	0.00
21:00-22:00	1.0	0.0	0.00	1.00	0.00	0.00
22:00-23:00	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
23:00-24:00	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00

4.2.1.2 Valorizzazione

Si possono calcolare a questo punto i DC per ogni fascia oraria per andare infine a calcolare il DC di un giorno medio feriale.

$$DC\left[\frac{€}{h.pers}\right] = \sum(spo \cdot VOT \cdot \mathrm{dt})$$

Tabella 4-5: Costi del ritardo (DC) (€/h.pers) per fasce orarie in ogni affluente viario della piazza

	DC [€2016/h.pers]					
	Corso Vigevano	Corso Venezia	Via Giachino	Corso Mortara	Corso P. Oddone	Via Cecchi
0:00-1:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1:00-2:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2:00-3:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3:00-4:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4:00-5:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5:00-6:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6:00-7:00	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7:00-8:00	0.77	0.48	0.48	0.67	0.19	0.19
8:00-9:00	1.63	0.58	0.77	1.34	0.29	0.29
9:00-10:00	0.90	0.30	0.30	0.80	0.30	0.20
10:00-11:00	0.38	0.25	0.25	0.38	0.25	0.25
11:00-12:00	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12:00-13:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13:00-14:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14:00-15:00	0.22	0.00	0.00	0.22	0.00	0.00
15:00-16:00	0.77	0.19	0.19	0.58	0.19	0.19
16:00-17:00	1.05	0.29	0.29	0.96	0.29	0.19
17:00-18:00	1.63	0.58	0.58	1.73	0.77	0.48
18:00-19:00	1.25	0.29	0.29	1.25	0.48	0.29
19:00-20:00	0.54	0.22	0.22	0.65	0.22	0.22
20:00-21:00	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.00
21:00-22:00	0.20	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00
22:00-23:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23:00-24:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Con i dati della tabella 3-8 che riportano i dati del flusso di traffico (q) in veicoli/orari e considerando una persona per veicolo[60], si calcola il valore dei DC in termini di €/orari.

$$DC\left[\frac{€}{h}\right] = DC\left[\frac{€}{h.pers}\right] \cdot q$$

Tabella 4-6: Costi del ritardo (DC) (€/h) per fasce orarie in ogni affluente viario della piazza

	DC [€2016/h]					
	Corso Vigevano	Corso Venezia	Via Giachino	Corso Mortara	Corso P. Oddone	Via Cecchi
0:00-1:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1:00-2:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2:00-3:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3:00-4:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4:00-5:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5:00-6:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6:00-7:00	56.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7:00-8:00	398.67	279.83	245.33	238.82	205.08	21.47
8:00-9:00	1549.34	357.08	441.60	810.37	399.63	38.53
9:00-10:00	506.70	108.90	96.90	388.80	332.70	18.60
10:00-11:00	115.50	40.50	49.75	133.50	132.75	21.25
11:00-12:00	65.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12:00-13:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13:00-14:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14:00-15:00	136.07	0.00	0.00	82.55	0.00	0.00
15:00-16:00	611.03	92.38	100.63	285.20	230.58	26.45
16:00-17:00	1007.78	154.68	162.44	540.50	399.05	34.31
17:00-18:00	1829.55	340.98	345.58	1021.20	1172.23	97.75
18:00-19:00	1250.82	162.15	166.46	726.32	644.00	36.51
19:00-20:00	529.75	116.35	121.12	374.40	236.60	25.78
20:00-21:00	166.25	100.00	99.58	101.25	200.00	0.00
21:00-22:00	145.92	0.00	0.00	70.51	0.00	0.00
22:00-23:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23:00-24:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

[60] Assunzione che in ogni caso sottostima il valore del VOT

E il VOT in termini di €/giorno.

Tabella 4-7: Costi del ritardo (DC) per giorno feriale medio

	DC [€2016/g.]						
	Corso Vigevano	Corso Venezia	Via Giachino	Corso Mortara	Corso P. Oddone	Via Cecchi	**Piazza Baldissera**
Giorno feriale medio	8368.96	1752.84	1829.38	4773.41	3952.62	320.65	**20997.86**

4.2.1.3 Osservazioni

È interessante andare a considerare l'incidenza del DC nei diversi affluenti viari rispetto al DC totale di Piazza Baldissera.

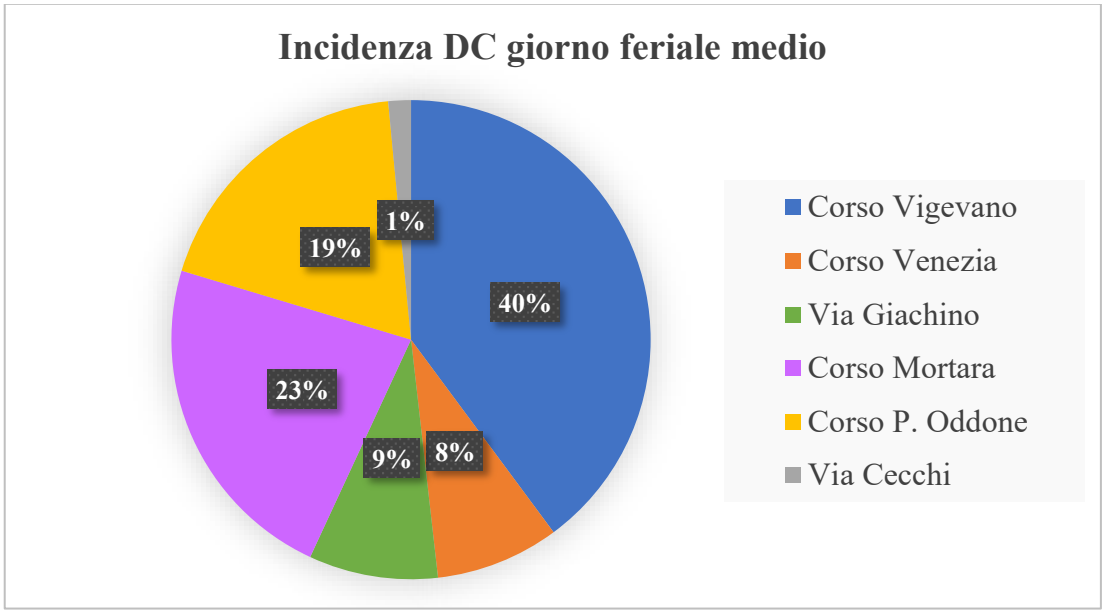


Figura 4-2: Incidenza DC dei diversi affluenti viari della piazza in giorno feriale medio

Analizzando questo dato si potrebbe già in prima battuta notare su quale asse viario conviene intervenire per abbattere il DC; è evidente in questo caso che l'asse corso Vigevano – corso Mortara è quello più oneroso in termini di costo della congestione; con il 40% di incidenza sul totale di Corso Vigevano e il 23% di corso Mortara, l'asse Vigevano – Mortara rappresenta più della metà dei costi legati alla congestione stradale con il 63% del totale. D'altro canto questo dato sarebbe già emerso se si fossero analizzate le incidenze del tempo di coda della viabilità intorno alla piazza (figura 4-2), dove l'asse Vigevano – Mortara rappresentava il 61% del totale in termini

di tempo. È interessante però notare che per quanto riguarda il dato relativo esclusivamente al tempo di coda non sempre si ha una corrispondenza al dato relativo al CCS; infatti se analizziamo i valori dell'incidenza di corso P. Oddone notiamo che in termini di tempo risulta una solamente al secondo posto, con il 10%, dopo via Cecchi, ma in termini di costi il suo dato è paragonabile a quello di corso Mortara (19% contro 23%), questo perché corso Oddone presenta un flusso di traffico elevato che messo in relazione al tempo genera dei costi più elevati.

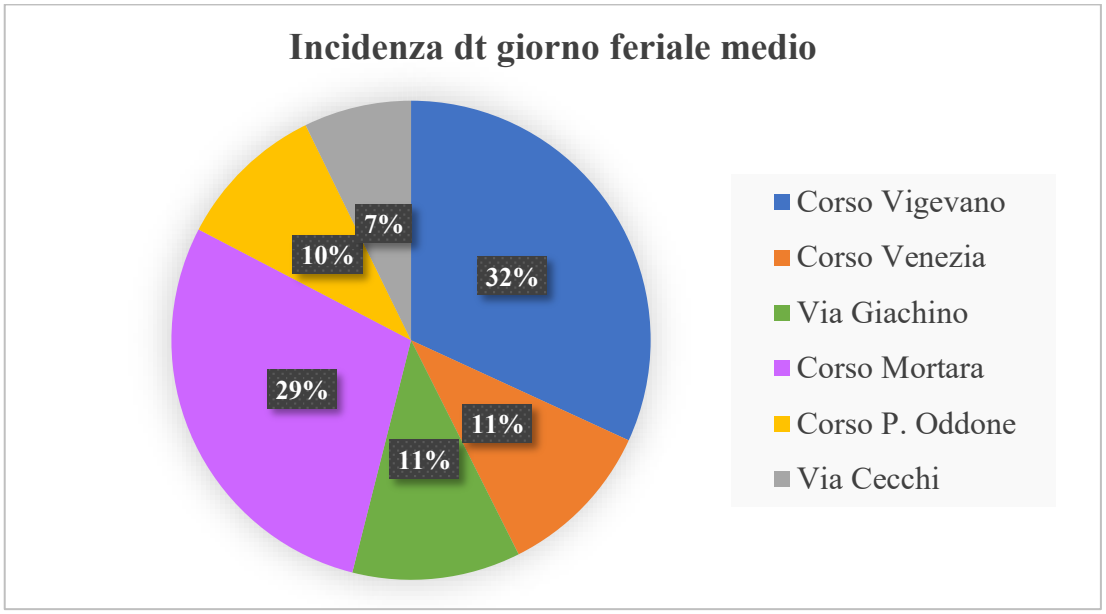


Figura 4-3: Incidenza dt dei diversi affluenti viari della piazza in giorno feriale medio

Nell'ottica della realizzazione di un'analisi costi benefici è importante evidenziare il dato annuo in termini di CCS; questo dato è stato calcolato considerando i 253 giorni lavorativi del 2019.

Tabella 4-8: Costi congestione stradale annui 2019

	CCS (€2016/anno)
	Piazza Baldissera
Anno	5 312 458.52

Se volessimo considerare, in un'ipotetica analisi costi benefici, in maniera estremamente semplicistica, solamente il contributo di questa esternalità, considerando un tasso sociale di sconto del 3% annuo e un ipotetico costo complessivo

dell'investimento derivante all'analisi finanziaria (come descritta nel capitolo 1) di 30 o 60 mln di euro si potrebbero calcolare gli anni di abbattimento dei costi derivati dalla congestione stradale.

Tabella 4-9: Ammortamento CCS con investimento di 60 mln €

Tempo [aa]	Anno	DC [mln €]	i [%]	Inves. [mln €]	Quota ammort. [€]	Quota ammort. [%]
0	2019	\	\	60	0	0%
1	2020	5.312	3%	54.688	5.312	8.85%
2	2021	5.472	3%	49.216	10.784	17.97%
3	2022	5.636	3%	43.580	16.420	27.37%
4	2023	5.805	3%	37.775	22.225	37.04%
5	2024	5.979	3%	31.795	28.205	47.01%
6	2025	6.159	3%	25.637	34.363	57.27%
7	2026	6.343	3%	19.293	40.707	67.84%
8	2027	6.534	3%	12.760	47.240	78.73%
9	2028	6.730	3%	6.030	53.970	89.95%
10	2029	6.932	3%	-0.901	60.901	101.50%

Tabella 4-10: Ammortamento CCS con investimento di 30 mln €

Tempo [aa]	Anno	DC [mln €]	i [%]	Inves. [mln €]	Quota ammort. [€]	Quota ammort. [%]
0	2019	\	\	30	0	0%
1	2020	5.312	3%	24.688	35.312	58.85%
2	2021	5.472	3%	19.216	40.784	67.97%
3	2022	5.636	3%	13.580	46.420	77.37%
4	2023	5.805	3%	7.775	52.225	87.04%
5	2024	5.979	3%	1.795	58.205	97.01%
6	2025	6.159	3%	-4.363	64.363	107.27%

Come si può notare nel primo caso l'abbattimento dell'investimento avverrebbe in poco meno di 10 anni, mentre nel secondo caso in poco più di 5.

4.3 Costi dell'inquinamento atmosferico

Per costi dell'inquinamento atmosferico (CIA) si vogliono intendere i costi derivati da un peggioramento della qualità dell'aria dovuta dalle emissioni di sostane inquinanti da parte dei veicoli circolanti su strada. Come già accennato nel capitolo 2 l'emissione di sostanze inquinanti legate ai trasporti ha diversi effetti: diretti sulla qualità dell'aria e quindi indiretti sulla salute dell'uomo piuttosto che sugli edifici e sui materiali in generale oppure sulla biodiversità degli ecosistemi.

Tuttavia in questa sezione non vengono considerate le emissioni di quelle sostanze definite "gas serra", ovvero che contribuiscono al riscaldamento globale e ai cambiamenti climatici, che verranno esaminate nel capitolo successivo, con la determinazione dei costi per il cambiamento climatico.[61]

4.3.1 Valori emissioni inquinanti

Calcolare i CIA significa calcolare i costi derivati dalle immissioni di sostanze inquinanti in atmosfera dei vari veicoli; naturalmente tali emissioni cambieranno in base prevalentemente alla classe ambientale Euro[62] e alla cilindrata dei veicoli stessi.

Per la cilindrata dei veicoli si è utilizzata una classificazione dove con la dicitura *small* si intendono le autovetture con una cilindrata inferiore o uguale a 1400 cc, *medium* con una cilindrata compresa tra 1400 e 2000 cc e con *large* le cilindrate maggiori o uguali a 2000 cc.

4.3.1.1 Quantificazione e monetizzazione

In generale si è deciso di calcolare solamente i CIA da parte delle sole autovetture (dunque i veicoli registrati nella fase di rilevamento del traffico sono stati considerati tutti autovetture).

Per identificare il numero di autovetture circolanti in piazza Baldissera con le caratteristiche appena elencate ci si è basati sui dati relativi al parco circolante veicolare delle autovetture distinte per categoria Euro e classe di cilindrata per la

[61] Questa distinzione è suggerita sia a livello europeo che nazionale con i relativi manuali sui costi legati alle infrastrutture di trasporto.
[62] Vedi § 2.2.2.4 Parco veicolare circolante

provincia di Torino, forniti dai database dell'ACI consultabili online[63]. Si riportano tali dati con le relative percentuali applicate, successivamente, al numero totale di autovetture circolanti in piazza Baldissera.

[63] ACI, *Open Parco Veicoli*.

Tabella 4-11: Parco veicolare circolante autovetture provincia di Torino (2018) distinte per classe Euro e fascia di cilindrata

ALIMENTAZIONE	FASCIA cc	EURO 0	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	N.D.	TOTALE
BENZINA	small	65 782	12 901	66 113	87 617	168 016	80 561	119 137	505	**600 632**
	medium	19 154	7 516	19 341	12 964	24 365	9 246	10 935	81	**103 602**
	large	3 277	773	1 335	1 278	2 830	889	1 307	13	**11 702**
	Non defnito	17	\	\	\	\	\	\	1	**18**
BENZINA Totale		88 230	21 190	86 789	101 859	195 211	90 696	131 379	600	**715 954**
BENZINA E GAS LIQUIDO	small	2 745	615	3 065	2 969	45 354	29 498	43 761	3	**128 010**
	medium	3 234	1 276	3 737	2 491	7 771	5 446	3 339	2	**27 296**
	large	263	116	273	220	563	39	2	\	**1 476**
	Non defnito	36	2	\	1	9	\	\	\	**48**
BENZINA E GAS LIQUIDO Totale		6 278	2 009	7 075	5 681	53 697	34 983	47 102	5	**156 830**
BENZINA E METANO	small	93	22	70	224	10 635	4 967	3 801	\	**19 812**
	medium	78	24	98	398	2 425	101	42	1	**3 167**
	large	11	3	3		49	3	1	\	**70**
BENZINA E METANO Totale		182	49	171	622	13 109	5 071	3 844	1	**23 049**
ELETTRICO-IBRIDO	small	\	\	\	\	31	205	829	\	**1 065**
	medium	\	\	\	\	157	1 540	7 229	\	**8 926**
	large	\	\	\	\	66	71	1 231	\	**1 368**
	Non contemplato	\	\	\	\	\	\	\	516	**516**
ELETTRICO-IBRIDO Totale		\	\	\	\	254	1 816	9 289	516	**11 875**
GASOLIO	small	1 700	110	49	8 244	55 701	34 172	34 507	\	**134 483**
	medium	6 451	2 154	13 321	55 754	87 684	99 968	118 764	1	**384 097**
	large	4 615	1 438	6 025	12 908	13 851	11 214	15 648	2	**65 701**
GASOLIO Totale		12 766	3 702	19 395	76 906	157 236	145 354	168 919	3	**584 281**
ALTRE/NON DEFINITO		38	\	\	5	1	2	3	13	**62**
TOTALE		**107 494**	**26 950**	**113 430**	**185 073**	**419 508**	**277 922**	**360 536**	**1 138**	**1 492 051**

Tabella 4-12: Tabella 4 11: Parco veicolare circolante percentuale autovetture provincia di Torino (2018) distinte per classe Euro e fascia di cilindrata

ALIMENTAZIONE	FASCIA cc	EURO 0	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	N.D.	TOTALE
BENZINA	small	4.4%	0.9%	4.4%	5.9%	11.3%	5.4%	8.0%	0.0%	40.3%
	medium	1.3%	0.5%	1.3%	0.9%	1.6%	0.6%	0.7%	0.0%	6.9%
	large	0.2%	0.1%	0.1%	0.1%	0.2%	0.1%	0.1%	0.0%	0.8%
	Non defnito	0.0%	\	\	\	\	\	\	0.0%	0.0%
BENZINA Totale		5.9%	1.4%	5.8%	6.8%	13.1%	6.1%	8.8%	0.0%	48.0%
GPL	small	0.2%	0.0%	0.2%	0.2%	3.0%	2.0%	2.9%	0.0%	8.6%
	medium	0.2%	0.1%	0.3%	0.2%	0.5%	0.4%	0.2%	0.0%	1.8%
	large	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	\	0.1%
	Non defnito	0.0%	0.0%	\	0.0%	0.0%	\	\	\	0.0%
GPL Totale		0.4%	0.1%	0.5%	0.4%	3.6%	2.3%	3.2%	0.0%	10.5%
METANO	small	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.7%	0.3%	0.3%	\	1.3%
	medium	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%
	large	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	\	0.0%
METANO Totale		0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.9%	0.3%	0.3%	0.0%	1.5%
ELETTRICO-IBRIDO	small	\	\	\	\	0.0%	0.0%	0.1%	\	0.1%
	medium	\	\	\	\	0.0%	0.1%	0.5%	\	0.6%
	large	\	\	\	\	0.0%	0.0%	0.1%	\	0.1%
	Non contemplato	\	\	\	\	\	\	\	0.0%	0.0%
ELETTRICO-IBRIDO Totale		\	\	\	\	0.0%	0.1%	0.6%	0.0%	0.8%
GASOLIO	small	0.1%	0.0%	0.0%	0.6%	3.7%	2.3%	2.3%	\	9.0%
	medium	0.4%	0.1%	0.9%	3.7%	5.9%	6.7%	8.0%	0.0%	25.7%
	large	0.3%	0.1%	0.4%	0.9%	0.9%	0.8%	1.0%	0.0%	4.4%
GASOLIO Totale		0.9%	0.2%	1.3%	5.2%	10.5%	9.7%	11.3%	0.0%	39.2%
ALTRE/NON DEFINITO		0.0%	\	\	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
TOTALE		7.2%	1.8%	7.6%	12.4%	28.1%	18.6%	24.2%	0.1%	100.0%

