

# Sviluppo della mobilità sostenibile in Italia: un'analisi econometrica

# Sviluppo della mobilità sostenibile in Italia: un'analisi econometrica

---

### **Informazioni legali**

L'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), insieme alle 21 Agenzie Regionali (ARPA) e Provinciali (APPA) per la protezione dell'ambiente, a partire dal 14 gennaio 2017 fa parte del Sistema Nazionale a rete per la Protezione dell'Ambiente (SNPA), istituito con la Legge 28 giugno 2016, n.132.

Le persone che agiscono per conto dell'Istituto non sono responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in questa pubblicazione.

ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale  
Via Vitaliano Brancati, 48 – 00144 Roma  
[www.isprambiente.gov.it](http://www.isprambiente.gov.it)

ISPRA, Rapporto n. 377/22  
ISBN 978-88-448-1140-2

Riproduzione autorizzata citando la fonte

### **Elaborazione grafica**

Grafica di copertina: Alessia Marinelli - ISPRA – Area Comunicazione Ufficio Grafica

Foto di copertina: Archivio ISPRA

**ISPRA** – Area Comunicazione

### **Coordinamento pubblicazione online:**

Daria Mazzella

**ISPRA** – Area Comunicazione

Dicembre 2022

---

**Autori**

Lorenzo Ciulla (Università di Siena), Silvia Ferrini (Università di Siena), Alessio Capriolo (VAL-ECA), Rosa Anna Mascolo (VAL-ECA).

**Ringraziamenti**

In collaborazione con l'Università degli Studi di Siena - Dipartimento di Economia Politica e Statistica Scuola di Economia e Management - Corso di Laurea in Economia per l'ambiente e la sostenibilità tramite lo svolgimento di un tirocinio extracurricolare.

---

**Abstract**

The traditional mobility system generates elevated annual external costs and in Italy we calculate that annually 6 billion euros are lost due to greenhouse gas pollution and 20 billion due to local air pollution.

Electric mobility has now become a central topic in today's attempts to reduce pollution. In this work, the monetary benefits of electric private mobility in Italy are calculated by analyzing the key determinants of the implementation of this type of transportation. It was found that electric cars reduce the external costs of mobility, especially in the long-term future where the reduction vary between 612 million euros and 3 billion and 500 million euros every year.

The problem is that electric cars have critical issues that risk to create, withouth adequate policies, other types of serious environmental and social problems.

---

## Sommario

<b>Introduzione</b>	<b>5</b>
<b>1. Inquinamento atmosferico nel settore dei trasporti</b>	<b>6</b>
1.1 Introduzione	6
1.2 Metodologia	7
1.3 Risultati	8
<b>2. Cambiamento climatico nel settore dei trasporti</b>	<b>9</b>
2.1 Introduzione	9
2.2 Metodologia	10
2.3 Risultati	12
<b>3. Sviluppo della Mobilità Sostenibile in Italia: analisi econometrica</b>	<b>13</b>
3.1 Introduzione	13
3.2 Dati e Metodologia	13
<b>Box 4: Dati panel</b>	<b>14</b>
3.3 Risultati	15
3.3.1 Analisi descrittiva	15
3.3.2 Analisi econometrica	18
<b>4. Scenario futuro</b>	<b>21</b>
4.1 Scenario Business as usual	21
4.2 Scenario positivo	22
4.3 Scenario negativo	23
4.4 Riepilogo	24
<b>Discussione e Conclusioni</b>	<b>25</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>26</b>
<b>Appendice</b>	<b>32</b>

---

## Introduzione

L'obiettivo dello studio è quello di analizzare lo sviluppo della mobilità sostenibile in Italia, soffermandosi sui benefici ed i costi determinati da un rinnovamento del parco circolante in favore dei veicoli ad alimentazione elettrica.

La mobilità sostenibile potrebbe essere potenzialmente uno dei principali vettori di miglioramento delle condizioni socio-ambientali a livello globale; potrebbe comportare un miglioramento delle condizioni di salute, dell'ambiente e della qualità della vita di miliardi di persone, mantenendo stabile l'impatto dei cambiamenti climatici. Attualmente la situazione è compromessa dal momento che il settore dei trasporti contribuisce alla disuguaglianza nell'accesso allo sviluppo economico e sociale, all'aumento del numero di morti a causa dell'elevato tasso di accidentalità stradale, all'uso intensivo di combustibili fossili, all'emissione massiccia di gas ad effetto serra come dell'inquinamento atmosferico e di quello acustico.

### **Box 1: Mobilità sostenibile**

**Viene definita dal Ministero della Transizione Ecologica riportando la definizione proposta nella strategia europea in materia di sviluppo sostenibile approvata nel 2006 dal Consiglio Europeo, come l'infrastruttura che ha l'obiettivo di garantire che i sistemi di trasporto corrispondano ai bisogni economici, sociali ed ambientali della società, minimizzandone contemporaneamente le ripercussioni negative sull'economia, la società e l'ambiente. Essa viene definita dal World Business Council for Sustainable Development, Mobility 2030 Report (2004) come l'insieme di trasporti in grado di dare alle persone la possibilità di spostarsi in libertà, comunicare e stabilire relazioni senza mai perdere di vista l'aspetto umano e quello ambientale, oggi come in futuro.**

In Italia molte città non hanno piani di sviluppo adeguati nel settore dei trasporti rispetto a quelli degli altri Paesi Europei. Dai dati che emergono dalla terza edizione del Rapporto OSMM (Optimal Sustainable Mobility Mix) del 2021, "La svolta della mobilità: business models e politiche pubbliche per accelerare la transizione verde", la mobilità in Italia ha ancora una forte dipendenza dall'automobile ed uno sviluppo minoritario del trasporto pubblico, soprattutto nelle regioni del Sud Italia. Secondo i dati dell'European Environmental Agency (EEA) nel 2021 l'Italia si colloca al quindicesimo posto in Europa, in coabitazione con l'Ungheria, per numero di auto full elettriche ed ibride plug-in vendute occupando una quota pari al 4% del parco circolante totale. Numeri che risultano essere molto inferiori se paragonati con quelli dei Paesi scandinavi e del Nord Europa dove le percentuali si attestano in Svezia al 33% di circolazione di auto full elettriche e ibride plug-in, mentre in Olanda scende al 28%, fino ad arrivare all'19% della Germania e all'11% della Francia.

I dati sono ancora più allarmanti se si considera che in Italia il tasso di motorizzazione è più elevato rispetto alla media europea; che la città di Milano e Bologna hanno un tasso di motorizzazione pari a rispettivamente 561 e 621 auto per mille abitanti, mentre la media europea si attesta intorno a 513. La situazione peggiora ulteriormente se si analizzano gli spostamenti in automobile dove a Milano toccano il 51% dei trasporti totali e a Bologna il 58% a fronte di una media europea che si attesta attorno al 33%. Complementare a questo indicatore risulta essere quello relativo all'utilizzo del trasporto pubblico locale nel quale le città più virtuose in Italia come Milano e Bologna si attestano intorno al 21 ed 11% rispettivamente, contro una media europea molto più elevata che arriva al 30% (Clerici et al., 2021). In questo contesto diviene fondamentale comprendere quali sono i benefici derivanti dallo sviluppo di un sistema di trasporti green. Il metodo utilizzato è quello dell'analisi costi-benefici (ACB), un metodo utilizzato per valutare un progetto che si è evoluto rispetto ai concetti economici del surplus del consumatore e di esternalità (Domingos et al., 2014).