Tabella 4-13:Parco veicolare circolante autovetture in piazza Baldissera distinte per classe Euro e fascia di cilindrata

ALIMENTAZIONE	FASCIA cc	EURO 0	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	N.D.	TOTALE
BENZINA	small	2398	470	2410	3194	6124	2936	4343	18	21893
	medium	698	274	705	473	888	337	399	3	3776
	large	119	28	49	47	103	32	48	0	427
	Non defnito	1	\	\	\	\	\	\	0	1
BENZINA Totale		3216	772	3163	3713	7115	3306	4789	22	**26097**
GPL	small	100	22	112	108	1653	1075	1595	0	4666
	medium	118	47	136	91	283	199	122	0	995
	large	10	4	10	8	21	1	0	\	54
	Non defnito	1	0	\	0	0	\	\	\	2
GPL Totale		229	73	258	207	1957	1275	1717	0	**5716**
METANO	small	3	1	3	8	388	181	139	\	722
	medium	3	1	4	15	88	4	2	0	115
	large	0	0	0	0	2	0	0	\	3
METANO Totale		7	2	6	23	478	185	140	0	**840**
ELETTRICO-IBRIDO	small	\	\	\	\	1	7	30	\	39
	medium	\	\	\	\	6	56	263	\	325
	large	\	\	\	\	2	3	45	\	50
	Non contemplato	\	\	\	\	\	\	\	19	19
ELETTRICO-IBRIDO Totale		\	\	\	\	9	66	339	19	**433**
GASOLIO	small	62	4	2	300	2030	1246	1258	\	4902
	medium	235	79	486	2032	3196	3644	4329	0	14000
	large	168	52	220	470	505	409	570	0	2395
GASOLIO Totale		465	135	707	2803	5731	5298	6157	0	**21297**
ALTRE/NON DEFINITO		1	\	\	0	0	0	0	0	**2**
TOTALE		**3918**	**982**	**4135**	**6746**	**15291**	**10130**	**13142**	**41**	**54386**

Vista la composizione del parco veicolare circolante ottenuta si è ritenuto opportuno applicare delle correzioni per portare la situazione il più vicino possibile alla reale composizione osservata durante i mesi di rilievo del traffico. Pertanto si è deciso di intervenire secondo quanto segue:

- Categoria benzina:
    - trasferimento del 80% del numero di veicoli della categoria benzina-small-Euro 0 alla categoria benzina-small-Euro 5;
    - trasferimento del 50% del numero di veicoli della categoria benzina-small-Euro 2 alla categoria benzina-small-Euro 5;
    - trasferimento del 50% del numero di veicoli della categoria benzina-small-Euro 3 alla categoria benzina-small-Euro 5;
    - trasferimento del 80% del numero di veicoli della categoria benzina-medium-Euro 0 alla categoria benzina-medium-Euro 5;
    - trasferimento del 50% del numero di veicoli della categoria benzina-medium-Euro 2 alla categoria benzina-medium-Euro 5;
    - trasferimento del 80% del numero di veicoli della categoria benzina-large-Euro 0 alla categoria benzina-large-Euro 5;
    - trasferimento del 50% del numero di veicoli della categoria benzina-large-Euro 2 alla categoria benzina-large-Euro 5;
- Categoria gasolio:
    - trasferimento del 80% del numero di veicoli della categoria gasolio-small-Euro 0 alla categoria gasolio-small-Euro 5;
    - trasferimento del 50% del numero di veicoli della categoria gasolio-small-Euro 2 alla categoria gasolio-small-Euro 5;
    - trasferimento del 80% del numero di veicoli della categoria gasolio-medium-Euro 0 alla categoria gasolio-medium-Euro 5;
    - trasferimento del 50% del numero di veicoli della categoria gasolio-medium-Euro 2 alla categoria gasolio-medium-Euro 5;
    - trasferimento del 50% del numero di veicoli della categoria gasolio-medium-Euro 3 alla categoria gasolio-medium-Euro 5;
    - trasferimento del 80% del numero di veicoli della categoria gasolio-large-Euro 0 alla categoria gasolio-large-Euro 5;

- trasferimento del 50% del numero di veicoli della categoria gasolio-large-Euro 2 alla categoria gasolio-large-Euro 5;

Il parco circolante ottenuto sarà quello utilizzato per i calcoli e considerate le correzioni e che le autovetture della categoria non definito non sono state prese in considerazione, è infine così composto:

Tabella 4-14: Parco veicolare circolante finale piazza Baldissera distinto per categoria Euro e alimentazione

		PARCO VEICOLARE CIRCOLANTE				
FASCIA cc	Euro Standard	BENZINA	GASOLIO	ELETTRICO-IBRIDO	GPL	METANO
Small	Euro 0	479	12	\	100	\
Small	Euro 1	470	4	\	22	\
Small	Euro 2	1205	1	\	112	\
Small	Euro 3	1597	300	\	108	\
Small	Euro 4	6124	2030	1	1653	388
Small	Euro 5	7658	1297	7	1075	181
Small	Euro 6	4343	1258	30	1595	139
Medium	Euro 0	140	47	\	118	\
Medium	Euro 1	274	79	\	47	\
Medium	Euro 2	352	243	\	136	\
Medium	Euro 3	473	1016	\	91	\
Medium	Euro 4	888	3196	6	283	88
Medium	Euro 5	1247	5091	56	199	4
Medium	Euro 6	399	4329	263	122	2
Large	Euro 0	24	34	\	10	\
Large	Euro 1	28	52	\	4	\
Large	Euro 2	24	110	\	10	\
Large	Euro 3	47	470	\	8	\
Large	Euro 4	103	505	2	21	2
Large	Euro 5	151	653	3	1	0
Large	Euro 6	48	570	45	0	0
TOTALE		26074	21297	413	5715	803

Una volta individuate le autovetture circolanti distinte per classe Euro e cilindrata si riportano i valori in € su passeggeri al km [€/pkm] dei costi delle emissioni inquinanti anch'essi distinti per classe Euro e cilindrata, ricavati dalle linee guida europee[64].

[64] EUROPEAN COMMISSION, *Handbook on the external costs of transport: Version 2019*.

Tabella 4-15: Valori costi emissioni sostanze inquinanti autovetture distinte per classe Euro e cilindrata

		COSTI EMISSIONE INQUINANTI [€/pkm]				
FASCIA cc	Euro Standard	BENZINA	GASOLIO	ELETTRICO-IBRIDO	GPL	METANO
Small	Euro 0	2.69	6.83	\	0.65	\
Small	Euro 1	0.55	2.56	\	0.65	\
Small	Euro 2	0.37	2.39	\	0.31	\
Small	Euro 3	0.19	1.9	\	0.19	\
Small	Euro 4	0.17	1.7	0.06	0.17	0.17
Small	Euro 5	0.13	1.04	0.06	0.15	0.14
Small	Euro 6	0.14	0.86	0.06	0.15	0.14
Medium	Euro 0	3.04	7.05	\	0.65	\
Medium	Euro 1	0.55	2.56	\	0.65	\
Medium	Euro 2	0.37	2.39	\	0.31	\
Medium	Euro 3	0.19	1.9	\	0.19	\
Medium	Euro 4	0.17	1.7	0.06	0.17	0.17
Medium	Euro 5	0.13	1.04	0.06	0.15	0.14
Medium	Euro 6	0.14	0.86	0.06	0.15	0.14
Large	Euro 0	3.77	7.27	\	0.65	\
Large	Euro 1	0.55	2.56	\	0.65	\
Large	Euro 2	0.37	2.4	\	0.31	\
Large	Euro 3	0.19	1.9	\	0.19	\
Large	Euro 4	0.17	1.7	0.06	0.17	0.17
Large	Euro 5	0.13	1.04	0.06	0.15	0.14
Large	Euro 6	0.14	0.86	0.06	0.15	0.14

4.3.1.2 Valorizzazione

Si sono calcolati i CIA per tutte le categorie di autovetture circolanti in piazza Baldissera secondo la formula:

$$CIA_i\,[€] = n.veicoli_i \ * \ costo\ emissione\ inquinanti_i(€/pkm) * n.passeggeri * km\ percorsi\ (km)$$

dove i rappresentano tutte le categorie di veicoli considerati distinti per classe Euro e cilindrata.

Per quanto riguarda il numero di passeggeri è stato preso in considerazione un passeggero per ogni veicolo, mentre per quanto riguarda i km percorsi si è deciso di considerare una distanza di 300 metri come percorrenza rappresentativa della piazza (equivalente circa alla circonferenza della piazza stessa).

Tabella 4-16: Costi inquinamento atmosferico giornalieri distinti per classi Euro e cilindrata autovetture

		COSTI INQUINAMENTO ATMOSFERICO (CIA) [€]				
FASCIA cc	Euro Standard	BENZINA	GASOLIO	ELETTRICO-IBRIDO	GPL	METANO
Small	Euro 0	386.85	25.34	\	19.51	\
Small	Euro 1	77.59	3.08	\	4.37	\
Small	Euro 2	133.74	0.56	\	10.39	\
Small	Euro 3	91.01	171.28	\	6.17	\
Small	Euro 4	312.33	1 035.46	0.02	84.31	19.77
Small	Euro 5	298.68	404.53	0.13	48.38	7.60
Small	Euro 6	182.39	324.51	0.54	71.78	5.82
Medium	Euro 0	127.47	99.70	\	22.99	\
Medium	Euro 1	45.20	60.30	\	9.07	\
Medium	Euro 2	39.13	173.91	\	12.67	\
Medium	Euro 3	26.93	579.26	\	5.18	\
Medium	Euro 4	45.29	1 630.01	0.11	14.45	4.51
Medium	Euro 5	48.63	1 588.35	1.01	8.93	0.15
Medium	Euro 6	16.74	1 116.87	4.73	5.48	0.06
Large	Euro 0	27.42	73.76	\	1.87	\
Large	Euro 1	4.65	40.25	\	0.82	\
Large	Euro 2	2.68	78.92	\	0.93	\
Large	Euro 3	2.66	268.18	\	0.46	\
Large	Euro 4	5.26	257.48	0.04	1.05	0.09
Large	Euro 5	5.90	203.66	0.05	0.06	0.00
Large	Euro 6	2.00	147.16	0.81	0.00	0.00
TOTALE		1 882.56	8 282.57	7.43	328.86	38.02

Tabella 4-17: Costi inquinamento atmosferico totali giornalieri

COSTI INQUINAMENTO ATMOSFERICO (CIA) [€]					
BENZINA	GASOLIO	ELETTRICO-IBRIDO	GPL	METANO	TOTALE
1 882.56	8 282.57	7.43	328.86	38.02	10 539.44

4.3.1.3 Osservazioni

Osservando il parco veicolare circolante si può notare come le autovetture presenti in maggior numero sono quelle alimentate a benzina con il 48% del totale, mentre le autovetture a gasolio compongono il 39% del totale. È inoltre interessante notare che le percentuali dell'alimentazione delle autovetture elettriche-ibride e a metano sono irrisorie mentre quelle a GPL arrivano all'11% del totale.

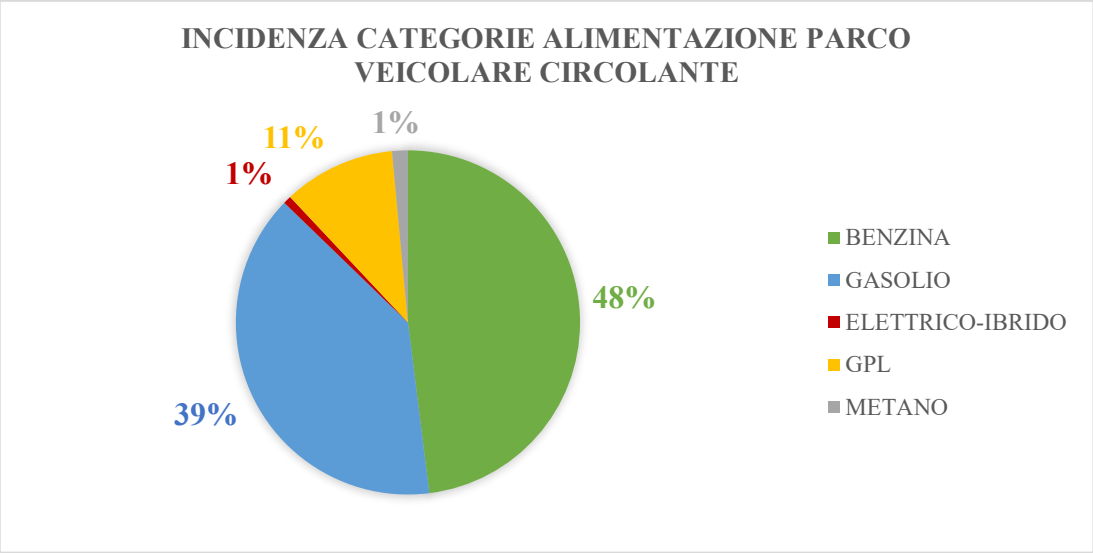


Figura 4-4: Incidenza categorie alimentazione parco veicolare circolante

Tuttavia se si analizzano le incidenze dei costi per categoria di alimentazione si osserva che con circa l'80% le autovetture a gasolio danno il principale contributo ai CIA e che i costi delle autovetture elettrico-ibride e metano sono sostanzialmente irrisori e trascurabili.

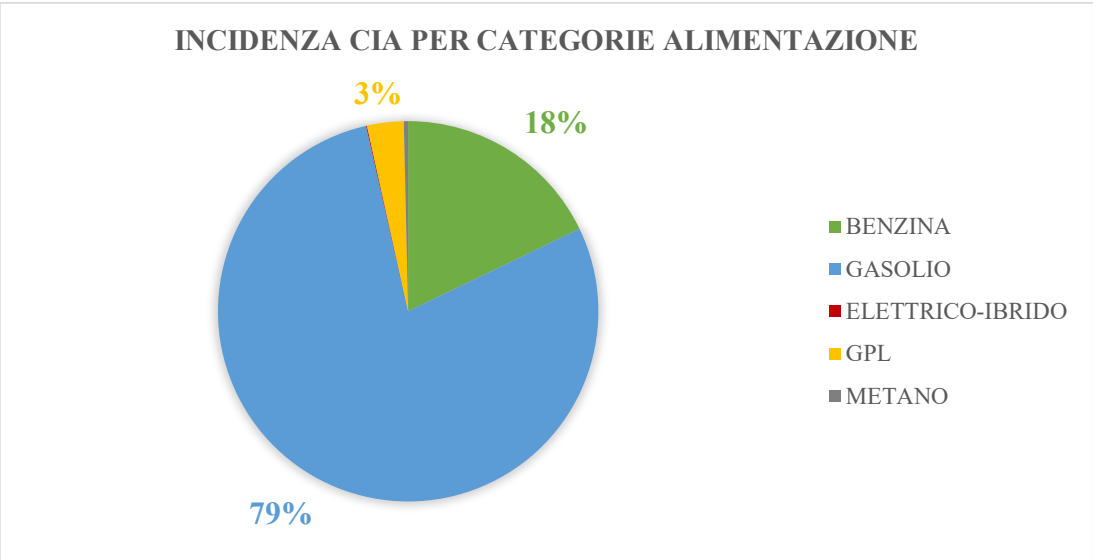


Figura 4-5:Incidenza CIA per categorie di alimentazione

Questo comportamento d'altronde è comprensibile dati i costi per emissioni inquinanti maggiori per la categoria gasolio, in quanto rappresenta sostanzialmente la categoria più inquinante.

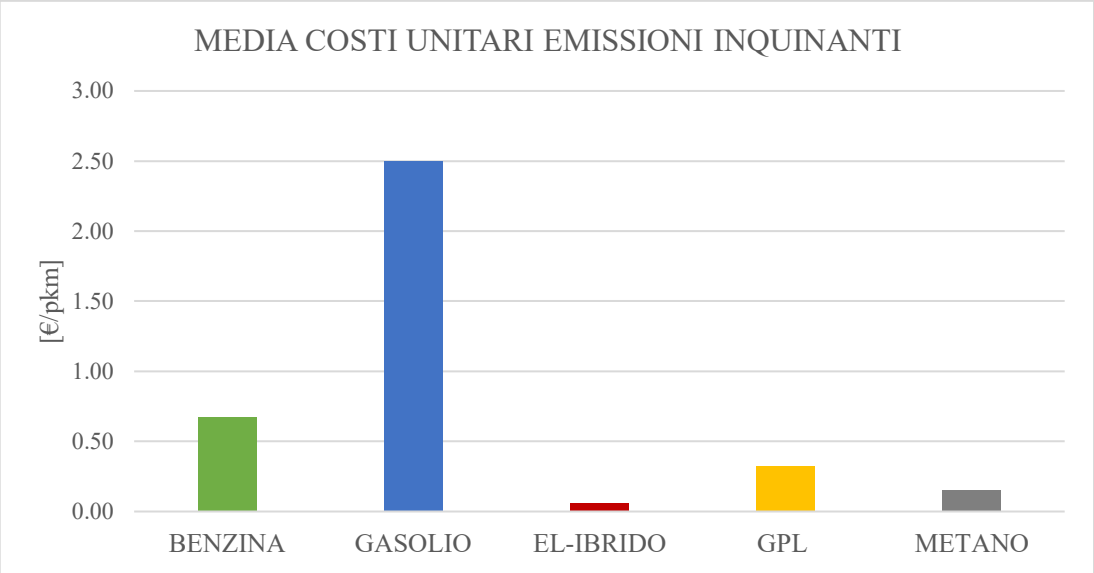


Figura 4-6: Media costi unitari emissioni inquinanti

Inoltre, nell'ottica della realizzazione di un'analisi costi benefici è importante evidenziare il dato annuo in termini di CIA; questo dato è stato calcolato considerando i 253 giorni lavorativi del 2019.

Tabella 4-18: Costi inquinamento ambientale annui piazza Baldissera

	CIA (€/anno)
	Piazza Baldissera
Anno	2 666 479

4.4 Costi cambiamenti climatici

Per costi dei cambiamenti climatici (CCC) si vogliono intendere tutti quei costi associati alle emissioni di gas serra, da parte dei veicoli circolanti su strada, che sono legati a tutti gli effetti del riscaldamento globale e che quindi contribuiscono al cambiamento climatico.

I veicoli provocano emissioni di diversi gas serra principalmente di N_2O, CH_4 e soprattutto CO_2, e per questi motivi è molto importante identificare i costi legati alle loro emissioni.

4.4.1 Emissioni totali equivalenti di CO_2

Per la stima di tali costi si utilizza un parametro che identifica le emissioni totali dei gas serra per ogni veicolo, per questo motivo quando si parla di emissioni equivalenti di CO_2 non si intendono solamente le emissioni di anidride carbonica ma anche di altri gas come ad esempio N_2O e CH_4.

La metodologia per la determinazione di tali costi segue le linee guida europee[65], andando ad utilizzare i costi medi delle emissioni di CO_2 dei veicoli distinti per classe ambientale Euro e cilindrata; la classificazione è quindi la stessa del paragrafo precedente.

4.4.1.1 Quantificazione e monetizzazione

Come nel paragrafo precedente si è deciso di calcolare solamente i CCC da parte delle sole autovetture (dunque i veicoli registrati nella fase di rilevamento del traffico sono stati considerati tutti autovetture). Per l'identificazione del parco circolare veicolante si è dunque utilizzata la tabella 4-14 derivante dai ragionamenti espressi in precedenza.

Per quanto riguarda i costi unitari delle emissioni si sono utilizzati i valori in € su passeggeri al km [€/pkm] dei costi dei cambiamenti climatici distinti per classe Euro e cilindrata, ricavati dalle linee guida europee[49].

[65] Ibid.

Tabella 4-19: Valori costi emissioni CO_2 equivalente autovetture distinti per classe ambientale Euro e cilindrata

		COSTI EMISSIONE CO_2 equivalente [€/pkm]				
FASCIA cc	Euro Standard	BENZINA	GASOLIO	ELETTRICO-IBRIDO	GPL	METANO
Small	Euro 0	1.53	1.1	\	1.03	\
Small	Euro 1	1.06	1.1	\	1.03	\
Small	Euro 2	1.05	1.17	\	1.03	\
Small	Euro 3	1.05	1.11	\	1.03	\
Small	Euro 4	1.09	1.11	0.44	1.03	0.89
Small	Euro 5	1.09	1.11	0.44	0.98	0.85
Small	Euro 6	1.09	1.11	0.44	0.93	0.81
Medium	Euro 0	1.8	1.29	\	1.03	\
Medium	Euro 1	1.29	1.29	\	1.03	\
Medium	Euro 2	1.25	1.33	\	1.03	\
Medium	Euro 3	1.26	1.31	\	1.03	\
Medium	Euro 4	1.29	1.31	0.44	1.03	0.89
Medium	Euro 5	1.29	1.31	0.44	0.98	0.85
Medium	Euro 6	1.29	1.31	0.44	0.93	0.81
Large	Euro 0	2.21	1.49	\	1.03	\
Large	Euro 1	1.66	1.49	\	1.03	\
Large	Euro 2	1.7	1.49	\	1.03	\
Large	Euro 3	1.54	1.49	\	1.03	\
Large	Euro 4	1.89	1.5	0.44	1.03	0.89
Large	Euro 5	1.89	1.5	0.44	0.98	0.85
Large	Euro 6	1.89	1.5	0.44	0.93	0.81

4.4.1.2 Valorizzazione

Si sono calcolati i CCC per tutte le categorie di autovetture circolanti in piazza Baldissera secondo la formula:

$$CCC_i\,[€] = n.veicoli_i \;*\; costo\ emissione\ CO2\ equivalnte_i(€/pkm) * n.passeggeri * km\ percorsi\ (km)$$

dove i rappresentano tutte le categorie di veicoli considerati distinti per classe Euro e cilindrata.

Per quanto riguarda il numero di passeggeri è stato preso in considerazione un passeggero per ogni veicolo, mentre per quanto riguarda i km percorsi si è deciso di considerare una distanza di 300 metri come percorrenza rappresentativa della piazza (equivalente circa alla circonferenza della piazza stessa).

Tabella 4-20: Costi cambiamenti climatici giornalieri distinti per classi Euro e cilindrata autovetture

		COSTI CAMBIAMENTI CLIMATICI (CCC) [€]				
FASCIA cc	Euro Standard	BENZINA	GASOLIO	ELETTRICO-IBRIDO	GPL	METANO
Small	Euro 0	220.03	4.08	\	30.92	\
Small	Euro 1	149.54	1.32	\	6.93	\
Small	Euro 2	379.52	0.28	\	34.52	\
Small	Euro 3	502.95	100.06	\	33.44	\
Small	Euro 4	2 002.62	676.09	0.13	510.83	103.50
Small	Euro 5	2 504.32	431.76	0.92	316.11	46.17
Small	Euro 6	1 420.02	418.84	3.96	445.03	33.67
Medium	Euro 0	75.47	18.24	\	36.42	\
Medium	Euro 1	106.02	30.38	\	14.37	\
Medium	Euro 2	132.18	96.78	\	42.09	\
Medium	Euro 3	178.62	399.38	\	28.06	\
Medium	Euro 4	343.70	1 256.07	0.79	87.53	23.60
Medium	Euro 5	482.60	2 000.70	7.39	58.36	0.94
Medium	Euro 6	154.25	1 701.28	34.72	33.96	0.37
Large	Euro 0	16.08	15.12	\	2.96	\
Large	Euro 1	14.03	23.43	\	1.31	\
Large	Euro 2	12.32	49.00	\	3.07	\
Large	Euro 3	21.52	210.31	\	2.48	\
Large	Euro 4	58.49	227.19	0.26	6.34	0.48
Large	Euro 5	85.85	293.74	0.40	0.42	0.03
Large	Euro 6	27.01	256.67	5.94	0.02	0.01
TOTALE		8 887.12	8 210.74	54.52	1 695.16	208.76

Tabella 4-21: Costi cambiamenti climatici totali giornalieri

COSTI CAMBIAMENTI CLIMATICI (CCC) [€]					
BENZINA	GASOLIO	ELETTRICO-IBRIDO	GPL	METANO	TOTALE
8 887.12	8 210.74	54.52	1 695.16	208.76	19 056.30

4.4.1.3 Osservazioni

Osservando il parco veicolare circolante si può notare come le autovetture presenti in maggior numero sono quelle alimentate a benzina con il 48% del totale, mentre le autovetture a gasolio compongono il 39% del totale. È inoltre interessante notare che le percentuali dell'alimentazione delle autovetture elettriche-ibride e a metano sono irrisorie mentre quelle a GPL arrivano all'11% del totale.

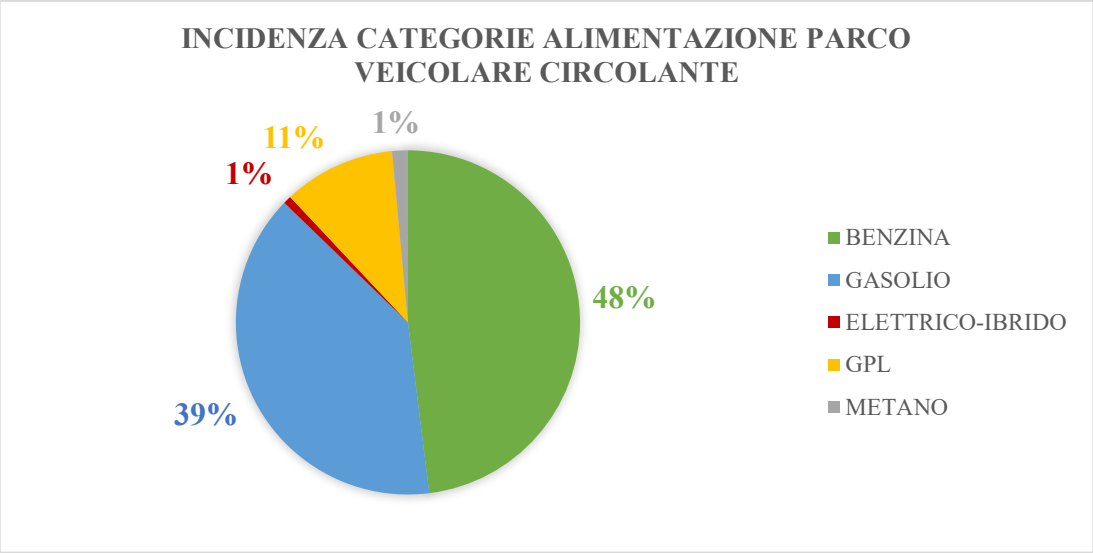


Figura 4-7: Incidenza categorie alimentazione parco veicolare circolante

Se si analizzano invece le incidenze dei costi osserva che il trend è confermato, a differenza dei costi dell'inquinamento atmosferico.

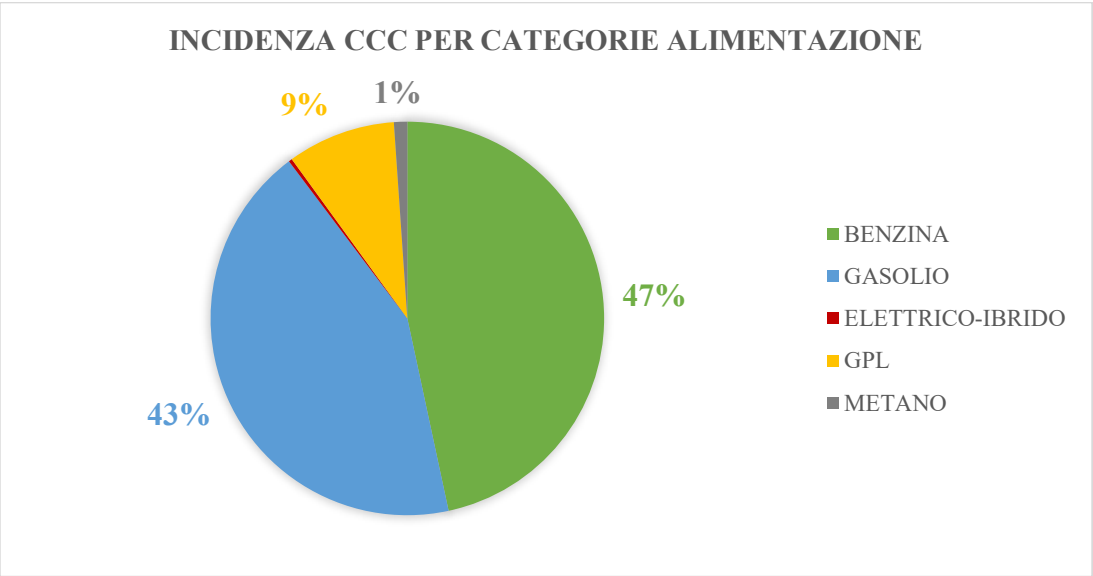


Figura 4-8: Incidenza CCC per categorie alimentazione

Infatti se osserviamo i valori dei costi unitari per emissioni di CO_2 equivalente osserviamo che, a differenza dei costi unitari per emissioni di inquinanti, la media dei costi è molto più simile e non di maggiore entità per la categoria gasolio.

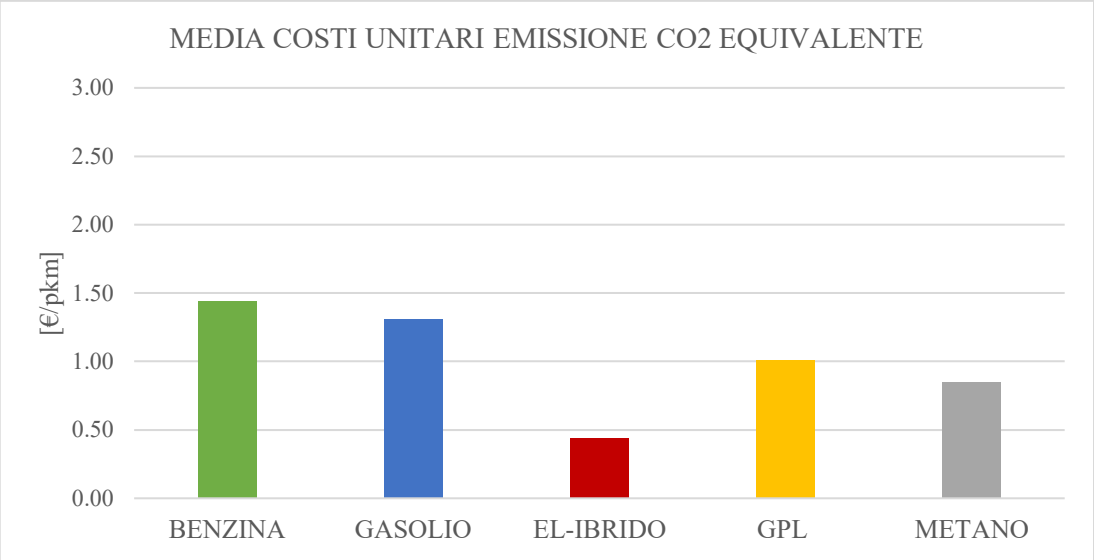


Figura 4-9: Media costi unitari emissione CO_2 equivalente

Il dato d'altronde è anche confermato dai valori di emissioni di CO_2 in g al km percorso, forniti dalla banca dati dei fattori di emissione medi del trasporto stradale in Italia redatta dall'ISPRA e consultabile online[66].

Tale banca dati si basa sulle stime effettuate ai fini della redazione dell'inventario nazionale delle emissioni in atmosfera, realizzato annualmente da Ispra come strumento di verifica degli impegni assunti a livello internazionale sulla protezione dell'ambiente atmosferico, quali la Convenzione Quadro sui Cambiamenti Climatici (UNFCCC), il Protocollo di Kyoto, la Convenzione di Ginevra sull'inquinamento atmosferico transfrontaliero (UNECE-CLRTAP), le Direttive europee sulla limitazione delle emissioni.

[66] ISPRA, *Banca dati dei fattori di emissione medi del trasporto stradale*, s.d. http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/fetransp.

Tabella 4-22: Fattori di emissione di CO_2 autovetture per classe ambientale Euro e categoria di alimentazione

		FATTORI DI EMISSIONE CO2 g/km				
FASCIA cc	Euro Standard	BENZINA	GASOLIO	ELETTRICO /IBRIDO	GPL	METANO
Small	Euro 0	165.83	188.44	\	176.11	\
Small	Euro 1	161.54	167.32	\	185.31	\
Small	Euro 2	160.68	173.23	\	188.08	\
Small	Euro 3	171.00	166.43	\	189.81	\
Small	Euro 4	160.01	185.93	100.34	190.50	178.80
Small	Euro 5	156.70	182.78	103.25	172.32	178.78
Small	Euro 6	158.72	193.82	106.29	172.30	178.76
Medium	Euro 0	215.25	188.44	\	176.11	\
Medium	Euro 1	208.35	167.32	\	185.31	\
Medium	Euro 2	199.95	173.23	\	188.08	\
Medium	Euro 3	213.13	166.43	\	189.81	\
Medium	Euro 4	209.67	165.46	87.96	190.50	178.80
Medium	Euro 5	201.72	160.41	89.65	172.32	178.78
Medium	Euro 6	199.83	155.28	93.59	172.30	178.76
Large	Euro 0	253.87	194.83	\	176.11	\
Large	Euro 1	261.19	228.70	\	185.31	\
Large	Euro 2	265.05	229.68	\	188.08	\
Large	Euro 3	238.47	230.30	\	189.81	\
Large	Euro 4	360.59	254.45	146.56	190.50	178.80
Large	Euro 5	350.24	239.10	131.31	190.48	178.78
Large	Euro 6	291.27	223.41	126.76	190.46	178.76

Come si può osservare infatti le emissioni di CO_2 sono superiori, in quasi tutti i casi, nelle autovetture alimentate a benzina piuttosto che quelle alimentate a gasolio.

Inoltre, nell'ottica della realizzazione di un'analisi costi benefici è importante evidenziare il dato annuo in termini di CCC; questo dato è stato calcolato considerando i 253 giorni lavorativi del 2019.

Tabella 4-23: Costi cambiamenti climatici annui piazza Baldissera

	CCC (€/anno)
	Piazza Baldissera
Anno	4 821 244

4.5 Altri costi legati alla valutazione delle esternalità

Come descritto nel capito 2 ci sono altri impatti rilevanti quando si effettuano valutazioni di questo tipo, ma che nel nostro caso data la relativa importanza o difficoltà di definizione si è deciso di non considerare; in ogni caso, per i costi legati a questi impatti, per una completezza espositiva, se ne vuole descrivere un approccio alla determinazione.

4.5.1 Costi dell'incidentalità

L'incidentalità rappresenta l'indicatore che determina il valore che lega il numero di incidenti e le relative conseguenze all'infrastruttura di trasporto in cui essi avvengono; determinare dunque i costi dell'incidentalità significa stimare i costi derivanti dalle conseguenze che un determinato incidente può provocare; questi costi possono sostanzialmente essere suddivisi in due categorie:

- costi materiali (come ad esempio i danni ai veicoli piuttosto che costi sostenuti per le cure mediche);
- costi immateriali (come ad esempio il costo imputato all'interruzione di una vita umana, quindi alla sofferenza o al dolore arrecato alla collettività).

Se per quanto riguarda i costi materiali possono essere facilmente utilizzati i prezzi di mercato per la loro determinazione, per quel che concerne i costi immateriali è necessario imbastire un discorso molto più ampio che ha come punto cardine la determinazione del valore economico della vita umana per la collettività.
Inoltre bisogna tenere presente che spesso nelle valutazioni di questo tipo vengono presi in considerazione solamente quei costi sociali (sia materiali che immateriali) che non sono coperti da premi assicurativi; tali costi sono appunto classificabili come esterni mentre eventuali costi coperti da assicurazioni sono considerati interni e quindi non più classificabili come esternalità.
In ogni caso la determinazione dei costi dell'incidentalità, come proposto dall' "*Handbook on the external cost of transport"* dell'UE, è legata alla determinazione di cinque principali componenti:

- costo della vita umana: determinazione del valore economico della vita umana per la collettività, con la stima del dolore e della sofferenza causati dagli incidenti stradali;
- costi medici: costi delle cure mediche delle vittime di incidenti nonché delle medicine e dei macchinari utilizzati, identificabili con il termine generale di spese mediche; spesso una parte di questi costi sono interni in quanto coperti da premi assicurativi;
- costi amministrativi: l'insieme di tutti i costi che sono sostenuti direttamente o indirettamente dallo stato come il dispiegamento di forze di polizia, dei vigili del fuoco o di altri servizi di emergenza piuttosto che i costi relativi all'amministrazione della giustizia come le spese legali.
- perdita di produttività: dovuta all'eventuale incapacità da parte delle vittime di tornare sul posto di lavoro;
- danni materiali: l'insieme dei costi dovuti ai danni tangibili di un'incidente come danni a veicoli o alle infrastrutture stesse; questa componente è praticamente sempre considerata completamente interna.

4.5.1.1 Metodologia

La metodologia che si segue per la determinazione dei costi dell'incidentalità consiste sostanzialmente nella determinazione nel numero di incidenti distinti per gravità[67] e nella determinazione di tutti quei costi esterni legati all'incidente descritti in precedenza. Per la determinazione di tali costi in letteratura sono presenti vari metodi; si riporta come esempio una tabella dalle linee guida europee che riporta i costi della vita umana (*human costs*), della perdita di produttività (*production loss*), costi medici (*medical costs*) e costi amministrativi (*administrative costs*) per i paesi dell'Unione Europea.