Lo studio presente si sofferma sul calcolo delle esternalità relative al settore dei trasporti. Pertanto rispetto ad un'analisi tradizionale si pone molta più attenzione alle esternalità non direttamente monetizzabili, in particolare su quelle di natura ambientale come ad esempio l'inquinamento atmosferico e l'emissione di gas ad effetto serra, le quali non hanno un prezzo fissato direttamente sul mercato. L'analisi non sviluppa una completa ACB, per come viene definita dalla Commissione Europea (2014), ma ha l'ambizione di reinterpretarla superando l'idea di miglioramento dell'efficienza delle tradizionali analisi costi – benefici, puntando alla massimizzazione

---

del benessere della società dal punto di vista ambientale, mantenendo un'ottica economica di monetizzazione degli input e degli output corrispondenti. L'obiettivo è quello di sviluppare un'analisi di scenario basata sui risultati di riduzione delle emissioni imposte dall'Unione Europea, tramite la stima delle principali esternalità associate al settore della mobilità elettrica in Italia e delle relative criticità associate allo sviluppo di questa tipologia di alimentazione per i mezzi di trasporto.

Nella prima parte il report calcola le esternalità negative relative al settore dei trasporti considerando il parco circolante attuale. Viene utilizzato un medesimo modo operandi per tutte le esternalità analizzate: viene descritta in modo dettagliato la problematica ambientale, viene esplicitata la metodologia utilizzata per il calcolo del costo sociale, vengono stimati i costi totali e i costi marginali di ciascun effetto esterno.

#### **Box 2: Analisi Costi-Benefici (ACB)**

**In questo contesto diviene fondamentale comprendere quali sono i benefici derivanti dallo sviluppo di un sistema di trasporti green. Il metodo utilizzato è quello dell'analisi costi-benefici, un metodo utilizzato per valutare un progetto che si è evoluto rispetto ai concetti economici del surplus del consumatore e di esternalità (Domingos et al., 2014). L'analisi costi - benefici (ACB) è uno strumento analitico da utilizzare per analizzare una decisione di investimento al fine di valutare il cambiamento di benessere attribuibile ad esso; l'obiettivo è quello di facilitare una più efficiente allocazione delle risorse dimostrando la convenienza per la società di un particolare progetto rispetto ad altre alternative possibili.**

Nella seconda parte tramite l'utilizzo di un'analisi statistica si mira alla stima dei benefici monetari derivanti dalla variazione del numero di veicoli elettrici, a seguito di interventi sulle variabili determinanti della mobilità elettrica. Viene sviluppato un modello econometrico, il quale mette in relazione i fattori che influenzano lo sviluppo della mobilità elettrica e la variabile dipendente (numero automobili elettriche ed ibride vendute) e si elabora una delle esternalità negative evitate grazie allo sviluppo di scenari futuri per la mobilità sostenibile.

Il report si conclude mostrando scenari alternativi di sviluppo della mobilità sostenibile seguendo la possibile variazione dei principali input che determinano la domanda di auto elettriche. Vengono sviluppati tre tipi di scenari diversi; nel primo si assume uno sviluppo della mobilità elettrica che segue i trend attuali, nel secondo si ipotizza uno scenario di tipo negativo con un sottosviluppo della distribuzione di autovetture elettriche e il terzo scenario nel quale si assume uno sviluppo positivo degli input.

## **1. Inquinamento atmosferico nel settore dei trasporti**

### **1.1 Introduzione**

Nel settore dei trasporti è stato dimostrato che gli scarichi dei veicoli rilasciano ossidi di azoto, particolato (PM10 e PM2.5), ossidi di zolfo, monossido di carbonio e vari metalli pesanti come il cadmio, il piombo ed il mercurio. Inoltre i precursori chimici presenti nei gas di scarico possono reagire nell'atmosfera causando la formazione di ozono. I metalli pesanti vengono rilasciati nell'atmosfera anche dall'abrasione degli pneumatici e dei freni, e una volta che si sono depositati al suolo possono essere «risospesi» nell'aria dalle auto di passaggio. (EEA, 2016).

L'Agenzia Europea per l'Ambiente (EEA, 2021) riporta che l'inquinamento atmosferico è la principale causa di morte prematura e fonte di rischi per la salute umana in Europa. Secondo i dati dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) il settore dei trasporti in Italia è responsabile per l'anno 2019 del 25,2% delle emissioni totali di gas serra, che seppure non hanno effetti diretti sulla salute umano, sono causa dei sempre più evidenti cambiamenti climatici.



---

Nel periodo dal 1990-2019, le emissioni del settore trasporti, con l'esclusione dei trasporti internazionali, sono aumentate del 3,2%. L'anidride carbonica è la principale causa e ISPRA (2021) riporta che la principale fonte di emissioni deriva dal trasporto stradale.

## 1.2 Metodologia

Per valutare gli effetti degli inquinanti dal traffico e computare il loro impatto sul benessere sociali si utilizza una metodologia che fa riferimento ad un indicatore che assegna un valore alla vita degli individui esprimendola come il numero di anni di vita persi oppure una certa qualità della vita persa. Gli indicatori utilizzati in questo report sono principalmente due; utilizzati in modo complementare.

Per la mortalità viene utilizzato l'indicatore di YLL (Years of Lost Life), il quale indica il numero di anni di vita persi a causa di una morte prematura e tiene conto sia della frequenza dei decessi che dell'età in cui si verificano (OMS, 2018). Tale indicatore può essere definito come il numero di decessi a causa di una malattia moltiplicato per l'aspettativa di vita standard all'età nel quale avviene la morte.

$$YLL = N \times L \quad (Eq 1)$$

dove:

***N = numero di decessi per la malattia dalle stime della Salute Globale dell'OMS.***

***L = Aspettativa di vita standard dell'età in cui avviene la morte in anni.***

L'indicatore relativo allo sviluppo di malattie a causa degli agenti inquinanti è invece il QALY (Quality-Adjusted Life Years), il quale indica il numero di anni di vita in perfetta salute. L'indicatore viene utilizzato come unità di misurazione della salute combinando la durata e la qualità della vita (Sassi 2006). Limite del QALY è quello di non riuscire a cogliere la relazione tra malattia cronica ed esposizione nel lungo termine, ruolo che viene svolto da parte dell'indicatore YLL riportato nell'Equazione 1 (Hubbel,2006). Il calcolo dei QALY è semplice: la variazione del valore di utilità indotta dal trattamento viene moltiplicata per la durata dell'effetto del trattamento per ottenere il numero di QALY guadagnati (NICE,2019). Ad esempio se un trattamento medico migliora l'utilità del paziente da 0,9 a 1 e la persona ha 10 anni di vita rimanenti, i guadagni di salute sono pari ad un QALY di 0,1 all'anno per dieci anni. Lo stato di salute è basato su una valutazione di percezione individuale (European Commission (EC), 2019).

Una volta calcolati il QALY e YLL è necessario monetizzarli attraverso il VOLY (Value of a Life Year). Esso rappresenta la quantità di denaro che le persone sono disposte a pagare per un anno addizionale nell'aspettativa di vita (CONCAWE, 2006) e in alcuni lavori al VOLY è assegnata un valore annuale medio di €70.000, in prezzi del 2015/2016 (NEEDS 2008). Secondo diverse fonti il VOLY risulta essere la misura adatta nella valutazione di morti non istantanee (IER, 2004 e EC, 2005).

Il VOLY differisce dal VSL dal momento che il primo stima il valore monetario annesso ad un anno addizionale nell'aspettativa di vita, mentre il secondo attribuisce un valore ad una morte istantanea. Anche qualora si voglia quantificare delle morti che avvengono in modo successivo all'esposizione all'inquinante il VOLY risulta la misura da utilizzare (Jeanrenaud e Altri, 2007), mentre nel caso in cui si voglia stimare dei decessi avvenuti nel medesimo istante dell'esposizione è logico utilizzare un VOLY derivato dal VSL (EC, 2019). Il metodo VOLY-QALY<sup>1</sup> viene utilizzata in questo report dal momento che l'inquinamento atmosferico comporta una piccola perdita nell'aspettativa di vita (pochi mesi in un range che va da alcuni giorni a dieci anni) e questo rende l'inquinamento atmosferico un caso molto diverso da quello di riferimento sugli incidenti stradali per cui è usuale utilizzare il VSL.