[67] Tale determinazione richiede l'ottenimento di dati sull'incidentalità che nel caso di valutazioni locali e specifiche, come quella effettuata per piazza Baldissera, sono di difficile determinazione; si potrebbero utilizzare ad esempio dati di più ampio raggio sull'incidentalità a livello regionale o provinciale (utilizzando fonti come l'ISTAT), ma in ogni caso le valutazioni risulterebbero inaffidabili e poco rappresentative.

Tabella 4-24: Valori costi esterni incidentalità per i paesi dell'UE [€][68]

	Human costs			Production loss			Medical costs			Administrative costs		
	Fatality	Serious injury	Slight injury	Fatality	Serious injury	Slight injury	Fatality	Serious injury	Slight injury	Fatality	Serious injury	Slight injury
EU countries												
EU28	2,907,921	464,844	35,757	361,358	24,055	1,472	2,722	8,380	721	1,909	1,312	564
AT	3,202,976	532,685	40,976	393,002	26,161	1,600	2,960	9,114	784	2,076	1,427	614
BE	3,183,342	513,206	39,477	394,570	26,266	1,607	2,972	9,151	788	2,084	1,433	616
BG	1,553,981	226,042	17,388	172,290	11,469	702	1,298	3,996	344	910	626	269
HR	2,308,933	334,147	25,704	230,091	15,317	937	1,733	5,336	459	1,215	836	359
CY	1,504,105	285,078	21,929	319,468	21,266	1,301	2,406	7,409	638	1,687	1,160	499
CZ	2,789,348	406,295	31,253	236,108	15,717	962	1,778	5,476	471	1,247	858	369
DK	3,497,489	576,978	44,383	485,139	32,295	1,976	3,654	11,251	968	2,562	1,762	757
EE	2,653,497	391,365	30,105	264,696	17,620	1,078	1,994	6,139	528	1,398	961	413
FI	2,798,583	475,746	36,596	444,438	29,585	1,810	3,348	10,307	887	2,347	1,614	694
FR	2,721,569	449,900	34,608	395,712	26,342	1,612	2,981	9,177	790	2,090	1,437	618
DE	3,067,253	503,575	38,737	383,018	25,497	1,560	2,885	8,883	765	2,023	1,391	598
EL	2,026,599	328,432	25,264	296,552	19,741	1,208	2,234	6,877	592	1,566	1,077	463
HU	2,545,519	363,132	27,933	213,101	14,186	868	1,605	4,942	425	1,126	774	333
IE	4,681,432	710,688	54,668	398,560	26,531	1,623	3,002	9,243	796	2,105	1,448	622
IT	2,888,866	468,373	36,029	354,695	23,611	1,444	2,672	8,226	708	1,873	1,288	554
LV	2,091,145	314,437	24,187	244,097	16,249	994	1,839	5,661	487	1,289	887	381
LT	2,472,609	368,941	28,380	221,664	14,756	903	1,670	5,141	442	1,171	805	346
LU	6,048,974	955,627	73,510	436,719	29,071	1,779	3,289	10,128	872	2,307	1,586	682
MT	1,726,048	292,090	22,468	294,266	19,589	1,198	2,216	6,824	587	1,554	1,069	459
NL	3,144,379	506,503	38,962	400,833	26,683	1,632	3,019	9,296	800	2,117	1,456	626
PL	2,209,087	322,671	24,821	201,159	13,391	819	1,515	4,665	402	1,062	731	314
PT	2,249,642	359,065	27,620	287,703	19,152	1,172	2,167	6,672	574	1,520	1,045	449
RO	2,257,137	322,445	24,803	183,549	12,219	747	1,383	4,257	366	969	667	287
SK	2,602,350	381,986	29,384	240,873	16,034	981	1,814	5,586	481	1,272	875	376
SI	2,127,862	337,228	25,941	293,677	19,549	1,196	2,212	6,811	586	1,551	1,067	459
ES	2,690,282	427,815	32,909	325,423	21,663	1,325	2,451	7,547	650	1,719	1,182	508
SE	2,819,502	476,827	36,679	470,659	31,331	1,917	3,545	10,915	939	2,486	1,709	735
UK	2,448,105	442,196	34,015	420,407	27,986	1,712	3,167	9,750	839	2,220	1,527	656

4.5.2 Costi dell'inquinamento acustico

L'inquinamento acustico rappresenta una tra le più importanti cause di peggioramento della qualità della vita soprattutto in centri urbani ad alta intensità di traffico; infatti quando parliamo di inquinamento acustico intendiamo la produzione di tutti quei rumori, ovvero suoni indesiderati di varia natura, che derivano dall'utilizzo delle infrastrutture di trasporto in generale, e quindi nello specifico da quelli provenienti dal traffico veicolare. È provato scientificamente[69] che tali rumori provocano dei danni fisici o psicologici all'uomo e dunque determinare i costi dell'inquinamento acustico significa andare a quantificare e monetizzare tali danni.

[68] Fonte: EUROPEAN COMMISSION, *Handbook on the external costs of transport: Version 2019*.

[69] Studi dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) forniscono prove significative circa le conseguenze che l'esposizione prolungata e frequente ai rumori del traffico provocano, andando a definire diverse patologie come la cardiopatia ischemica, ictus, demenza, ipertensione.

Tra i principali effetti annoverati al rumore da traffico ci sono il disturbo e il fastidio (*annoyance*), definiti dall'OMS come alterazioni reversibili delle condizioni psicofisiche dei soggetti esposti, che possono ostacolare le persone nello svolgimento di determinate attività e portare a una varietà di condizioni negative tra cui irritazione, ansia, esaurimento e disturbi del sonno.

4.5.2.1 Metodologia

Per valutazioni di questo genere si pone in prima battuta un problema di misurazione del rumore, infatti diverse metodologie che arrivano alla determinazione di tale esternalità partono dalla quantificazione del livello di rumore in termini di dB(A)[70].
Dopodiché è necessario definire una metodologia di quantificazione monetaria per arrivare alla valutazione dei costi; le principali metodologie utilizzate a questi fini sono:

- il metodo dei prezzi edonici, vale a dire la stima della diminuzione del valore di mercato degli alloggi esposti all'inquinamento acustico (e dei loro canoni di locazione);
- il metodo dei costi di prevenzione, cioè la stima delle spese da sostenere per prevenire il rumore;
- il metodo dei costi di abbattimento, basato sugli esborsi necessari per abbattere l'incidenza del rumore sulla popolazione;
- la valutazione contingente, ovvero la stima della Disponibilità a Pagare (DaP) da parte delle persone esposte per beneficiare di un ambiente sonoro accettabile.[71]

In ogni caso spesso la monetizzazione dei livelli rumorosi passa attraverso il concetto di L_{den} (*day, evening, night Level*) o L_{eq} (Livello acustico continuo equivalente) espresso in dB(A), che rappresenta un valore medio approssimato del rumore presente

[70] Il decibel (dB) è l'unita di misura del livello dell'intensità dei suoni e dB(A) sta ad indicare la curva di pesatura utilizzata riferita al decibel che descrive la ponderazione di frequenza considerata, in questo caso la curva di pesatura A corrispondente a quella della risposta equivalente dell'orecchio ai 40dB e 1000 Hz.
[71] A. FALVO, A. MARABUCCI, *L'analisi costi benefici applicata alle infrastrutture di trasporto*, cit.

(siccome naturalmente il rumore ha un andamento oscillatorio nel corso della giornata, soprattutto per quanto riguarda zone urbane).

Si riporta come esempio una tabella dalle linee guida europee che esprime i valori a persona annui del costo del rumore da traffico in base a Leq e alle differenti tipologie di infrastrutture di trasporto.

Tabella 4-25: Costi del rumore da traffico [€/dB/persone/anno][72]

Lden	Road transport			Rail transport			Aviation		
(db(A))	Annoyance	Health	Total	Annoyance	Health	Total	Annoyance	Health	Total
50-54	14	3	**17**	14	3	**17**	34	5	**39**
55-59	28	3	**31**	28	4	**32**	68	6	**74**
60-64	28	6	**34**	28	6	**34**	68	9	**77**
65-69	54	9	**63**	54	9	**63**	129	12	**141**
70-74	54	13	**67**	54	13	**67**	129	16	**145**
≥ 75	54	18	**72**	54	18	**72**	129	21	**150**

4.5.3 Perdita di valore degli immobili

Ai fini di ACB legate a grosse infrastrutture di trasporto sarebbe interessante analizzare la perdita o l'incremento di valore degli immobili delle immediate vicinanze dell'infrastruttura; è evidente che la costruzione di grosse infrastrutture di trasporto possono portare effetti positivi o negativi sull'andamento del mercato immobiliare degli edifici nelle vicinanze; si pensi ad esempio alla costruzione di una stazione ferroviaria, gli effetti positivi che tale infrastruttura porterebbe alla comunità potrebbero essere molteplici e legati ad esempio alle migliorie della mobilità, come d'altro canto gli effetti negativi, legati ad esempio all'inquinamento acustico o all'impatto paesaggistico. È dunque evidente che installazioni di questo tipo possono andare a modificare parametri che vengono utilizzati nelle pratiche estimative degli immobili andandone ad incrementare o diminuire il valore di mercato.

Fare analisi di questo genere è spesso molto oneroso in termini di metodologie da costruire per arrivare a valutazioni il più possibile connesse alla realtà, ma in ogni caso a volte risulta indispensabile effettuare queste tipo di analisi perché l'impatto che porterebbero sotto questo punto di vista non può essere trascurabile.

[72]Fonte: EUROPEAN COMMISSION, *Handbook on the external costs of transport: Version 2019*.

4.6 Osservazioni conclusive

Per analizzare complessivamente gli impatti di piazza Baldissera è bene avere una visione globale delle esternalità prodotte calcolate.

Tabella 4-26: Costi esternalità piazza Baldissera totali (2016)

	Piazza Baldissera [€]
CCS	5 312 459
CIA	2 666 479
CCC	4 821 244
TOTALE	**12 800 181**

Siccome i prezzi utilizzati nell'analisi proposti dalle linee guida europee sono tutti riferiti all'anno 2016[73] si può ritenere opportuno attualizzare tali costi al 2019. Per effettuare la rivalutazione monetaria sono stati utilizzati i coefficienti di rivalutazione monetaria dell'indice dei prezzi al consumo per le famiglie di operai e impiegati (FOI) dell'ISTAT; si allega il documento rilasciato da ISTAT per la valutazione del coefficiente dal periodo 2016 (media annua) al periodo 2019 (media annua).

Tabella 4-27: Costi esternalità piazza Baldissera totali attualizzati (2019)

	Piazza Baldissera		
	$€_{2016}$	coeff. ISTAT	$€_{2019}$
CCS	5 312 459	1.027	5 455 895
CIA	2 666 479		2 738 474
CCC	4 821 244		4 951 418
TOTALE	**12 800 181**		**13 145 786**

[73] EUROPEAN COMMISSION, *Handbook on the external costs of transport: Version 2019,* §1.3.6 p. 22.

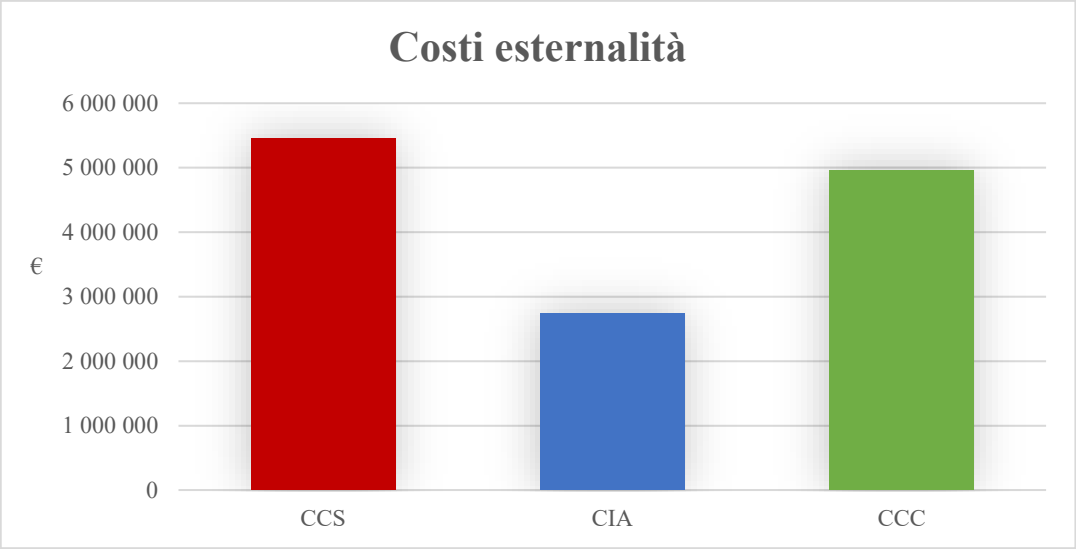


Figura 4-10: Costi esternalità piazza Baldissera

Come si può notare il costo della congestione stradale risulta il più oneroso (41% del totale), dato che conferma che la congestione stradale è il vero problema della piazza; tuttavia per quel che riguarda gli impatti ambientali si può notare che nel loro complesso incidono per il 59 % del totale, con i costi legati ai cambiamenti climatici che sono confrontabili per importanza a quelli dovuti alla congestione (38% del totale).

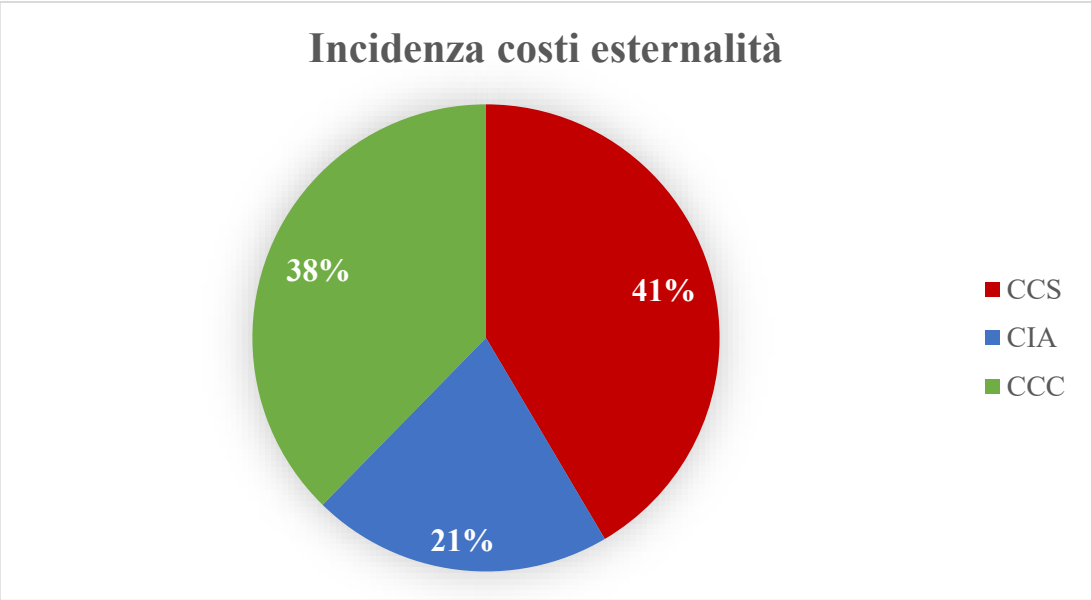


Figura 4-11: Incidenza costi esternalità piazza Baldissera

Capitolo 5

GIS PER PIAZZA BALDISSERA

Un Sistema Informativo Territoriale (SIT, o GIS nell'acronimo inglese, Geographic Information System) è un insieme di strumenti informatici con la capacità di raccogliere, memorizzare, gestire, e rendere disponibili informazioni e dati a referenza geografica utili per l'organizzazione territoriale a cui è legato. A seconda delle finalità per il quale viene progettato esso può essere prevalentemente a carattere descrittivo oppure a carattere gestionale; nel primo caso i GIS possono fornire informazioni utili ad orientare delle scelte e si può quindi parlare proprio di sistemi di supporto alle decisioni. Se entriamo nell'ottica della possibile realizzazione di un'opera che porti dei vantaggi alla comunità, proprio come stiamo trattando in questo testo, uno strumenti di questo genere non solo può essere di grande aiuto, ma in alcuni casi si può ritenere di fondamentale importanza per arrivare nella maniera migliore e più veloce possibile all'analisi di un problema.

Con queste premesse in questo capitolo si vogliono presentare i passaggi che hanno portato alla realizzazione di un GIS per piazza Baldissera, soffermandosi sulle possibilità che l'utilizzo di questo strumento può dare e quindi esponendo i risultati ottenibili, soprattutto con un'applicazione pratica come un'analisi costi benefici.

5.1 La progettazione di un GIS

La progettazione di un GIS è un'operazione complessa che permette di modellizzare la realtà in funzione delle informazioni che si vogliono memorizzare. Scelta l'area oggetto di studio (la realtà) se ne descrivono solamente le caratteristiche peculiari semplificandola rispetto alla sua complessità iniziale. Questa operazione porta alla realizzazione del cosiddetto modello esterno, da cui, attraverso una descrizione formale, deriva il modello concettuale nel quale sono organizzati in maniera ordinata gli oggetti del mondo reale (entità), le loro proprietà (attributi) ed infine le relazioni tra gli oggetti descritti (associazioni). Questo modello si rappresenta graficamente con un diagramma (modello Entità-Associazione), in cui sono riportati i tre elementi precedentemente descritti, una volta che si è assegnato loro nomi diversi e significati specifici. Affinché i dati siano comprensibili all'elaboratore è necessario schematizzarli in una struttura relazionale (modello logico), cioè una struttura in cui entità e associazioni siano rappresentate mediante il concetto di relazione. Ciascuna relazione consiste in una tabella bidimensionale identificata da un nome in cui sono riportati gli attributi, gli identificatori ed infine una descrizione sintetica della stessa. In questa fase, inoltre, si devono definire i collegamenti (link) tra gli attributi delle diverse relazioni nonché le modalità di memorizzazione dei dati (numeri, stringhe, etc.). La fase conclusiva del processo di realizzazione di un SIT, consiste infine nella realizzazione del modello interno, ovvero nell'implementazione dei dati definiti nelle fasi precedenti in un modello trasparente all'operatore.

5.1.1 Modello esterno

Come già discusso, la zona è un centro nevralgico per il traffico torinese; nel corso degli anni è stata sottoposta a diversi interventi che ne hanno variato la conformazione ma ancora oggi riscontra problemi per quel che riguarda la situazione del traffico, a volte insostenibile. Associazioni di cittadini, amministratori locali e tecnici da anni cercano soluzioni per migliorarne la situazione, cercando di alleviare il disagio sia degli automobilisti che transitano dalla piazza sia dei residenti che abitano nelle immediate vicinanze.

Per questi motivi un modello legato al tema della viabilità e del traffico, con una parte legata alle emissioni di inquinanti, è in grado di supportare chiunque abbia intenzione di effettuare degli studi legati alle infrastrutture di trasporto nell'area.
Partendo dai dati del traffico veicolare, esposti nel paragrafo 3.2, l'obiettivo è quello di creare un modello che permetta di analizzare l'impatto della piazza intesa come vera e propria infrastruttura.
Il lavoro vuole rappresentare un supporto ad una eventuale analisi costi benefici, dove l'obiettivo sarà quello di andare ad individuare, e quindi quantificare, tutte le possibili esternalità negative che genera la piazza; questo per successivamente valutare se un eventuale intervento per migliorare la viabilità, che si traduce in un vero e proprio investimento da parte della amministrazione pubblica competente, sia sostenibile dal punto di vista finanziario ed economico-sociale, andando quindi ad analizzare sia le criticità della viabilità dovute al traffico che gli effetti sull'inquinamento dell'atmosfera e quindi sulla salute delle persone.
Per questi motivi i principali elementi che sono stati individuati per la costruzione del modello, sono i seguenti:

- Archi: collegamenti viari che indicano la percorrenza veicolare con il numero di corsie di ogni strada, facendo una distinzione tra corsie riservate ai mezzi pubblici e corsie ordinarie, i sensi di marcia (doppio senso o sensi unici), e che indica la presenza o meno di una sezione stradale su cui è stato effettuato un rilevamento del traffico;
- Nodi: punti di collegamento per gli archi;
- Strade: le infrastrutture destinate alla circolazione veicolare presenti sul territorio, per le quali sarà utile identificare:
    - il nome della strada inteso come toponimo associato all'infrastruttura stessa (es. Corso Vigenavo);
    - l'ente competente dell'infrastruttura, inteso come ente pubblico predisposto al controllo (es. Città Metropolitana, Comune di Torino, ecc.)
    - la superficie dell'infrastruttura (dato reperibile facilmente in quanto ottenibile direttamente da calcoli effettuati dal software);
    - il fondo del manto stradale (es. asfalto, sterrato, ecc.);

- Dati del traffico: dati relativi alla circolazione veicolare in piazza Baldissera, per ogni fascia oraria e per ogni confluente viario della Piazza (Corso Vigevano, Corso Venezia, Via Giachino, Corso Mortara, Corso P. Oddone, Via Cecchi), così distinti:
    - dati del flusso di traffico in veicoli/ora: numero di veicoli passanti per una determinata sezione stradale nell'unità di tempo, nel nostro caso la sezione stradale di rilevamento è individuata all'imbocco di piazza Baldissera per ogni affluente viario;
    - tempi di coda o di ritardo (dt-delay time) in minuti dei veicoli che attraversano piazza Baldissera;
    - numero di veicoli in coda;

  Tutti i dati del traffico in questione fanno riferimento alle rilevazioni esposte nel paragrafo 3.2;
- I dati relativi al valore del tempo e ad esso collegati (come le percentuali per motivo di spostamento) esposti nel paragrafo 4.2.1;
- Dati sostanze inquinanti: dati relativi agli inquinanti atmosferici presenti nella piazza, reperiti da una campagna di rilevamento effettuata dall'ARPA Piemonte in piazza Baldissera dal 31 gennaio al 28 febbraio 2019, si riportano le tabelle dei tipi di inquinanti con le relative unità di misura e gli indici statistici derivanti dal rilevamento;

Tabella 5-1: Indici statistici per Biossido di azoto NO2 (µg/m3)

Biossido di azoto	Inverno 2019
Minima media giornaliera	55
Massima media giornaliera	140
Media delle medie giornaliere (b):	98
Giorni validi	27
Percentuale giorni validi	100%
Media dei valori orari	98
Massima media oraria	217
Ore valide	645
Percentuale ore valide	100%
Numero di superamenti livello orario protezione della salute (200)	5
Numero di giorni con almeno un superamento livello orario protezione della salute (200)	4
Numero di superamenti livello allarme (400)	0
Numero di giorni con almeno un superamento livello allarme (400)	0

Tabella 5-2: Indici statistici per Monossido di carbonio CO (mg/m3)

Monossido di carbonio (mg/m^3)	Inverno 2019
Minima media giornaliera	0.4
Massima media giornaliera	1.6
Media delle medie giornaliere (b):	1
Giorni validi	26
Percentuale giorni validi	96%
Media dei valori orari	1
Massima media oraria	2.4
Ore valide	632
Percentuale ore valide	98%
Minimo medie 8 ore	0.3
Media delle medie 8 ore	1
Massimo medie 8 ore	1.9
Percentuale medie 8 ore valide	97%
Numero di superamenti livello protezione della salute su medie 8 ore (10)	0
Numero di superamenti dell'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana (max media 8h > 10)	0

Tabella 5-3: Indici statistici per Benzene e Toulene (µg/m3)

Indici statistici	BENZENE (µg/m³)	TOLUENE (µg/m³)
	Inverno 2019	
Minima media giornaliera	1.2	3.5
Massima media giornaliera	4.4	13.4
Media delle medie giornaliere (b):	2.6	7.6
Giorni validi	22	22
Percentuale giorni validi	81%	81%
Media dei valori orari	2.5	7.5
Massima media oraria	7.8	35.5
Ore valide	555	557
Percentuale ore valide	86%	86%

Tabella 5-4: Indici statistici per particolato atmosferico PM10 (µg/m3)

PM10 (µg/m³)	Inverno 2019
Minima media giornaliera	22
Massima media giornaliera	106
Media delle medie giornaliere (b):	71
Giorni validi	27
Percentuale giorni validi	100%
Numero di superamenti livello giornaliero protezione della salute (50)	20

Tabella 5-5: Indici statistici per particolato atmosferico PM 2.5 (µg/m3)

PM2.5 (µg/m³)	Inverno 2019
Minima media giornaliera	16
Massima media giornaliera	71
Media delle medie giornaliere (b):	43
Giorni validi	27
Percentuale giorni validi	100%

- Edifici: i volumi destinati ad accogliere al suo interno persone o attività corredati da indirizzo e dai dati relativi alla superficie, altezza e volume, oltre che a dati descrittivi quali la categoria d'uso piuttosto che l'anno di costruzione;

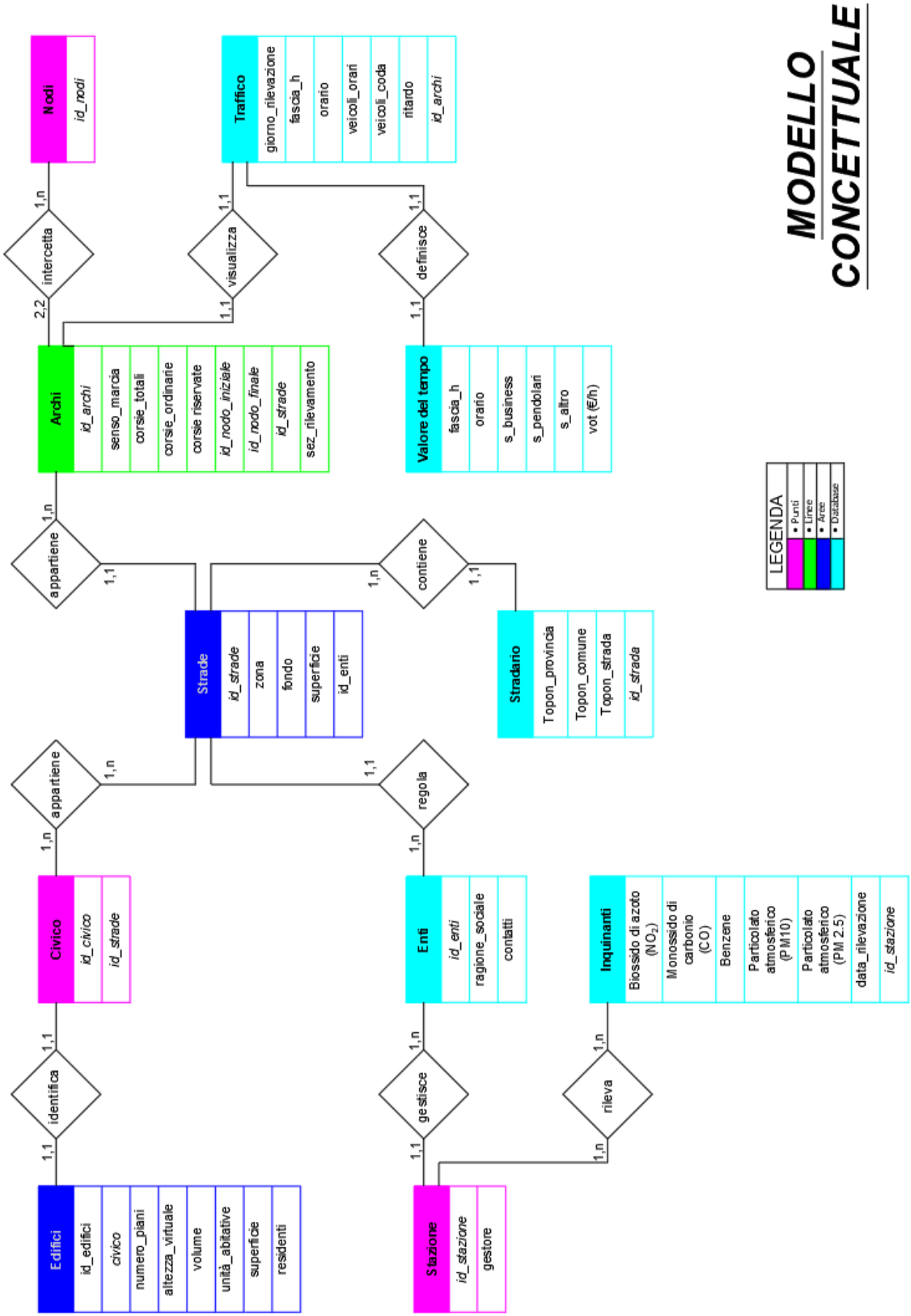
- Sezioni di censimento: aree minime per le quali si dispone di dati aggregati elaborati dall'ISTAT in seguito all'ultimo censimento (2011); in particolare si riporta il dato relativo alla popolazione residente in ciascuna zona.

5.1.2 Modello Concettuale

La realtà fisica osservata, deve essere rappresentata in maniera semplificata. Per tale fine il formalismo più utilizzato è il modello entità-relazioni (E/R), in cui si individuano e definiscono i seguenti elementi:

- Entità: contraddistinte da nomi che le identificano univocamente (identificativo) e rappresentano gli oggetti del mondo reale di cui si vogliono registrare le informazioni.
- Attributi: descrivono le caratteristiche e le proprietà delle entità. Tra questi si trova l'identificativo, cioè un attributo unico che non ammette valori uguali per entità diverse e caratterizza univocamente ciascuna entità.
- Associazioni: permettono di legare concettualmente due o più entità. Ogni associazione costituisce un legame logico definito in modo da essere facilmente identificato dall'operatore e dall'utente.
- Cardinalità: indicano il numero minimo e massimo di legami che un elemento di una certa entità può formare con le occorrenze delle altre entità.

Si riporta la rappresentazione schematica del modello concettuale progettato.


MODELLO CONCETTUALE
Nodi
id_nodi
intercetta
1,n
2,2
Traffico
giorno_rilevazione
fascia_h
orario
veicoli_orari
veicoli_coda
ritardo
id_archi
visualizza
1,1
1,1
definisce
1,1
1,1
Archi
id_archi
senso_marcia
corsie_totali
corsie_ordinarie
corsie riservate
id_nodo_iniziale
id_nodo_finale
id_strade
sez_rilevamento
Valore del tempo
fascia_h
orario
s_business
s_pendolari
s_altro
vot (€/h)
appartiene
1,n
1,1
contiene
1,n
1,1
LEGENDA
Punti
Linee
Aree
Database
Strade
id_strade
zona
fondo
superficie
id_enti
Stradario
Topon_provincia
Topon_comune
Topon_strada
id_strada
appartiene
1,n
1,n
regola
1,1
1,n
Civico
id_civico
id_strade
Enti
id_enti
ragione_sociale
contatti
Inquinanti
Biossido di azoto (NO_2)
Monossido di carbonio (CO)
Benzene
Particolato atmosferico (PM10)
Particolato atmosferico (PM 2.5)
data_rilevazione
id_stazione
identifica
1,1
1,1
gestisce
1,n
1,1
rileva
1,n
1,n
Edifici
id_edifici
civico
numero_piani
altezza_virtuale
volume
unità_abitative
superficie
residenti
Stazione
id_stazione
gestore

5.1.3 Modello logico

I dati delle varie entità nonché le associazioni tra di esse occorrenti, precedentemente rappresentate nel modello concettuale, devono esser tradotti in un linguaggio comprensibile all'elaboratore. Per questo motivo sono state definite le relazioni, cioè le tabelle bidimensionali in cui sono raccolti i dati. Ciascuna relazione è definita da un nome, dagli attributi, dagli identificatori (in corsivo sottolineato) e da una breve descrizione di sé stessa. Infine, per la successiva fase di implementazione, si devono specificare la tipologia dei dati (punti, linee, aree, alfanumerici) di ciascuna entità e le modalità di memorizzazione degli stessi. Le associazioni tra le varie entità sono realizzate mediante attributi dello stesso tipo, pertanto questi sono riportati in corsivo nelle successive relazioni.

Tabella 5-6: Entità individuate e la tipologia dei dati in esse raccolti. Ciascun colore identifica un differente tipo di dato rendendolo immediatamente riconoscibile.

Entità	**Tipologia**	**Legenda**
Archi	Linee	
Civico	Punti	
Nodi	Punti	
Stazione	Punti	
Enti	Alfanumerico	
Inquinanti	Alfanumerico	
Stradario	Alfanumerico	
Traffico	Alfanumerico	
Valore_del_tempo	Alfanumerico	
Edifici	Aree	
Strade	Aree	
Sezioni di censimento	Aree	

Tabella 5-7: Struttura entità "Archi"

ARCHI	
Id_archi	Numerico (5); Short Integer
Senso_marcia	Stringa (50)
Corsie_totali	Numerico (2); Short Integer
Corsie_ordinarie	Numerico (2); Short Integer
Corsie_riservate	Numerico (2); Short Integer
Id_nodo_iniziale	Numerico (5); Short Integer
Id_nodo_finale	Numerico (5); Short Integer
Id_strade	Numerico (5); Short Integer
Sezione_rilevamento	Stringa (2)
L'entità "Archi" raggruppa le informazioni utili riguardanti la viabilità e circa le corsie appartenenti ai vari tronchi stradali di un dato territorio	

Tabella 5-8: struttura della relazione "Civico"

CIVICO	
Id_civico	Numerico (5); Short Integer
Id_strade	Numerico (5); Short Integer
L'entità "Civico" contiene la numerazione progressiva di tutti i possibili civici degli edifici	

Tabella 5-9: struttura entità "Nodi"

NODI	
Id_nodi	Numerico (5); Short Integer
L'entità "Nodi" contiene la numerazione progressiva di tutti i nodi, intesi come intersezione di due o più strade	

Tabella 5-10: struttura entità "Stazione"

STAZIONE	
Id_stazione	Numerico (5); Short Integer
Gestore	Stringa (50)
Id_archi	Numerico (5); Short Integer
L'entità "Stazione" contiene la numerazione progressiva di tutte le stazioni di rilevamento degli inquinanti	

Tabella 5-11: struttura entità "Enti"

ENTI	
Id_enti	Numerico (5); Short Integer
Ragione_sociale	Stringa (50)
Contatti	Stringa (50)
L'entità "Enti" contiene gli Enti pubblici e/o privati che sono proprietari e/o gestori della viabilità di un determinato territorio	

Tabella 5-12: struttura entità "Inquinanti"

INQUINANTI	
Biossido di azoto (NO_2)	Numerico (6); Double
Monossido di carbonio (CO)	Numerico (6); Double
Benzene	Numerico (6); Double
Particolato atmosferico (PM 10)	Numerico (6); Double
Particolato atmosferico (PM 2.5)	Numerico (6); Double
Data_rilevazione	Data (gg/mm/aaaa)
Id_stazione	Numerico (5); Short Integer
L'entità "Inquinanti" contiene i dati relativi alle campagne di rilevazione effettuate per alcune tipologie di inquinanti	

Tabella 5-13: struttura entità "Stradario"

STRADARIO	
Id_strada	Numerico (5); Short Integer
Topon_strada	Stringa (50)
Topon_comune	Stringa (50)
Topon_provincia	Stringa (50)
L'entità "Stradario" contiene i toponimi di strade, comuni e province di un determinato territorio	

Tabella 5-14: struttura entità "Traffico"

TRAFFICO	
Id_traffico	Numerico (5); Short Integer
Giorno_rilevazione	Stringa (50)
Fascia_oraria	Numerico (5); Short Integer
Orario	Stringa (50)
Veicoli_orari	Numerico (5); Long Integer
Veicoli_coda	Numerico (5); Long Integer
Ritardo	Numerico (5); Long Integer
Id_nodi	Numerico (5); Short Integer
L'entità "Traffico" contiene i dati relativi alle campagne di rilevazione del traffico in alcuni punti sensibili della città	

Tabella 5-15: struttura entità "Valore del tempo"

VALORE DEL TEMPO	
Fascia_oraria	Numerico (5); Short Integer
Orario	Stringa (50)
Spostamento_Business	Numerico (5); Long Integer
Spostamento_Pendolari	Numerico (5); Long Integer
Spostamento_Altro	Numerico (5); Long Integer
VOT (€/h.pers)	Numerico (5); Short Integer
L'entità "Valore del tempo" contiene i dati necessari al calcolo del valore del tempo a seconda del tipo di spostamento	

Tabella 5-16: struttura entità "Viabilità"

STRADE	
Id_strade	Numerico (5); Short Integer
Zona	Stringa (50)
Fondo	Stringa (50)
Superficie	Stringa (50)
id_enti	Numerico (5); Short Integer
L'entità "Viabilità" identifica e descrive i tronchi stradali di un dato territorio	

Tabella 5-17: struttura entità "Edifici"

EDIFICI	
Id_edifici	Numerico (5); Short Integer
Numero_piani	Numerico (3); Short Integer
Altezza_virtuale	Numerico (6); Double
Altezza_totalr_virtuale	Numerico (6); Double
Volume_virtuale	Numerico (10); Double
Id_sezione	Numerico (5); Short Integer
Id_civico	Stringa (15)
L'entità "Edifici" descrive alcune caratteristiche degli edifici presenti su un dato territorio	

Tabella 5-18: struttura entità "Sezioni di censimento 2011"

SEZIONI CENSIMENTO 2011	
Id_sezione	Numerico (5); Short Integer
Popolazione	Numerico (5); Short Integer
L'entità "Sezione di censimento 2011" riporta il dato elaborato dall'ISTAT alla data dell'ultimo censimento (2011) relativamente alla popolazione residente in ciascuna sezione di censimento	

5.1.4 Modello Interno

Con il modello interno si va a definire l'implementazione, di quanto descritto precedentemente, in linguaggio macchina, andando a costruire un modello trasparente all'operatore che permetterà di interagire con il sistema informativo progettato.