Per quanto riguarda la morbosità invece la valutazione considera le perdite di produttività e il quadro QALY che classifica i disturbi delle varie malattie come si evince dalla tabella 1.1.

---

<sup>1</sup> Il metodo VOLY-QALY pone volutamente un peso inferiore per la riduzione del rischio di mortalità per le persone con un'età più avanzata (OECD, 2016).

**Tab 1.1 – Valutazione dei vari effetti sulla salute dovuti all’esposizione a PM2.5, NO2 ed Ozono per i redditi medi per l’UE-28. Fonte: EC, 2018.**

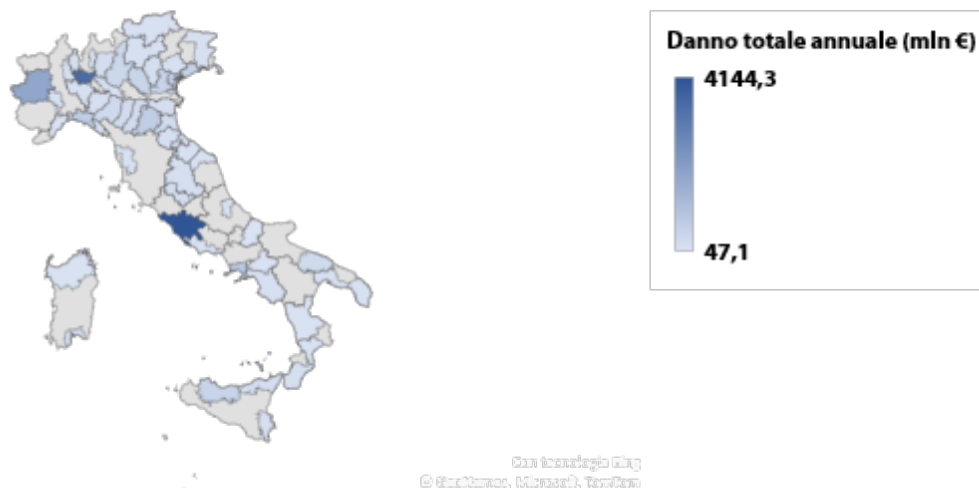
Core endpoints	Pollutant	Unit	Monet. Val. per case o YLL (euro)
Increased mortality risk (YOLL)	PM2.5, SOMO35, NO2	YLL	70.000
Netto restricted activity days (NetRADs)	PM2.5	Days	157
Work loss days (WLD)	PM2.5	Days	94
Minor restricted activity days (MRAD)	PM2.5, SOMO35	Days	52
Increased mortality risk (infants)	PM10	Cases	3.600.000
New cases of chronic bronchitis	PM10	Cases	240.000
Hospital admissions (CVD,respiratory)	PM10,SOMO35,NO2	Cases	2.850
Medication use/bronchodilator use	PM10,NO2	Cases	2

Fonte dati European Commission, 2018.

In letteratura, negli ultimi anni sono stati suggeriti molti valori diversi per il VOLY. In questo caso, è stato utilizzato un VOLY dell'UE28 di 70.000 euro (sulla base dei prezzi del 2016). Per quanto riguarda gli altri valori sono seguite le linee guida della Commissione Europea (2018), la attribuisce un valore monetario per ciascuna variazione nello stato di salute di un individuo determinato da inquinanti aerei, le stime sono adattate per l'Italia (vedi appendice 1).

### 1.3 Risultati

**Fig 1.1 – Danni totali da inquinamento atmosferico nel 2018.**

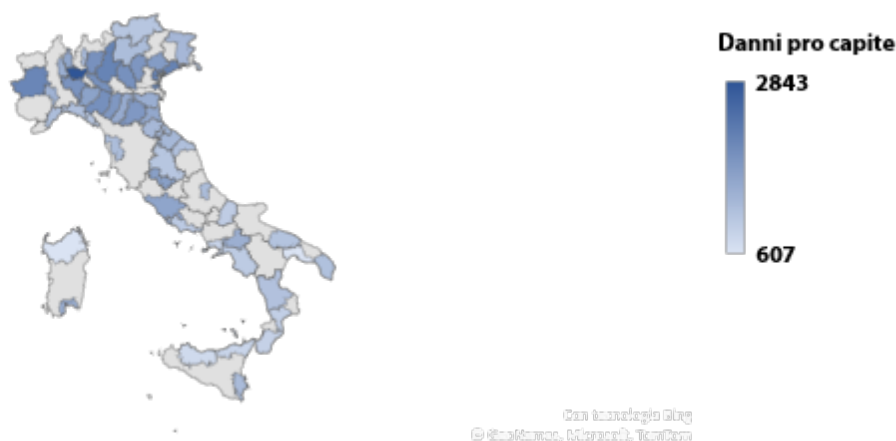


La città con il maggior danno totale a causa dell’inquinamento atmosferico risulta essere Roma (fig.1.1); con un valore monetario di circa 4 miliardi di euro. Segue Milano con una stima di 3 miliardi ed 800 milioni di euro annui. Si denota che la maggior parte delle città più inquinate si localizzi nel Nord Italia, in particolare la regione Lombardia contribuisce in modo significativo alla stima dei danni totali. Ciò è dovuto al fatto che la regione del Nord Italia è il cuore pulsante dell’attività industriale italiana ed è la regione nel quale circola il maggior numero di veicoli (ACI, 2019). Il Sud Italia al contrario influisce in modo minore nei costi totali annui determinati dall’inquinamento atmosferico, tranne per Napoli e Palermo, le quali risultano essere tra le 10 città con i maggiori costi annuali: la prima con un valore monetario di 812 milioni di euro annui mentre la seconda con circa 500 milioni di euro annui. Il Sud risulta avere dei costi minori dato che risulta essere colpita da un ritardo nello

sviluppo del settore industriale e un minor utilizzo di tutte le tipologie di veicoli rispetto al Nord e al Centro (ACI, 2019).

Andando a considerare i danni a livello pro capite a causa dell'inquinamento atmosferico si accentuano ancora di più le differenze tra il Nord ed il Sud Italia. Tutte le città italiane maggiormente inquinate si trovano al Nord, in particolare nelle regioni Veneto e Lombardia. Milano si valuta avere un danno pro capite annuale a causa dell'inquinamento atmosferico di 2.843 euro come evidenziato dalla forte colorazione blu nella figura 1.2.

**Fig 1.2 – Danni pro capite inquinamento atmosferico nel 2018 in Italia in milioni di euro.**



Segue Venezia con una stima di 2.106 euro annui per individuo. Molte altre città dell'Emilia Romagna e della Lombardia hanno danni pro-capite oltre i 2.000 euro.

Questi risultati sono dovuti alla conformazione geografica del territorio, principalmente pianeggiante, il quale combinato con l'enorme sviluppo dei settori altamente inquinanti comporta dei livelli di esposizione agli agenti atmosferici come le polveri sottili molto elevati. Roma, la quale risultava essere la città con il valore più elevato di danni totali annui causa inquinamento atmosferico, a livello individuale ha un costo annuale di 1.589 euro, stima dovuta per il fatto che la popolazione è molto numerosa, più del doppio rispetto a Milano. Il Sud Italia ha valori molto inferiori rispetto alle altre zone d'Italia. Le due principali città Palermo e Napoli, che nel grafico precedente risultavano essere tra le città con i costi totali annuali più elevati d'Italia, a livello individuale presentano dei danni annuali notevolmente inferiori rispettivamente di 748 euro e 844 euro. Ciò è dovuto alla combinazione di un'elevata densità abitativa, per Napoli risulta essere di 2586 abitanti/km<sup>2</sup> (ISTAT, 2019), la più alta in Italia, e un minor sviluppo delle attività maggiormente inquinanti come quella industriale e dei trasporti (ACI, 2019).