Si procederà dunque a restituire, nel software scelto per effettuare la progettazione, quell'insieme di dati, concetti, relazioni, entità che si sono definiti nelle precedenti fasi. Il software utilizzato per la realizzazione del modello interno è ArcGIS prodotto da ESRI.

Per procedere all'implementazione del progetto GIS si inizia con l'acquisizione dei dati, per successivamente restituire tali dati ed infine arrivare alla loro elaborazione, andando a costruire il modello di simulazione e rappresentazione descritto in precedenza.

5.1.4.1 Input

La costruzione del GIS parte dall'acquisizione di alcuni dati, relativi all'area di studio, da cui andare a costruire il sistema progettato; nel nostro caso i dati e le relative fonti sono stati i seguenti:

- Shapefile dell'intera città di Torino, raccolti secondo gli strati informativi così organizzati:
  - 00_INFORMAZIONI_GEODETICHE_E_FOTOGRAMMETRICHE
    - 0001_Informazioni_geodetiche
  - 01_VIABILITA' MOBILITA' E TRASPORTI
    - 0101_Strade
    - 0102_Ferrovie
  - 02_IMMOBILI ED ANTROPIZZAZIONI
    - 0201_Edificato
    - 0202_Manufatti
    - 0203_Opere delle infrastrutture di trasporto
    - 0204_Opere di sostegno e di difesa del suolo
    - 0205_Opere idrauliche, di difesa e di regimazione idraulica
  - 04_IDROGRAFIA
    - 0401_Acque interne e di transizione

05_OROGRAFIA

0503_Forme del terreno

06_VEGETAZIONE

0601_Aree agro-forestali

0604_Verde urbano

09_AMBITI_AMMINISTRATIVI

0901_Ambiti amministrativi enti locali

10_AREE_DI_PERTINENZA

1002_Pertinenze

ALTRO

Toponomastica Semplificata in scala 1/10000

- Dati ricavati dalle mappe interattive del Geoportale della Regione Piemonte;

Per selezionare i dati di interesse tra quelli forniti, è stato effettuato un buffer di 250 m da Piazza Baldissera. Con questa base l'area di analisi è stata selezionata mantenendo tutti gli elementi all'interno delle strade più esterne rientranti nel buffer effettuato.

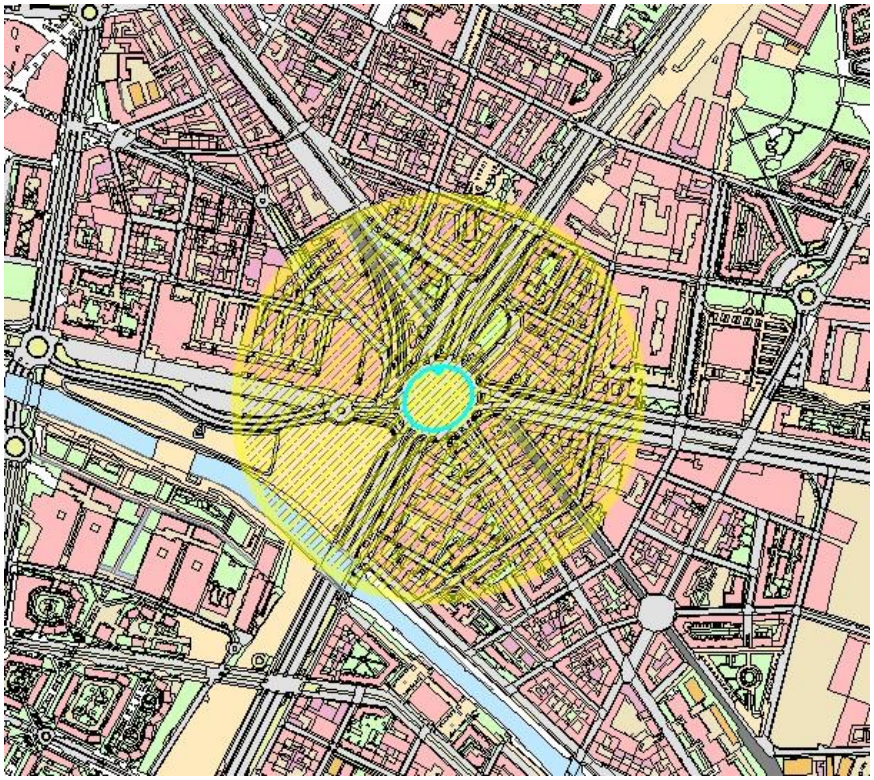


Figura 5-1: Buffer di 250 m (in giallo) da piazza Baldissera utilizzato per selezionare l'area di analisi

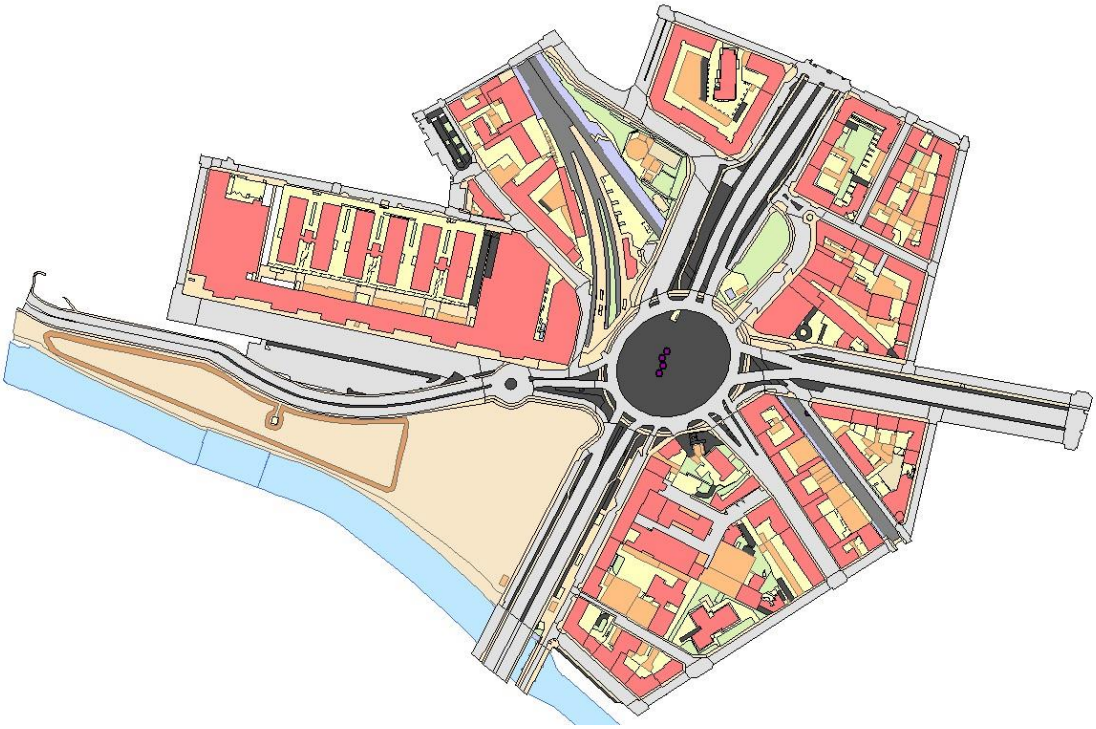
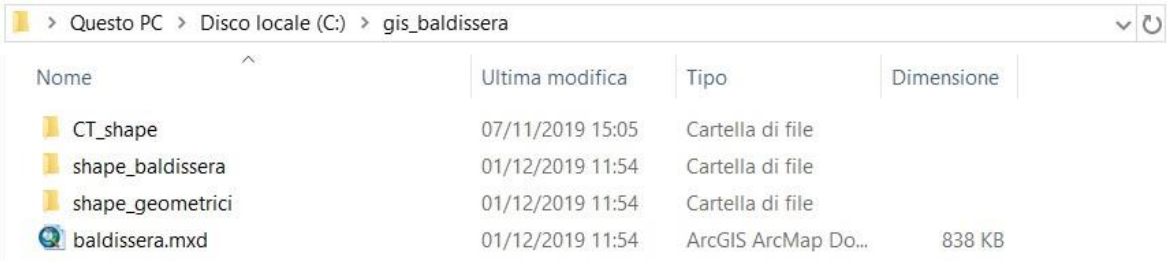


Figura 5-2: Area di studio ottenuta

Gli shapefile utilizzati sono stati organizzati in tre cartelle distinte nella cartella sorgente del progetto.



> Questo PC > Disco locale (C:) > gis_baldissera

Nome	Ultima modifica	Tipo	Dimensione
CT_shape	07/11/2019 15:05	Cartella di file	
shape_baldissera	01/12/2019 11:54	Cartella di file	
shape_geometrici	01/12/2019 11:54	Cartella di file	
baldissera.mxd	01/12/2019 11:54	ArcGIS ArcMap Do...	838 KB

Figura 5-3: Organizzazione shapefile utilizzati

Nella cartella CT_shape sono stati collocati gli shapefile del comune di Torino forniti come dati di input, nella cartella shape_geometrici sono stati collocati gli shapefile che sono stati estratti quelli del comune di Torino, quindi esportati al fine di creare un gruppo di layer più snello, relativo solamente all'area di studio, ma che non verrà modificato e che quindi avrà solamente una funzione geometrica;

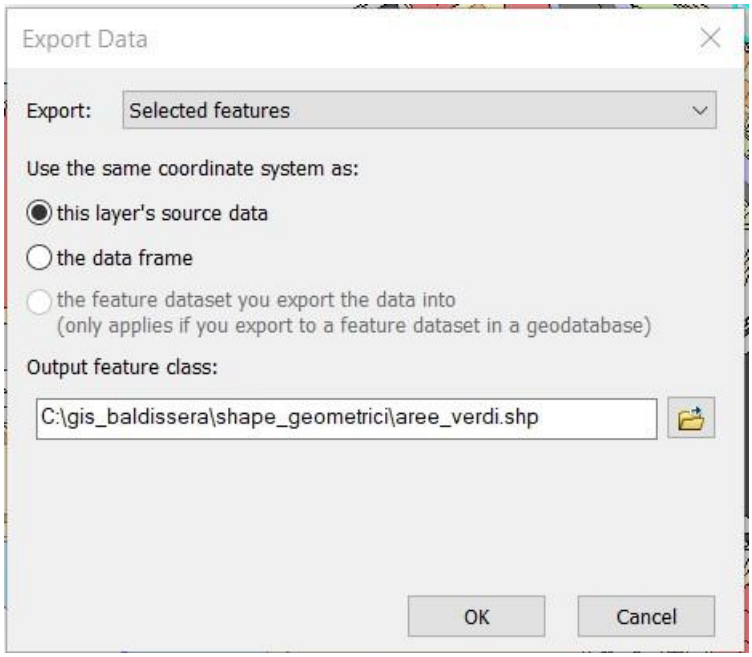


Figura 5-4: Esempio esportazione di shapefile aree_verdi partendo shapefile 060401_AREA_VERDE.shp

Nella cartella shape_baldissera sono stati collocati i file .shp, esportati da quelli sorgente, che saranno la base da cui partire in funzione delle esigenze del progetto. In particolare questi sono strade edifici ed edifici_minori.

5.1.4.2 Sistema di riferimento

I dati appena descritti sono stati forniti orientati nel sistema di riferimento (SR) GAUSS-BOAGA, ma si è deciso di ridefinirli nel sistema di riferimento UTM-WGS84-ETRF2000, e dunque si è dovuto procedere ad una conversione del SR. Tale conversione è stata eseguita con l'ausilio del software CartLab3 che adotta la Procedura VERTO come metodo di trasformazione dei dati.

L'interfaccia di CartLab3 mostra nella parte di sinistra i dati di input, ovvero i dati orientati secondo il sistema di riferimento d'origine, e nella parte di destra quelli di output in funzione del sistema di riferimento secondo il quali si vuole orientare gli stessi dati.

Per quel che riguarda i dati di input, si è definito il fuso di proiezione Ovest riferito alla posizione di Torino secondo il sistema di riferimento GAUSS-BOAGA, la quale nel caso di sistema UTM-WGS84-ETRF2000 (dati di output) corrisponde al fuso 32.

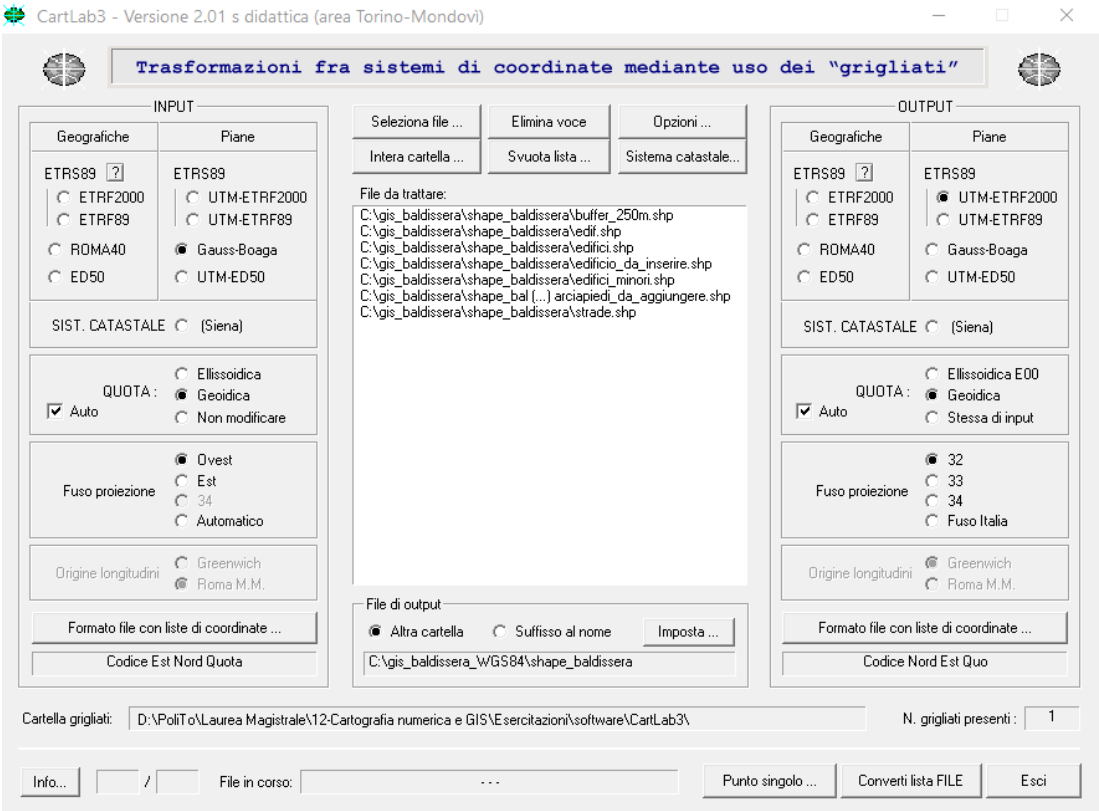


Figura 5-5: Interfaccia CartLab3 con settaggio impostazioni

Nella definizione dei dati di input e di output è importante sottolineare che nella descrizione dei campi è stato selezionato come ordine dai dati Est, Nord aggiungendo quota, in quanto nei file di input sono descritti in questa maniera.

Per le trasformazioni che coinvolgono il sistema ETRF2000 è necessario che siano presenti i file dei grigliati nella versione "K" (*.gk1 o *.gk2), di conseguenza è stato necessario individuare il percorso di selezione della cartella in cui sono presenti i grigliati della zona di interesse, nel nostro caso si utilizza il grigliato 155.gk2 che copre tutta la zona di Torino. Per impostare l'utilizzo dei grigliati si entra nelle opzioni del software e si imposta l'utilizzo dei grigliati andando a selezionare SOLO GRIGLIATI, in quanto nel nostro caso siamo sicuri che l'area che stiamo trattando rientra completamente all'interno del grigliato che utilizziamo.

Terminata la procedura di conversione dei parametri tramite CartLab, è stato necessario inserire le coordinate del nuovo sistema in ArcMap, poiché questo non è in grado di riconoscere in automatico il sistema di riferimento. La procedura da seguire consiste nell'utilizzare lo strumento Define Projection dall'elenco ArcToolbox,

selezionando singolarmente gli shapefile e scegliendo il sistema di coordinate UTM-WGS 1984-Zone 32N.

5.1.4.3 Calcolo automatico valori attributi

All'intero del software è possibile far calcolare in automatico alcuni campi degli attributi che siano il risultato di un'operazione che implichi l'utilizzo dei valori di altri attributi inseriti, attraverso l'opzione Field Calculator.

Ad esempio nel nostro caso per calcolare il valore VOT dell'entità valore_del_tempo è stata impostata la formula espressa al paragrafo 4.2.1.

5.1.4.4 Relazioni: Join e Relate

I dati alfanumerici gestiti da ArcGIS non si riducono solamente alle tabelle degli attributi di ciascun layer, infatti è possibile gestire banche dati molto più complesse, costituite da più tabelle poste in relazione fra loro. La creazione di relazioni in ArcGIS è basata sulle modalità JOIN e RELATE.

Il comando Join è utilizzabile secondo due approcci: il primo (*Join attribute from a table*) permette di collegare le entità in funzione dei dati degli attributi, il secondo (*Join data from another layer based on spatial location*) permette di collegare tramite dei riferimenti spaziali.

Il join da tabella permette di collegare una entità ad un'altra mediante un attributo in comune tra le tabelle oggetto di join (stabilisce una relazione 1:1 tra le righe delle tabelle collegate). Si ottiene così una tabella attributi costituita da una parte riguardante la tabella originaria ed una parte aggiunta corrispondente le colonne della tabella esterna con cui si è fatta l'unione.

La modalità Join tra tabelle è solo un'unione logica: le tabelle non vengono effettivamente modificate, ma continuano ad esistere singolarmente. È però possibile creare un nuovo layer vettoriale, creando un nuovo shapefile, che avrà come tabella degli attributi quella ottenuta con il join (tasto dx sul layer ->data->export data).

Ad esempio nel nostro caso le entità traffico e valore_del_tempo sono state collegate con Join tramite l'attributo fascia_h.

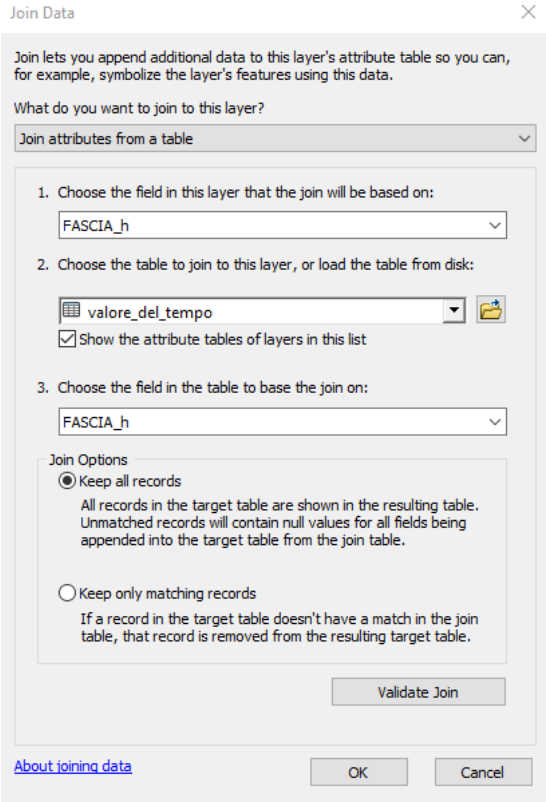


Figura 5-6: Esempio di Join da tabella

Successivamente è stata estratta un'altra tabella chiamata costo_del_tempo che ci ha permesso di calcolare il costo del ritardo per ogni fascia oraria con i dati delle due tabelle unite tramite join.

Table

costo_del_tempo

ID_ARCHI	FASCIA_h	ORARIO	VEICOLI_h	RITARDO (min)	VOT (€/h)	COSTO_RITARDO (€/h)
5	1	0-1	276	0	11	0
5	2	1-2	193	0	11	0
5	3	2-3	97	0	11	0
5	4	3-4	48	0	11	0
5	5	4-5	97	0	12	0
5	6	5-6	130	0	12.5	0
5	7	6-7	260	1	13	56.333336
5	8	7-8	520	4	11.5	398.666687
5	9	8-9	951	8.5	11.5	1549.337489
5	10	9-10	563	4.5	12	506.70002
5	11	10-11	308	1.5	15	115.500002
5	12	11-12	261	1	15	65.250003
5	13	12-13	250	0	15	0
5	14	13-14	338	0	0	0
5	15	14-15	628	1	13	136.066674
5	16	15-16	797	4	11.5	611.033365
5	17	16-17	956	5.5	11.5	1007.783355
5	18	17-18	1123	8.5	11.5	1829.554154
5	19	18-19	1004	6.5	11.5	1250.816678
5	20	19-20	978	2.5	13	529.750016
5	21	20-21	798	1	12.5	166.250009
5	22	21-22	730	1	12	146.000008
5	23	22-23	631	0	12	0
5	24	23-24	534	0	11.5	0

1 (0 out of 144 Selected)

costo_del_tempo

Figura 5-7: Esempio tabella creata con Join. In blu gli attributi ottenuti dall'unione delle entità, in arancione la colonna calcolata successivamente.

Il comando Relate permette di mettere in relazione due tabelle mediante un campo comune (stabilisce una relazione 1:n tra le righe delle tabelle collegate, per cui ad ogni riga della prima tabella corrispondono più righe della seconda).

L'operazione di relate non è visibile visualizzando la tabella degli attributi ma occorre interrogare i dati per visualizzare i campi della tabella messa in relazione con il relate, attraverso il puntatore.

Ad esempio nel nostro caso le entità strade ed enti sono state collegate con relate tramite l'attributo ID_ENTE.

In questo caso la relazione chiamata enti responsabili, permette di visualizzare i dati relativi agli enti responsabili della strada selezionata.

Altre entità collegate tramite relate sono: archi->dati_traffico, traffico->costo_del_tempo, stazione_rilevamento_inquinanti->inquinanti, stazione_rilevamento_inquinanti->enti.

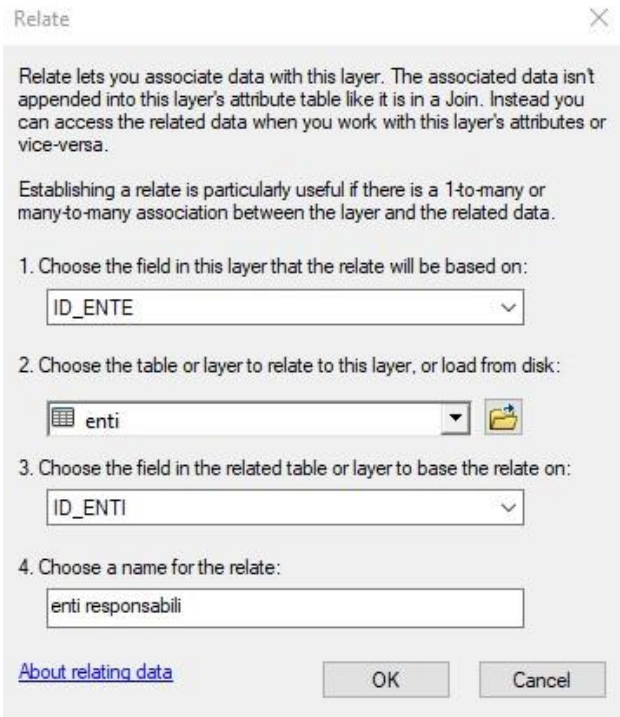
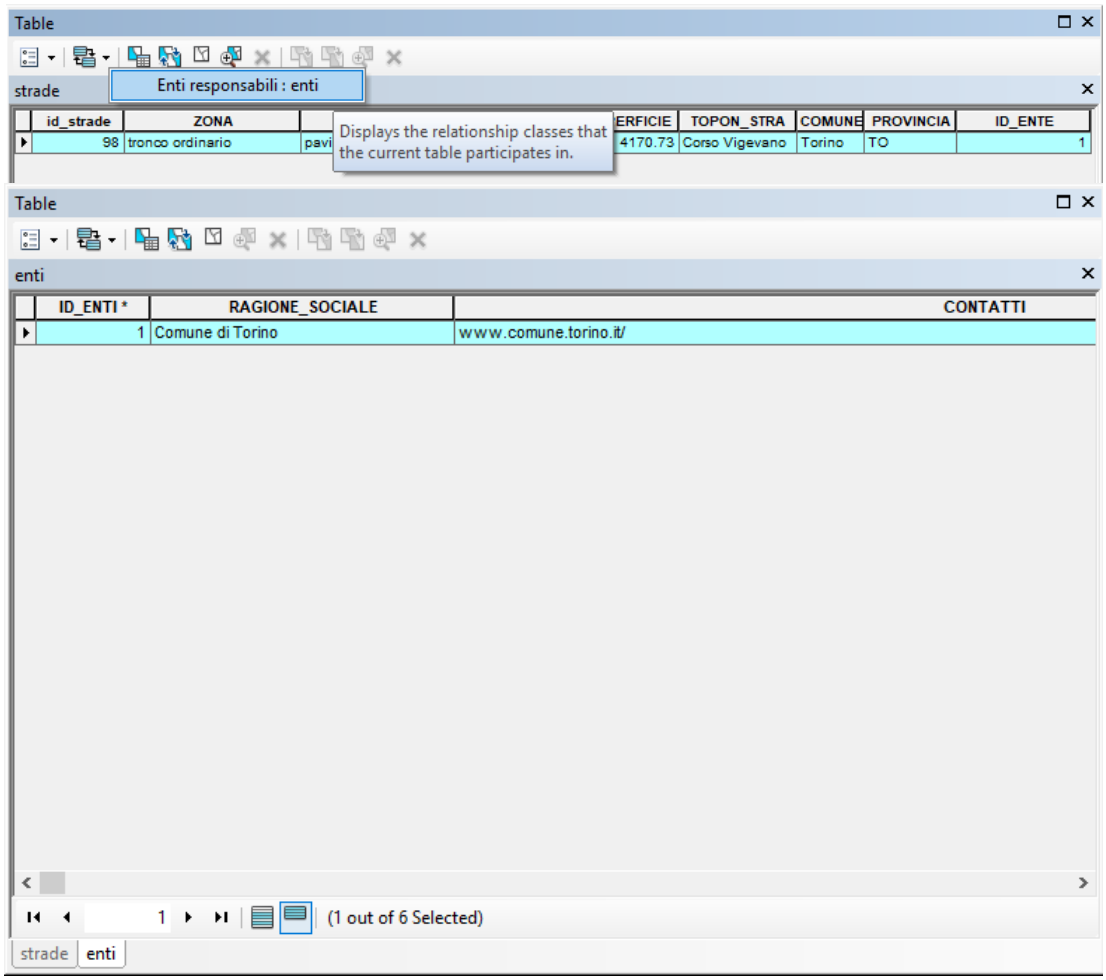


Figura 5-8: Esempio creazione relate strade-enti



5.2 Consultazione del modello

Una vola completata l'implementazione del modello, il software permette diversi approcci alla consultazione, in modo da interrogare ed ottenere informazioni per le quali si è progettato il GIS. Di seguito si riportano alcuni esempi di consultazione del modello.

5.2.1 Strumento *identify*

Il principale strumento per ottenere informazioni immediate riguardanti un'entità è il comando *identify* attraverso il quale, selezionando l'oggetto desiderato, vengono visualizzate le informazioni dell'oggetto stesso e tutte quelle correlate.

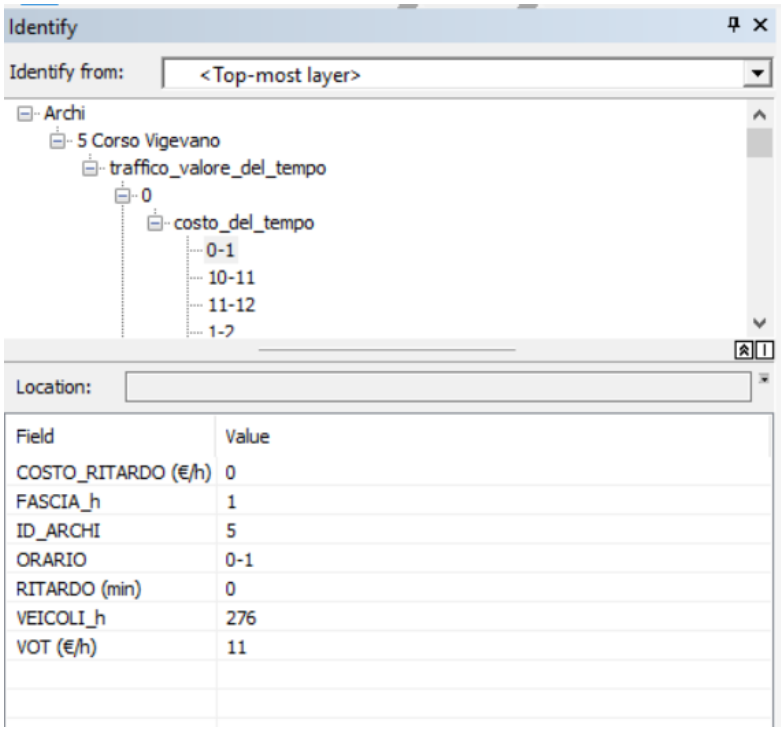


Figura 5-9: Esempio interrogazione identify dell'arco di corso Vigevano con la sezione di rilevamento del traffico

Nell'esempio si nota come, dopo la selezione in questo caso dell'elemento arco con ID 5, corrispondente ad un tratto di corso Vigevano, è possibile ottenere informazioni prima sul traffico e successivamente sul costo del tempo nelle diverse fasce orarie.

5.2.2 Selezione per attributi o riferimento spaziale

Un altro strumento molto utile alla consultazione del modello è lo strumento *Selection* attraverso il quale è possibile effettuare una selezione degli oggetti desiderati attraverso la definizione di determinati attributi (*Select by attributes*) o attraverso un determinato riferimento spaziale (*Select by location*).

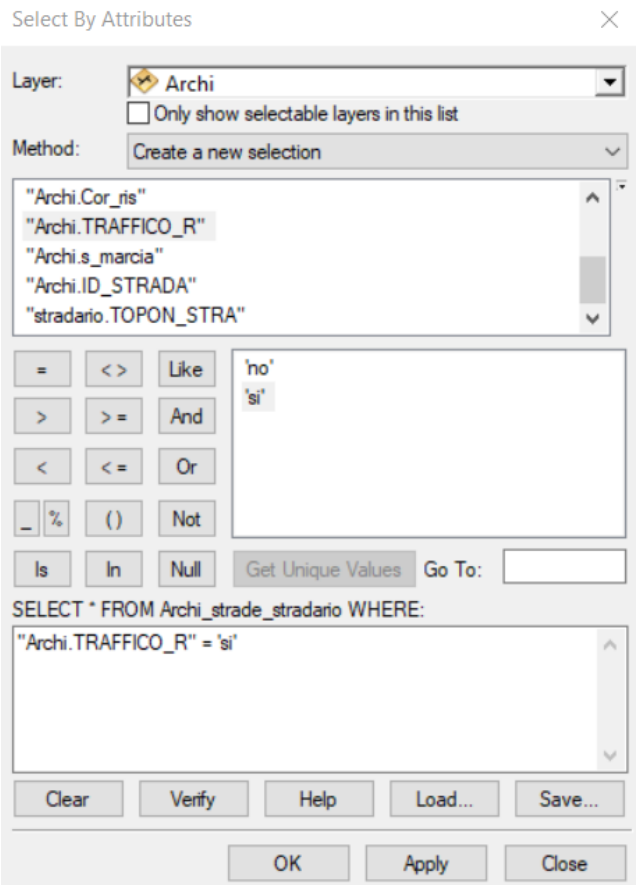


Figura 5-10: Esempio di select by location

Nell'esempio notiamo come la selezione attraverso attributo ci permetta di inserire una vera e propria equazione per arrivare alla selezione degli elementi del layer da noi ricercati; in questo caso è effettuata una selezione sul layer archi per ricercare quali elementi contengono i dati del traffico, ovvero se l'attributo TRAFFICO_R (traffico rilevato), che identifica se in quel determinato arco è presente una sezione stradale dove è stato rilevato il traffico, risulta essere uguale a sì.

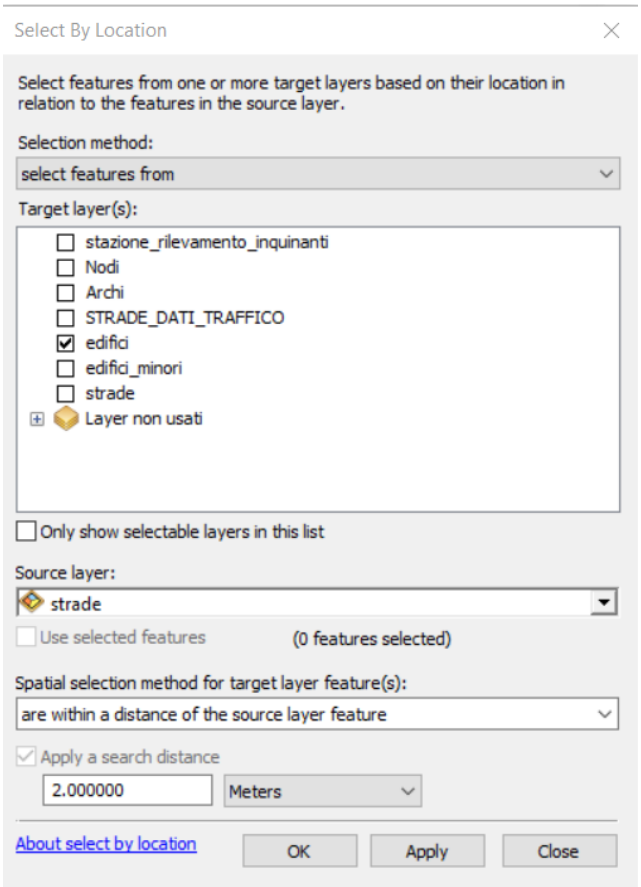


Figura 5-11: Esempio di select by location

In questo esempio di selezone per riferimento spaziale si è andati a selezionare tutti gli edifici (target layer) che si trovano ad una distanza di almeno 2 m dalle strade (source layer). Le opzioni di selezione sono molteplici e vengono selezionate dal menu a tendina *Spacial selection method fot target layer feature*.

5.2.3 Grafici e valori statistici

Un'altra opportunità offerta dal software è quella di interrogare il modello per ottenere dati statistici piuttosto che grafici di determinati attributi.

Mediante l'utilizzo della funzione *Statistics* è possibile effettuare delle analisi dettagliate per ogni campo presente nelle tabelle attributi delle varie entità. In questo modo è possibile estrapolare alcuni dati come il valore minimo, il valore massimo, la media e la deviazione standard.

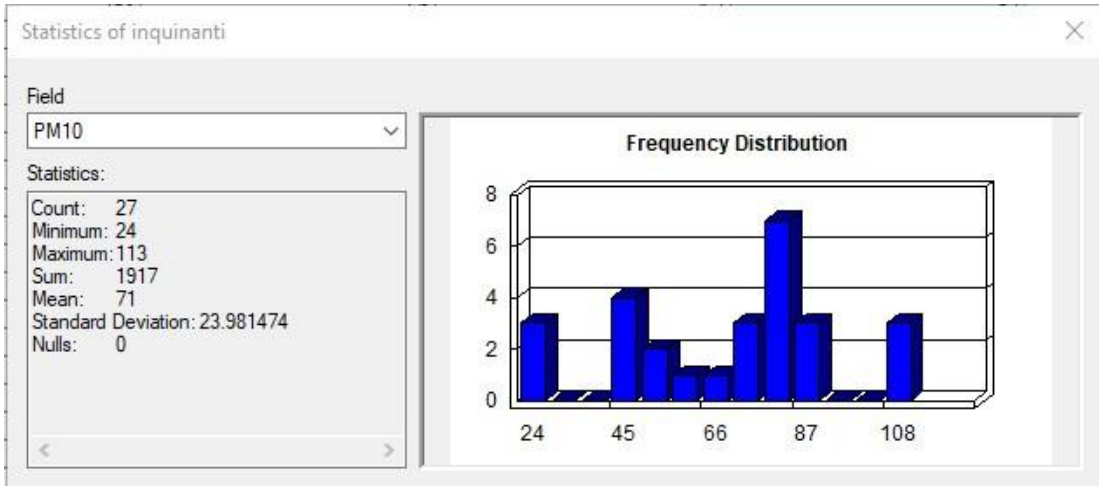


Figura 5-12: Esempio statistics

Nell'esempio vengono visualizzati i dati statistici dei valori dell'inquinante PM10 durante il periodo di rilevazione.

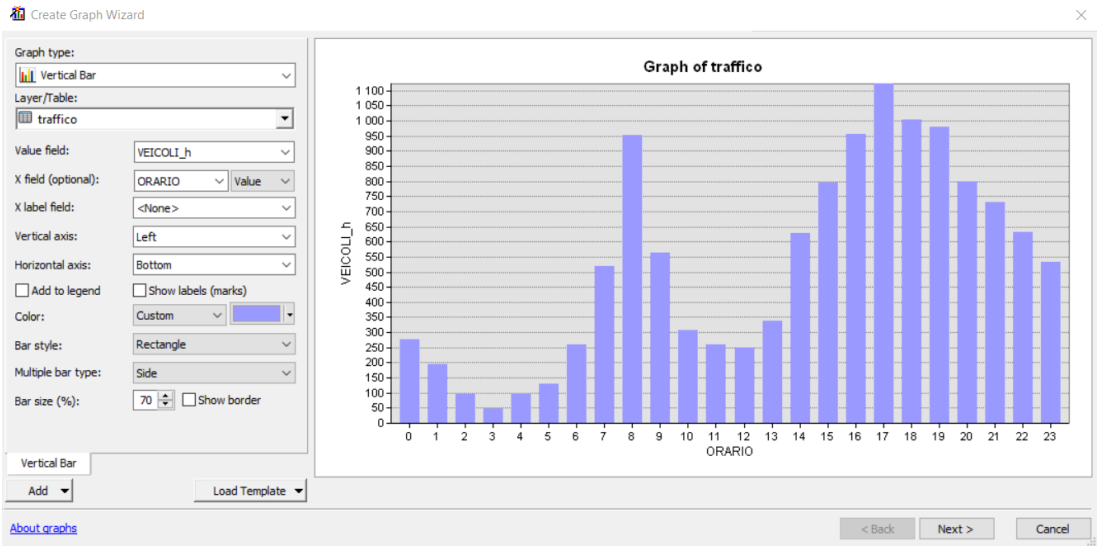


Figura 5-13: Esempio grafico flusso del traffico estrapolato direttamente dal software

Nell'esempio viene creato il grafico relativo all'andamento dei veicoli orari durante una giornata feriale media in corso Vigevano.