A livello aggregato le 56 città analizzate nello studio producono un costo totale annuo di circa 21 miliardi di euro annui. Il calcolo potrebbe essere ampliato anche alle altre città italiane, andando ad aumentare i costi annuali dovuti all'inquinamento atmosferico. Per fare ciò una possibile metodologia di analisi può essere quella di moltiplicare i danni medi per abitante italiano, per il numero di abitanti di ciascuna città, un'assunzione troppo forte dal momento che l'Italia risulta essere un paese eterogeneo da un punto di vista spaziale.

## 2. Cambiamento climatico nel settore dei trasporti

### 2.1 Introduzione

L'emissione di gas ad effetto serra nell'atmosfera comporta il riscaldamento globale e i cambiamenti climatici. L'IPCC (2013) ha stimato un aumento di 1,5 gradi della temperatura rispetto al livello pre-industriale entro il 2030 nel caso in cui non ci fosse stato alcun intervento di mitigazione rilevante, stime che nel corso degli anni

sono state riviste con dei risultati ancora più catastrofici rispetto ai precedenti. Gli studiosi ipotizzano a causa dei cambiamenti climatici i seguenti effetti:

Innalzamento del livello del mare (a causa dello scioglimento dei ghiacciai): comporterà un'impossibilità di utilizzo di determinate parti della terra per vivere e per l'agricoltura.

Carestie: l'innalzamento delle temperature e le precipitazioni estreme provocheranno una riduzione di determinate tipologie di raccolti in alcune aree del mondo causando rilevanti problemi socio-economici e sviluppando il fenomeno della "migrazione" per talune popolazioni.

Problemi di salute: lo stress termico comporterà un aumento dei ricoveri ospedalieri e della mortalità. Nel corso degli anni i cambiamenti climatici possono provocare lo sviluppo di un certo numero di malattie trasportate da insetti o parassiti. Oltre a ciò l'aumento del numero di fenomeni metereologici avversi come ad esempio uragani può determinare un aumento della probabilità di decessi in questi eventi.

Danni ad edifici ed opere d'arte: L'intensificarsi del numero di eventi estremi possono causare danni parziali o permanenti nei confronti di edifici, costruzioni ed opere d'arte.

Problemi nella gestione dell'acqua: Alcuni territori potrebbero soffrire di scarsità idrica a causa della salinizzazione degli ecosistemi; mentre altre aree potrebbero trovarsi a gestire dosi ingenti di acqua senza le necessarie infrastrutture.

Impatti sugli ecosistemi e la biodiversità: I cambiamenti climatici possono influire in modo significativo sulla flora e la fauna, le cui specie sono in grado di adattarsi ai cambiamenti solo in modo limitato; ciò ha come conseguenza la migrazione e nel caso estremo l'estinzione di alcune specie.

Qualora le stime pessimistiche degli esperti avessero un forte grado di incertezza e gli effetti catastrofici non si verificassero è innegabile osservare che la mobilità urbana sta comportando enormi problemi all'ecosistema e agli esseri umani. Ad esempio la dislocazione dei luoghi di lavoro da quelli di residenza, la conciliazione dei tempi di svago e di lavoro e i sistemi di trasporto pubblico difficilmente coordinati con i ritmi di lavoro privati rendono l'utilizzo dell'auto una prerogativa allo sviluppo.

Il settore dei trasporti consuma un terzo di tutta l'energia finale dell'Unione Europea, la quale proviene principalmente dal petrolio. Oltre un quarto delle emissioni di gas ad effetto serra nell'UE sono causate dai mezzi di trasporto. In particolare i trasporti su strada producono il 70% delle emissioni di gas ad effetto serra generate dai trasporti. (EEA, 2020). Queste emissioni assieme alla dipendenza dal petrolio fanno sì che la qualità della vita umana, la salute degli ecosistemi e il clima ne risentano pesantemente.

## 2.2 Metodologia

Per il calcolo del costo totale annuo relativo alle emissioni di gas climalteranti è stato utilizzato il parco circolante di autovetture dell'anno 2019 diviso per provincia italiana e per tipologia di alimentazione (ACI, 2020).

I kg annui di CO<sub>2</sub> emessi in atmosfera sono ottenuti tramite la moltiplicazione tra il numero di autovetture per ciascuna tipologia di alimentazione per città italiana e le relative stime di emissioni per veicolo riportate nella tabella 3.1:

$$CO_2 \text{ emessa annualmente (kg)} = \sum_{i,c} n \text{ auto}_{a,c} \times \text{valore alimentazione}_{a,c} \quad (2)$$

dove  $a$  è la tipologia di alimentazione del veicolo;

$c$  rappresenta la città italiana;

$\text{valore alimentazione}$  rappresenta la stima delle emissioni annue di CO<sub>2</sub> per veicolo.

Il costo totale annuo derivante dalle emissioni da CO<sub>2</sub> è ottenuto tramite la monetizzazione della CO<sub>2</sub> emessa annualmente, ossia tramite la moltiplicazione tra la stima precedentemente calcolata e il valore centrale per il breve-medio termine del costo di evitamento della CO<sub>2</sub> adeguatamente convertito in €/kg di CO<sub>2</sub> equivalente:

$$\text{Costi annuali} = \sum_c CO_2 \text{ emessa annualmente}_c \text{ (kg)} \times 0,1 \left( \frac{\text{€}}{\text{kg}} \text{ di } CO_2 \text{ eq.} \right) \quad (3)$$

dove  $c$  rappresenta la città italiana;

0,1 è il valore centrale del costo di evitamento della CO2 in €/kg di CO2 equivalente.

Per la valutazione dell'emissione annue di gas climalteranti si è andati oltre l'idea di valutare le emissioni allo scarico del veicolo, dal serbatoio alla ruota (TTW - Tank to Wheel)<sup>2</sup>. Esso è il criterio utilizzato come riferimento per l'analisi dei limiti emissivi per l'Unione Europea ed è il principio guida per quanto riguarda l'introduzione di schemi di incentivazione per l'acquisto di veicoli meno inquinanti.

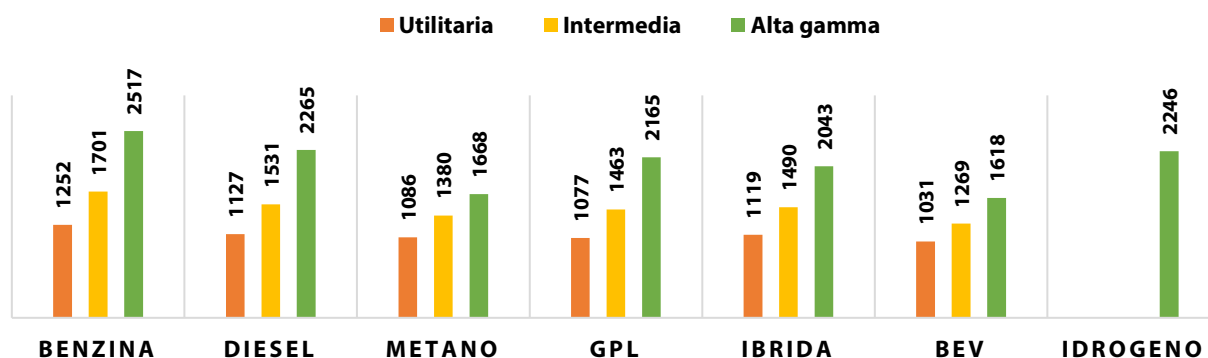
Il presente studio utilizza come strumento di misurazione per il calcolo delle emissioni di CO2 annue la Life Cycle Assessment (LCA).

I valori sono comprensivi della fase d'uso e di produzione del veicolo. Per le valutazioni emissive riguardanti la fase d'uso è stato utilizzato il mix Energetico del 2019. I dati sono stati presi in letteratura dallo studio della Fondazione Caracciolo nell'anno 2021 in collaborazione con l'ACI. La Fondazione Caracciolo ha una mancanza di dati per quanto riguarda alcune tipologie di alimentazione come il diesel ed il gpl. Per quanto riguarda il diesel lo studio TuttoGreen per l'anno 2016 ha stimato un impatto minore tra il 10%-15% rispetto ai veicoli alimentati a benzina per le emissioni di CO2. Le auto a gpl risultano più ecologiche nell'emissione di anidride carbonica, con riduzioni di circa il 14% rispetto ai veicoli a benzina secondo i dati Ispra per l'anno 2019. I valori delle auto ibride e quelli del plug-in hybrid (PHEV) sono stati riuniti in un'unica misura tramite la media semplice dei due fattori.

### Box 3: Life Cycle Assessment (LCA) nel settore dei trasporti

**La metodologia considera come determinante dell'inquinamento l'intero ciclo di vita del veicolo dalla "culla" alla "tomba", comprensivo della produzione del veicolo, produzione e distribuzione del vettore energetico e uso del veicolo; diviene di rilevante importanza per il settore dei trasporti il mix energetico con il quale viene prodotta l'energia elettrica, al fine della valutazione dei benefici ambientali derivanti dall'introduzione di modalità di trasporto meno inquinanti come l'elettrico e l'idrogeno.**

Fig 2.1 – Emissioni annue di CO2 per singolo veicolo per tipologia di alimentazione.



Come si può notare dal grafico 2.1 le auto alimentate a benzina e a diesel risultano essere quelle che emettono in termini assoluti il maggior numero di CO2. Non risulta esserci però una notevole differenza rispetto alle emissioni riguardanti le autovetture ibride, i cui valori sono in linea con i veicoli alimentati a gas, in particolare metano e gpl. Una riduzione significativa delle emissioni di gas climalteranti annue per veicolo si ha invece per quanto riguarda le auto completamente elettriche (BEV). Le auto ad idrogeno, nella fase d'uso e produzione nel veicolo, hanno ancora un elevato gap nei confronti delle altre tipologie di alimentazione maggiormente green, ma con margini di miglioramento elevati grazie ad un'ottimizzazione delle tecnologie impiegate che ci si immagina avverrà nel futuro.

<sup>2</sup> Fondazione Caracciolo (2021). Per una transizione ecorazionale della mobilità automobilistica italiana.

Nel calcolo finale dei costi annui derivanti da gas climalteranti sono stati considerati solo i valori relativi alla classe intermedia, mentre non sono stati considerati i veicoli alimentati ad idrogeno dato il loro scarso sviluppo al livello attuale in Italia.

La stima dei costi della CO<sub>2</sub> è estrapolata dall'Handbook on the External Costs of Transport della Commissione Europea (EC,2019), il quale si basa sulla media dei valori dati negli anni in letteratura.<sup>3</sup> Il valore utilizzato nello studio è 100 €/tCO<sub>2</sub> eq., ossia la stima centrale riportata dalla Commissione Europea per il breve- medio termine; i risultati saranno molto influenzati dalla scelta di questo valore (vedi appendice 2).

## 2.3 Risultati

La figura 2.2 riporta i costi a causa delle emissioni di CO<sub>2</sub> a cui ogni città contribuisce annualmente.

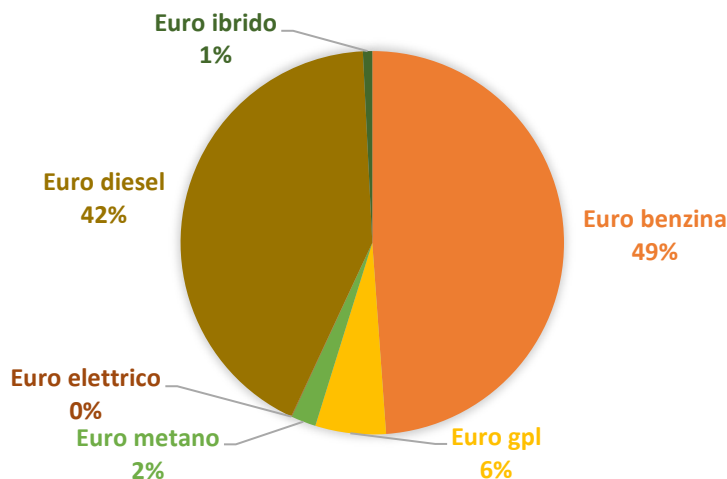
**Fig 2.2 – Costi annui da CO<sub>2</sub> causati dal trasporto in Italia in milioni di euro.**



La città con il valore più elevato è Roma, la cui stima si aggira intorno ai 440 milioni di euro di costi annui a causa delle emissioni di CO<sub>2</sub> da trasporti. Segue Milano con 296 milioni di euro di costi annui. I due dati evidenziano il fatto che l'utilizzo di un maggior numero di veicoli ecologici implica un'enorme riduzione dei costi derivanti da emissioni di gas climalteranti. (Osservatorio della Sharing Mobility, 2021). Se confrontiamo la città di Milano e di Napoli il dato è ancora più evidente dato che l'utilizzo di un maggior numero di veicoli nella prima città non implica una maggior quantità di costi da CO<sub>2</sub>. A livello italiano il costo totale annuo per danni causati da CO<sub>2</sub> risulta essere di circa 6 miliardi e 300 milioni di euro. Il valore ottenuto nello studio è stato messo a confronto con la stima fatta dalla Commissione Europa nell'Handbook of external costs of transport del 2019, la stima della Commissione Europea è superiore e si attesta intorno ai 7 miliardi e 500 milioni euro. In realtà i due risultati sono in linea dato che la Commissione Europea considera le emissioni inquinanti relative a tutti i gas climalteranti (GHGs), mentre lo studio presente si limita alla valorizzazione delle sole emissioni da CO<sub>2</sub>. Questa scelta è stata fatta dal momento che un'analisi dell'ISPRA (2019) ha evidenziato che più dell'80% delle emissioni di gas ad effetto serra sono dovute all'emissione di anidride carbonica in Italia.

<sup>3</sup> (DECC, 2009), (DECC, 2015), (CPB; PBL, 2016), (IEA, 2008) & (IEA, 2010), (IEA, 2017b) & (IEA, 2017a) (Riahi e al., 2015), (Edenhofer e al., 2010), (Kitous e al., 2010), (Magné, e al., 2010), (Leimbach e al., 2010), (Barker e Scricciu, 2010), (D.P e al., 2010).

Fig 2.3 – Costo annuale per danni da CO2 in Italia per tipologia di alimentazione in %.



La quasi totalità dell'incidenza è data dalle autovetture alimentate a benzina e diesel, con il 91%. Ciò è dovuto al fatto che in Italia il numero di auto in circolazione meno inquinanti non è ancora adeguato. (Motus-E, 2022). Segue per incidenza l'alimentazione a gas (metano e gpl) ricoprendo l'8% dei costi annuali derivanti dall'emissione in atmosfera di gas climalteranti. I veicoli ibridi hanno un'influenza dell'1% sui costi annuali totali, mentre le auto elettriche pesano meno dell'1% sui costi annuali derivanti dalla CO2 in Italia.

### 3. Sviluppo della Mobilità Sostenibile in Italia: analisi econometrica

#### 3.1 Introduzione

Il calcolo delle esternalità nel settore dei trasporti italiano, stimato in modo dettagliato nei capitoli precedenti, ha permesso di comprendere i danni prodotti dai trasporti sia a livello locale che globale e apprezzare così i principali vantaggi derivanti dallo sviluppo di una mobilità sostenibile.

In particolare a livello urbano la mobilità sostenibile potrebbe portare numerosi vantaggi ma richiede anche una serie di considerazioni e investimenti.

Il seguente capitolo analizza i fattori che possono favorire una mobilità sostenibile a livello regionale tramite l'implementazione di un modello econometrico che permette di determinare quali fattori possono consentire l'ampliamento del numero di veicoli elettrici così come auspicato dalle politiche europee.