5.2.4 Visualizzazioni e tematismi

Altre importanti funzioni offerte dal software riguardano la visualizzazione degli elementi e la possibilità di creare mappe tematiche secondo i vari attributi

implementati nelle varie entità; ad esempio molte figure del capitolo 3 sono frutto di visualizzazioni del modello GIS con queste procedure.

Una delle visualizzazioni più interessanti è quella relativa alla sezione Symbology, dove è possibile modificare il layer andando per esempio a creare delle visualizzazioni legate ai valori dei campi degli attributi, ottenendo in questa maniera delle mappe tematiche. Nel nostro caso ad esempio è stato duplicato il layer strade in modo da poter creare dei tematismi che possono essere visualizzati solamente all'occorrenza. Ad esempio è possibile creare una visualizzazione con colori graduati legata al flusso di veicoli durante le diverse ore di punta.

È inoltre possibile impostare una visualizzazione del layout (layout view) per la stampa andando a definire la dimensione dei fogli e ad aggiungere tutti gli elementi messi a disposizione dal software in modo da creare in maniera semplice e veloce delle tavole.

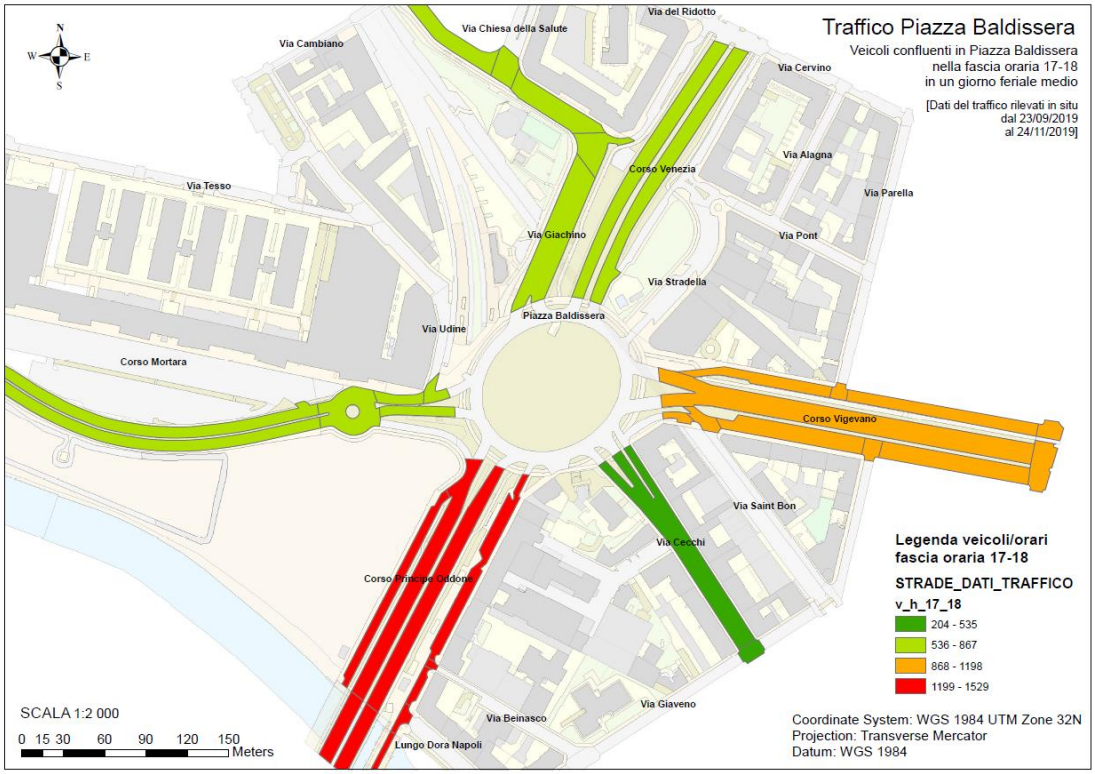


Figura 5-14: Esempio tavola tematica

CONCLUSIONI

Giunti alla conclusione di questo studio abbiamo compreso come le metodologie dell'analisi costi-benefici siano fondamentali al giorno d'oggi per riuscire a valutare gli impatti che gli investimenti pubblici hanno sulla collettività. In particolare abbiamo visto come nel caso di piazza Baldissera uno studio di questo genere rilevi dei problemi evidenti che, una volta quantificati, danno nel migliore dei modi un'indicazione sulla situazione attuale.

Tuttavia bisogna sottolineare che la vera natura dell'ACB risiede nell'analisi degli investimenti pubblici prima ancora che vengano approvati e realizzati, e che quindi vede la sua massima espressione nell'applicazione ex-ante la realizzazione di un'opera pubblica. Soprattutto in Italia, dove la tendenza invece è quella di utilizzare questo strumento ex-post, ovvero per andare a valutare l'intervento dopo la sua realizzazione, l'auspicio è che ci sia un cambio di direzione, perché analizzando i dati si comprende sin da subito le potenzialità che questo strumento ha nei confronti di una migliore e soprattutto più sostenibile programmazione, che eviti la creazione di condizioni dannose, a conti fatti, per la collettività.

In ambito europeo abbiamo visto che sono già a disposizione tutti gli strumenti necessari per cercare di invertire questa tendenza e quindi di progettare il futuro del nostro paese e in particolare il futuro delle infrastrutture di trasporto in maniera più responsabile e con un atteggiamento costruttivo dove l'unico obiettivo sia quello di portare seri ed importanti giovamenti alla collettività.

Abbiamo valutato come un'analisi economica, imparziale e motivata, anche con le sue criticità e difficoltà, sia uno strumento indispensabile per perseguire lo scopo fondamentale di un miglioramento della società, e in particolare di come sia indispensabile l'impegno di un professionista serio e qualificato che riesca a perseguire tali obiettivi.

In questi termini abbiamo sottolineato come le infrastrutture, rappresentino uno degli esempi che meglio si adattano a questo contesto. Soprattutto di questi tempi, in cui l'Italia sta attraversando un momento difficile per quanto riguarda le infrastrutture di trasporto, è indispensabile rendersi conto di quanto una migliore e sensata pianificazione, ottenibile attraverso questi strumenti, sia fondamentale.

Nel caso delle infrastrutture di trasporto, che vedono al centro di tutte le considerazioni i dati relativi al traffico veicolare, sono ormai diventati impossibili da ignorare gli impatti che esse hanno sulla collettività. Abbiamo notato come, ad esempio, dal punto di vista degli impatti ambientali, quindi legati all'inquinamento atmosferico, stiamo attraversando una fase critica in cui è necessario discutere per cercare delle soluzioni. A volte le misure più semplici da prendere non si rivelano in realtà le più adatte alla soluzione di un problema. Infatti analizzando la grave condizione della qualità dell'aria della città di Torino ci si è accorti di come misure che possono essere considerate sostenibili sono in realtà poco efficaci. In particolare, abbiamo effettuato valutazioni per comprendere se e quanto le limitazioni al traffico imposte nel comune di Torino abbiano prodotto dei miglioramenti nelle concentrazioni di PM_{10} registrate; in generale tali limitazioni si sono rilevate sostanzialmente inadeguate per diversi motivi. Innanzitutto analizzando i dati forniti da ARPA Piemonte sui contributi percentuali alle concentrazioni medie annuali di PM_{10} per la città di Torino[74] ci si accorge che il contributo all'inquinamento da parte di tutto il settore trasporti (che quindi non comprende solo il settore veicolare) sia pari al 38%, e se si considerasse il contributo delle sole autovetture di più recente costruzione (nuovi Euro 5 o Euro 6), esso sarebbe di sicuro inferiore. Inoltre analizzando l'andamento dei livelli di PM_{10} in relazione alle misure di limitazione del traffico, anche in anni differenti, è difficile trovare una correlazione empirica che ci permetta di affermare l'efficacia di tali provvedimenti; tale correlazione sarebbe, invece, più facile da trovare con le principali variabili atmosferiche, come l'assenza di eventi piovosi o l'avvento di lunghi periodi di tempo stabile e di altra pressione con l'assenza di venti.

Bisogna dunque interrogarsi sulla necessità di agire alla base del problema, magari promuovendo una diversa idea di mobilità che diventi sostenibile anche nelle zone più disparate della città.

Analizzando dunque una realtà come quella di piazza Baldissera, ci si accorge di quanto il problema del traffico veicolare diventi determinante. La piazza come abbiamo visto rappresenta da sempre una zona nevralgica per il traffico torinese, e che negli anni ha subito non poche trasformazioni. Data la sua posizione strategica, anche

[74] Dati ARPA Piemonte consultabili alla pagina: http://www.arpa.piemonte.it/news/inquinamento-da-particolato-pm10-le-fonti

se alle porte della periferia torinese, è fondamentale trovare soluzioni che rendano il più sostenibile possibile usufruire della piazza sia da parte di utilizzatori diretti come gli automobilisti che da parte degli abitanti delle immediate vicinanze. Se si quantificano, come è stato fatto, gli impatti prodotti in un punto cruciale come quello ci si rende conto della necessità di aprire un confronto, che deve essere sempre costruttivo, per cercare delle soluzioni al problema. Basti pensare che la principale causa di insostenibilità è quella relativa alla congestione stradale, ma che gli impatti ambientali uniti compongono circa il 60%. Naturalmente gli effetti sono correlati e se, come abbiamo visto, si interviene considerando un miglioramento delle condizioni solamente dovuto alla congestione stradale, per gli orizzonti temporali tipici delle infrastrutture, è evidente che un intervento anche di diversi milioni di euro sarebbe irrisorio in confronto ai benefici che godrebbe una realtà come quella di piazza Baldissera.

Sicuramente sono temi di confronto importanti che vanno analizzati nella loro complessità, ma che, come ribadito più volte, sono necessari per raggiungere l'unico vero obiettivo perseguibile: migliorare le condizioni della società e quindi migliorare le condizioni economiche di un paese.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

Monografie, articoli e documenti

- AGENZIA PER LA MOBILITÀ METROPOLITANA E REGIONALE, *Traffico passeggeri e utenza sulle linee Sfm*, 2015

- AGENZIA PER LA MOBILITÀ PIEMONTESE, *Indagine sulla Mobilità delle persone e sulla Qualità dei Trasporti. Rapporto sulla Regione Piemonte*, Torino, 2016

- L. ARTUSIO, *Mille saluti da Torino*, Edizioni del Capricorno, Torino, 1990

- H. CAMPBELL, R. BROWN, *Benefit-cost analysis. Financial and economic appraisal using spreadsheets*, Cambridge University Press, Cambbridge (UK), 2003

- G. CATALANO, S. LOMBARDO, *L'analisi costi-benefici nelle opere pubbliche ed elementi di analisi multicriteri*, Dario Flaccovio Editore, Palermo 1995

- CNH INDUSTRIAL, *Piano degli spostamenti casa-lavoro. Comprensorio di Torio Stura*, 2014

- CNH INDUSTRIAL, *Piano degli spostamenti casa-lavoro stabilimento di Torino via Plava*, 2018

- P. DAVICO, C. DEVOTI, G.M. LUPO, M. VIGLINO, *La storia della città per capire il rilievo urbano per conoscere borghi e borgate di Torino*, Edizioni del Politecnico di Torino, Revello (CN), 2014

- EUROPEAN COMMISSION, *Guide to Cost-benefit Analysis of Investment Projects: Economic appraisal tool for Cohesion Policy 2014-2020*, *Publications Office of the European Union*, 2014

- EUROPEAN COMMISSION, *Handbook on the external costs of transport: Version 2019*, 2019

- A. FALVO, A. MARABUCCI, *L'analisi costi benefici applicata alle infrastrutture di trasporto*, in Working Paper n° 87, Dipartimento di Economia Università degli Studi Roma Tre, 2008

- R. FERRARO, *La valutazione di Impatto Ambientale applicata alle infrastrutture lineari di trasporto. Il caso della tratta A.V. Bologna-Firenze*, Roma, 1999

- M. GALLO, *Appunti di: Tecnica ed Economia dei Trasporti.*, 2002

- P.GOODWIN, *The economic Costs of Road Traffic Congestion*, ESRC Transport Studies Unit University College London, 2004

- P. LATTARULO, M. PLECHERO, *Traffico e inquinamento: i danni per la salute dell'uomo e i costi sociali*, IRPET Istituo Regionale Programmazione Economica Toscana, 2005

- S. MAFFI, R. PAROLIN, *Infrastrutture di trasporto e accettabilità: il ruolo della valutazione economica nella riduzione dei conflitti*, in trimestrale del Laboratorio Territorio Mobilità e Ambiente – TeMALab, Voume 4, Nunero 4, 2011

- A. MARABUCCI, *Il tasso sociale di sconto nelle Analisi Costi Benefici applicate ai trasporti: una proposta alternativa*, Rivista di economia e politica dei trasporti (R.E.PO.T), 2018

- A. MARABUCCI, *Le Analisi Costi Benefici applicate alle infrastruttur di trsporto: il problema della sovrastima dei benefici*, Rivista di economia e politica dei trasporti (R.E.PO.T), 2017

- E. MARONE, *Le grandi infrastrutture: approcci di ordine giuridico, economico ed estimativo*, Firenze University Press, Firenze, 2015

- J. MASSIANI, *Il valore della vita nell'Analisi Costi Benefici: concetti e valutazione*, Rivista di economia e politica dei trasporti (R.E.PO.T), Numero 1, 2017

- MINISTERO DELLE INFRASTUTTURE E DEI TRASPORTI, *Linee guida per la valutazione degli investimenti in opere pubbliche*, 2017

- MINISTERO DELLE INFRASTUTTURE E DEI TRASPORTI, *Sistemi di monitoraggio del traffico. Linee guida per la progettazione*.

- S. MOMIGLINO, F. NUTI, *La valutazione dei costi e dei benefici nell'analisi dell'impatto della regolazione*, Rubettino Editore, Soveria Mannelli (CZ), 2001

- F. NUTI, *L'analisi costi-benefici*, Il Mulino, Bologna 1987

- M. PONTI, P. BERIA, *Alcune note sulla valutazione dei progetti infrastrutturali in Italia*, TRASPOL Working Paper, Politecnico di Milano, 2011

- REGIONE PIEMONTE, *Report 2017 sulla mobilità veicolare in Piemonte*, 2017

- F. A. SANTAGATA, *Strade - Teoria e tecnica delle costruzioni stradali*, Pearson Italia, Lavis (TN) 2016

- A. SEN, *The discipline of cost-benefit analysis*, Journal of Legal Studies 29(S2): 931-952, Harvard, 2000

- F. W.G. SULLIVAN, E.M. WICKS, J.T. LUXHOJ, *Economia applicata all'ingegneria*, Pearson Education, Milano, 2006

- S. TONIN, G. LUCARONI, L. FREGOLENT, M. TURVANI, *Life 12 / BIO / IT / 000556. Azione D2 Analisi Costi-Benefici. Report on CBA evaluation*, 2016

- S. J. WILLIAMSON, *Fundamentals of Air Pollution*, Addison-Wesley, Londra 1993

Sitografia

- ACI, *Open Parco Veicoli*, s.d. http://www.opv.aci.it/WEBDMCircolante/index.html

- AGENZIA PER LA MOBILITÀ METROPOLITANA E REGIONALE, *Traffico passeggeri e utenza sulle linee Sfm*, 2015

- ARPA, *Livelli inquinamento aria nella città di Torino*, s.d. http://www.comune.torino.it/ambiente/inquinamento/new-report.php

- ARPA, *Protocollo operativo per l'attuazione delle misure urgenti antismog*, s.d. https://www.arpa.piemonte.it/rischinaturali/tematismi/aria/cruscotto.html

- CITTÀ DI TORINO_INFORMAMBIENTE, *Benzene (C6H6)*, 2012 http://www.comune.torino.it/ambiente/aria/aria_torino/princ_inquinanti/benzene-c6h6.shtml

- CITTÀ DI TORINO_INFORMAMBIENTE, *Biossido di zolfo (SO2)*, 2012 http://www.comune.torino.it/ambiente/aria/aria_torino/princ_inquinanti/biossido-di-zolfo-anidride-solforosa-so2.shtml

- CITTÀ DI TORINO_INFORMAMBIENTE, *Monossido di carbonio (CO)*, 2012 http://www.comune.torino.it/ambiente/aria/aria_torino/princ_inquinanti/monossido-di-carbonio-co.shtml

- CITTÀ DI TORINO_INFORMAMBIENTE, *Ozono (O3)*, 2012 http://www.comune.torino.it/ambiente/aria/aria_torino/princ_inquinanti/ozono-o3.shtml

- ISPRA, *Banca dati dei fattori di emissione medi del trasporto stradale*, s.d. http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/fetransp

- ISPRA, *Emissioni in atmosfera*, s.d. http://www.isprambiente.gov.it/it/temi/Aria/emissioni-in-atmosfera

- MUSEOTORINO, http://www.museotorino.it

RINGRAZIAMENTI

Desidero innanzitutto vivamente ringraziare i miei relatori, il professore Francesco Prizzon e la professoressa Manuela Rebaudengo, per la grande disponibilità dimostratami in questi mesi di lavoro, oltre che per il supporto ed i preziosi consigli.

Ringrazio Giorgia, che da anni mi sostiene e mi dà forza, e senza la quale non riuscirei più a stare: grazie per essere sempre dalla mia parte e di sostenermi, in ogni circostanza e ad ogni costo, nei momenti più gioiosi e in quelli più tristi; grazie per essere ogni giorno la causa dei miei sorrisi.

Ringrazio mia madre, che con la sua instancabile dolcezza non mi ha fatto mai mancare il suo sostegno, ringrazio mio padre che con i suoi insegnamenti mi ha reso l'uomo che sono oggi.

Ringrazio tutta la mia famiglia, che mai mi ha fatto e mai mi farà mancare l'appoggio di cui ho bisogno.

Ringrazio tutti i miei amici, più vicini e più lontani, per aver condiviso con me le fatiche, lo sconforto, la gioia e le soddisfazioni in questi anni di vita universitaria. Ringrazio Guglielmo che anche questa volta mi ha aiutato con la pazienza di cui solo un vero amico è dotato.

Grazie a tutti di gran cuore,
Matteo.