#### 3.2 Dati e Metodologia

Il focus principale dell'analisi è comprendere le dinamiche che portano all'incremento del numero di veicoli ad alimentazione elettrica ed ibrida. Per condurre questa analisi sono state raccolte numerose variabili a livello regionale. La dimensione del parco circolante elettrico risulta essere la variabile dipendente del modello ovvero la variabile che vogliamo poter predire all'osservare di altri fattori ad essa correlabili. L'ottica di analisi è di natura spaziale-geografica; sono individuate le principali caratteristiche delle regioni italiane e su queste basi viene studiato in che modo si evolve l'offerta/domanda di veicoli elettrici.

#### Box 4: Dati panel

L'utilizzo dei dati panel ha il vantaggio di aumentare la variabilità e consente uno studio più profondo rispetto alle sole serie temporali o alla sola analisi dei dati trasversali. Questo metodo è stato recentemente utilizzato in larga misura per analizzare la crescita di lungo periodo nelle nazioni. In questo studio i dati sono raccolti per anno e per regione italiana come nel seguente modello:

$$y_{it} = \alpha + \beta X_{it} + \varepsilon_{it}$$

Il termine  $y$  rappresenta la variabile dipendente,  $X$  sono l'insieme delle variabili indipendenti,  $\alpha$  e  $\beta$  sono i coefficienti ed  $\varepsilon$  è il termine di errore, mentre  $i$  e  $t$  sono rispettivamente gli indici per la regione e per il periodo di tempo. Il termine di errore diviene essenziale perché le ipotesi sull'errore sono essenziali per comprendere se il risultato dell'analisi sia ad effetti fissi o ad effetti casuali. In un modello ad effetti casuali l'errore è stocasticamente diverso per  $i$  e per  $t$ , mentre si assume che in un modello ad effetti fissi l'errore sia diverso non stocasticamente per  $i$  e per  $t$ . Per comprendere quale è il metodo migliore in questo studio è stato utilizzato il test di Hausman.

#### Box 5: Modello di regressione lineare multipla

Il modello permette di stimare l'effetto su  $Y_i$  di una variazione in un regressore  $X_{1i}$ , mantenendo costanti gli altri regressori  $X_{2i}$ ,  $X_{3i}$ .<sup>1</sup> La relazione tra le variabili indipendenti e la variabile dipendente è incorporata nella seguente equazione:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_k X_{ki} + \mu_i, i = 1, \dots, n$$

Dove  $Y_i$  è la  $i$ -esima osservazione della variabile dipendente, mentre  $X_{1i}$ ,  $X_{2i}, \dots, X_{ki}$  sono le  $i$ -esime osservazioni dei  $k$  regressori e  $\mu_i$  è l'errore.

L'errore è la deviazione di una particolare osservazione dalla relazione che esprime la media della popolazione.<sup>1</sup> Essa si ottiene dalla relazione tra la variabile dipendente e quelle indipendenti e viene definita come la retta di regressione della popolazione o funzione di regressione della popolazione:

$$E(Y|X_{1i} = x_1, X_{2i} = x_2, \dots, X_{ki} = x_k) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k$$

Dove  $E(Y|X_{1i} = x_1, X_{2i} = x_2, \dots, X_{ki} = x_k)$  è la media di  $Y_i$  condizionata ai regressori;

$\beta_0$  è l'intercetta, ossia il valore atteso della variabile dipendente nel caso in cui gli altri regressori siano uguali a 0;  $\beta_1, \beta_2, \beta_k$  sono i coefficienti associati rispettivamente ad  $X_1, X_2, X_k$ . Il coefficiente  $\beta_1$  rappresenta la variazione attesa di  $Y_i$  che risulta dalla variazione unitaria in  $X_1$  mantenendo costanti gli altri regressori. I coefficienti delle altre  $X$  sono interpretati in modo simile.

Questa equazione è raffigurata tramite un modello lineare, nel quale i coefficienti sono stimati tramite lo stimatore dei minimi quadrati (OLS). Il modello si basa sull'identificazione dei fattori che siano in grado di guidare uno switch da una mobilità altamente inquinante ad una maggiormente sostenibile. Le variabili con segno positivo sostengono lo sviluppo dei veicoli elettrici, mentre quelle di segno negativo scoraggiano l'utilizzo e la vendita.

Il modello econometrico è stato applicato ad un dataset di elaborazione propria. L'analisi statistica utilizza dati delle venti regioni italiane per un periodo di tempo di tre anni dal 2018 al 2020.

Il modello di regressione assume la seguente forma:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 \text{Colonnine}_{it} + \beta_2 \text{Densità} + \beta_3 \text{Bollo} + \beta_4 \text{Spazi est}_{it} + \beta_5 \text{Incentivi}_{it} + \mu_{it} \quad (5)$$

dove  $i$  si riferisce alla  $i$ -esima regione, mentre  $t$  al  $t$ -esimo periodo di tempo;



la variabile dipendente, il numero di autoveicoli elettrici ed ibridi, è estrapolato dai dati messi a disposizione dall'ACI (2021) per gli anni 2018-2020;

*Colonnine* rappresenta il numero di punti di ricarica pubblici ottenuti dai dati E-Motus (2021) per gli anni 2018-2020;

*Densità* è il rapporto tra la dimensione della popolazione e la superficie regionale rilevata dai dati Istat (2021) per gli anni 2018-2020, essa viene rappresentata come una dummy con valore 1 nel caso in cui la densità sia maggiore del valore mediano 160 persone/km<sup>2</sup> altrimenti 0;

*Bollo* rappresenta gli anni di esenzione dal bollo distinta per numero di anni per le auto elettriche. Per le auto elettriche esiste una normativa nazionale, la quale può essere integrata da una normativa a livello regionale. I dati sono ottenuti dall'ACI (2021), da Quixa (2021) e dalla normativa italiana per gli anni 2018-2020. La variabile è rappresentata da una dummy che assume valore 1 nel caso in cui gli anni di esenzione siano maggiori di 5, il valore imposto dalla normativa italiana, altrimenti 0;

*Spazi est.* Rappresenta il numero di famiglie in migliaia che dispone di una terrazza, un giardino o un garage, dato estrapolato dall'Istat (2021), nella sezione sulla Famiglia per quanto riguarda gli aspetti della vita quotidiana, per gli anni 2018-2020, il quale indica la possibilità di realizzazione di punti di ricarica privati nella propria abitazione;

*Incentivi* indica la quantità monetaria di incentivi predisposti a livello nazionale e regionale per l'acquisto di un'auto elettrica o ibrida. La legge di Bilancio per l'anno 2019 sancisce 6.000 euro di incentivo per un'auto elettrica purché venga consegnata per la rottamazione un veicolo della medesima categoria omologato alla classe Euro 1,2,3 e 4 oppure 4.000 euro senza la rottamazione di un veicolo; il decreto Agosto 2020 dispone l'incremento del fondo per l'acquisto di veicoli a basse emissioni di anidride carbonica introducendo nuovi incentivi all'acquisto di auto elettriche nella misura di 10.000 euro con rottamazione e di 6.000 euro senza rottamazione. Ad integrazione di questi valori vengono stanziati dei fondi regionali, per cui i dati sono ottenuti da Autoscout24 (2021). La variabile è una dummy che assume valore 1 nel caso in cui l'importo monetario è superiore al valore imposto dalla normativa nazionale, altrimenti 0.

Nella tabella 3.1 sono riassunte tutte le variabili del modello.

**Tab 3.1 – Descrizione e fonti delle variabili del modello.**

Variabile	Tipologia	Descrizione	Fonte
Eleibrido	Continua	Parco circolante elettrico ed ibrido	Aci
Colonnine	Continua	N. di infrastrutture di ricarica	E-Motus
Densità	Dummy	Popolazione / Superficie	Istat
Bollo	Dummy	N. anni di esenzione dal bollo	Aci; Quixa
Spazi est.	Continua	N. migliaia di famiglie con garage; giardini	Istat
Incentivi	Dummy	Incentivi monetari all'acquisto	Legge di bilancio 2019; Autoscout24

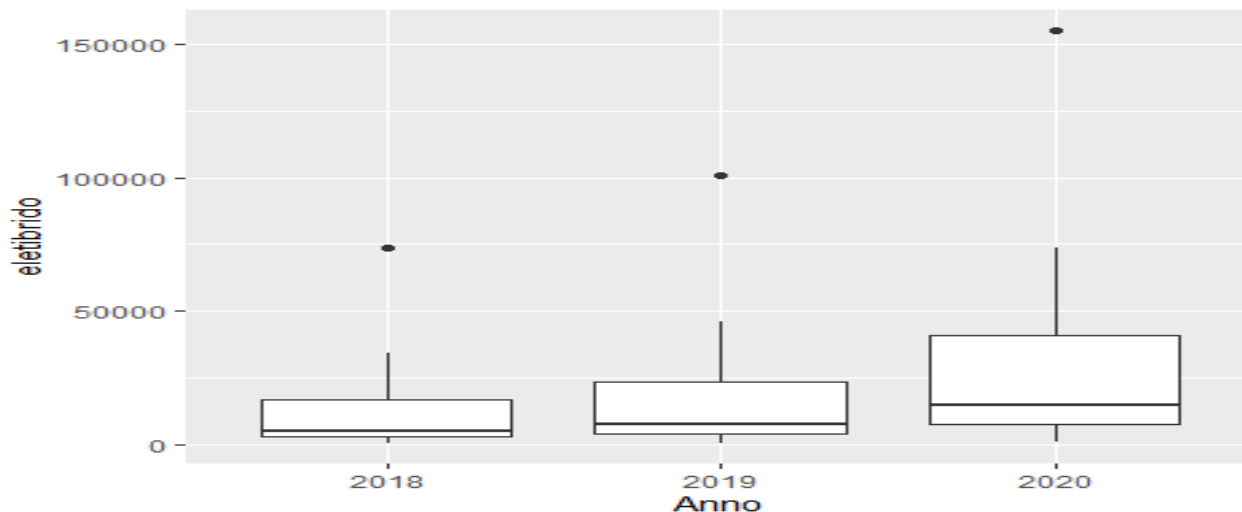
### 3.3 Risultati

#### 3.3.1 Analisi descrittiva

La base dei dati si riferisce alle osservazioni riguardanti le venti regioni italiane per il periodo 2018 al 2020. E' stato scelto questo lasso di tempo dal momento che una diffusione più accentuata delle auto elettriche in Italia

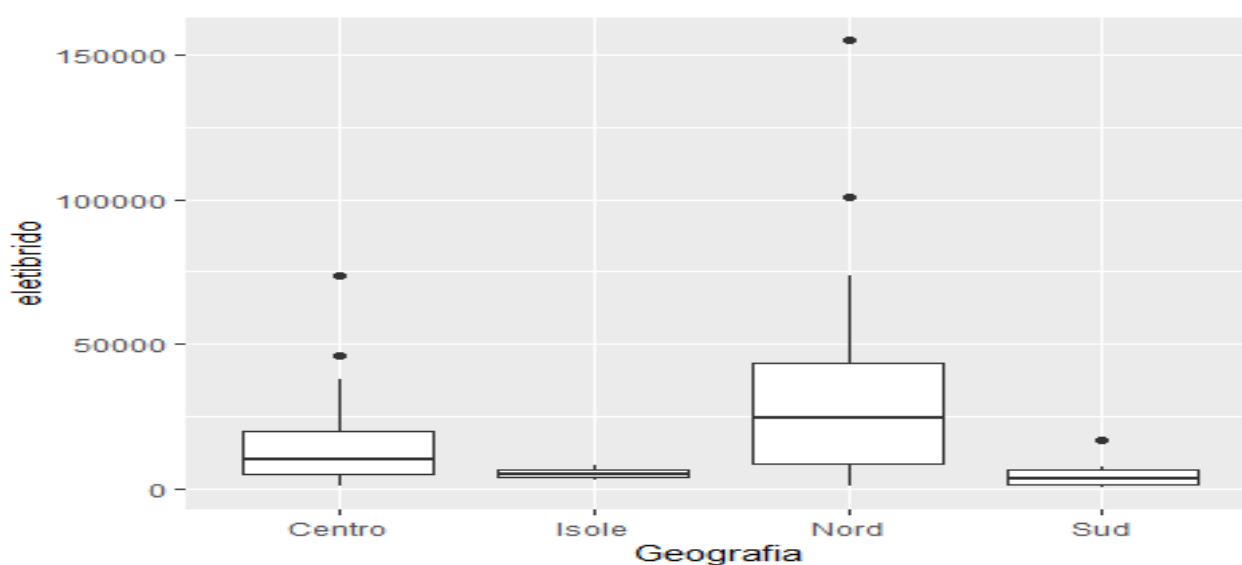
è avvenuto solo dalla seconda metà degli anni 2010-2020 (ACI, 2021), mentre la disponibilità di dati riguardanti i servizi complementari, come ad esempio le infrastrutture di ricarica, è ancora più recente dall'anno 2018, il primo periodo della presente analisi. Lo studio utilizza come variabile dipendente la somma delle auto elettriche e quelle ibride.

**Fig 3.1 – Numero delle auto circolanti ad alimentazione elettrica distinte per anno.**



Dal confronto tra i box plot si evince come ci sia stato un aumento nel corso degli anni della mobilità elettrica in Italia, in particolare nel 2020, facendo ipotizzare un trend di aumento costante in futuro. La mediana (la linea orizzontale più spessa del grafico) risulta essere nel 2018 di 4.858 auto elettriche per regione, un incremento si ha nel 2019 con un valore di 7.254, nell'anno 2020 raddoppia raggiungendo i 14.681. Le misure di tendenza centrali differiscono in modo evidente tra di loro; nell'anno 2020 la media risulta essere di 29.790 auto elettriche. La media e la mediana differiscono molto tra di loro a causa di un outlier (il punto nero nel grafico), che rappresenta la regione Lombardia che dispone per quell'anno di un parco circolante di 155.299 auto elettriche, il doppio rispetto a quelle della regione Lazio seconda in questa graduatoria.

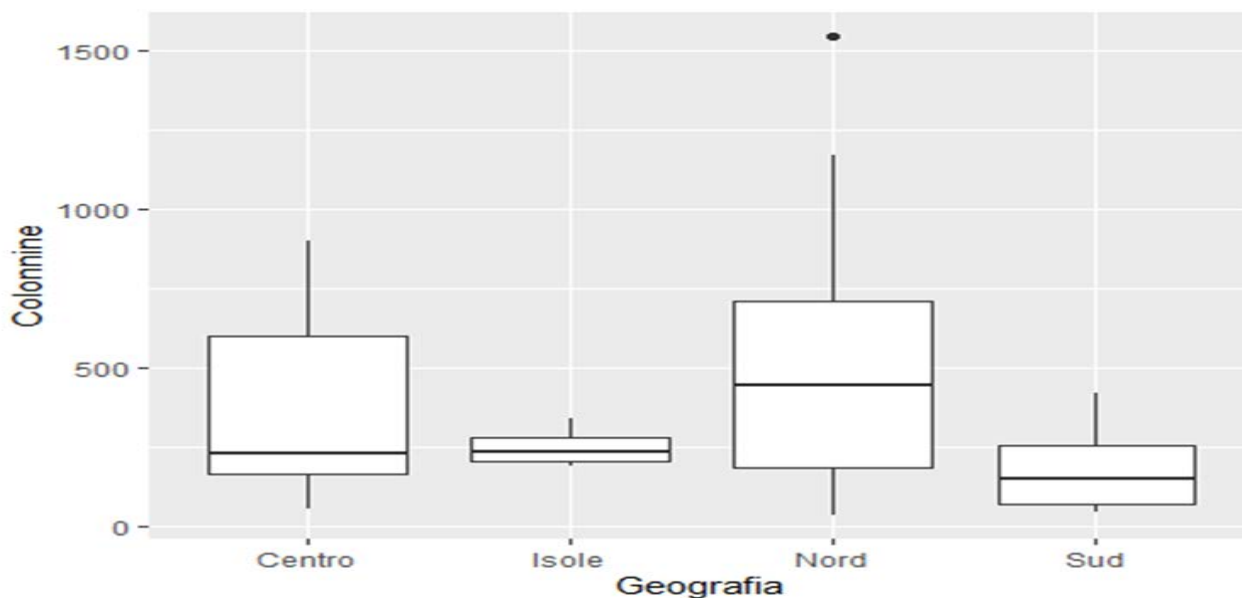
**Fig 3.2 – Numero delle auto circolanti ad alimentazione elettrica distinte per territorio.**



A livello territoriale risultano esserci delle enormi differenze tra Nord e Sud Italia. Si assiste ad uno sviluppo della mobilità elettrica disomogeneo lungo la penisola italiana. Dalla figura 3.2 si nota come nel Nord Italia ci sia un maggior numero di auto elettriche/ibride circolanti rispetto alle altre parti d'Italia, principalmente per l'enorme

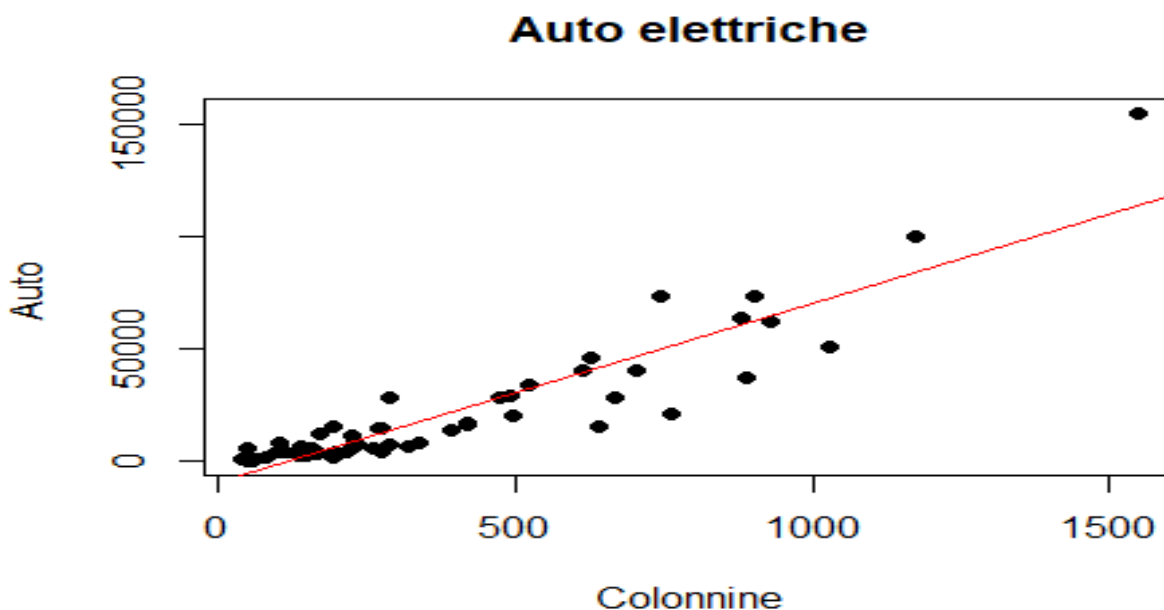
numero in regioni come la Lombardia, il Veneto e l'Emilia-Romagna. Il Trentino Alto-Adige, regione di modeste dimensioni e numero di abitanti, risulta avere il doppio delle auto ad alimentazione elettrica (28435 nel 2020) rispetto alla Campania (14.649 nel 2020). Il Centro Italia si pone in una posizione intermedia tra il Nord ed il Sud grazie all'enorme sviluppo della mobilità elettrica nelle regioni Lazio e Toscana, regioni particolarmente attente alle tematiche riguardanti la mobilità sostenibile.

**Fig 3.3 – Infrastrutture di ricarica in Italia distinte per territorio.**



La disuguaglianza territoriale di sviluppo della mobilità sostenibile è dovuto principalmente ad un diverso sviluppo all'interno del territorio di beni complementari fondamentali come le infrastrutture di ricarica. Dal box plot (fig 3.3) si nota come il Nord-Italia abbia uno sviluppo delle infrastrutture di ricarica molto maggiore rispetto al resto d'Italia e ciò comporta di conseguenza un elevato numero di auto elettriche/ibride. La variabile esplicativa *Colonnine* ha, come si vede dalla Figura 3.4, una forte correlazione positiva (0,92) e di tipo lineare con la variabile dipendente auto elettriche/ibride come si evince dal grafico sottostante:

**Fig 3.4 – Grafico a dispersione tra auto elettriche/ibride e colonnine di ricarica.**



### 3.3.2 Analisi econometrica

I risultati dell'analisi empirica sono riportanti in Tabella 3.2 dove tre tipi di modelli sono riportati nelle colonne 2-4.

**Tabella 3.2 - Stima dei modelli con dati panel.**

Variabili	Pooled OLS	Effetti fissi	Effetti casuali
Intercetta	-27398,59 *** ( 3838,94)	-	-27115,82*** (3587,53)
Colonnine	58,89*** ( 6,17)	50,48*** (6,50)	55,54*** (5,47)
Densità dummy	16789,11*** (3628,67)	17626,36*** (3282,86)	17173,63*** (3144,87)
Spazi esterni	13,74*** ( 2,48)	15,70*** (2,34)	14,34*** (2.16)
Bollo dummy	3180,70 ( 2976,55)	8700,53* (3381,32)	5766,48* (2839,71)
Incentivi dummy	1183,67 (2723,50)	-2019,20 (6743,73)	121,08 (3349,77)
R <sup>2</sup>	0,91	0,94	0,93
Adjusted R <sup>2</sup>	0,90	0,90	0,92
	nota *** p<0,05; ** p<0,1; *p<0,15		

I valori ottenuti dal modello Pooled OLS, ovvero regressione multipla aggregata, sono in linea con quelli degli altri due modelli (effetti fissi ed effetti casuali); si nota solo una differenza riguardante la variabile bollo dummy, la quale risulta essere non significativa a nessun livello di confidenza standard, mentre è significativa negli altri due modelli. Al fine di selezionare il modello piu' adeguato per le analisi di scenario si procede con un test di Hausman i cui risultati sono sintetizzati in tabella 3.3.

**Tab 3.3 – Test di Hausman.**

Hausman test
Test: H0 : Differenze nei coefficienti non sistematiche
chisq = 12,63
df = 5

La statistica chisq (12,634) è maggiore del valore critico della distribuzione Chi-quadro (con 5 gradi di liberta (df), con significatività' al 5%) = 11,07. Rifiutiamo l'ipotesi nulla concludiamo che il modello FE è quello da preferire nelle nostre successive analisi (vedi box 6).

**Box 6: Test di Hausman**

**Per la scelta del modello viene utilizzato un test specifico, quello di Hausman. Esso testa l'ipotesi nulla di ortogonalità, cioè di assenza di correlazione tra effetti individuali e variabili esplicative, sia lo stimatore ad effetti casuali (RE) sia quello ad effetti fissi (FE) sono consistenti, ma RE è anche efficiente, mentre FE no. Sotto l'ipotesi alternativa gli effetti individuali sono correlati con i regressori. In questo caso lo stimatore RE è inconsistente, mentre lo stimatore FE no. Sotto l'ipotesi nulla, le stime FE e RE non dovrebbero differire in maniera sistematica (solo gli errori standard dovrebbero essere diversi). Sotto l'ipotesi alternativa, gli stimatori FE e RE dovrebbero differire sistematicamente (Hausman, 1978).**

Le variabili esplicative del modello risultano essere tutte significative ad eccezione della variabile bollo che è solo significativa al 15% e incentivi che non è significativa a nessun livello. Le altre variabili sono tutte significative al 5% o un più basso livello di significatività.

Tutti i coefficienti dei parametri riportano i segni attesi. Come da previsione il coefficiente della variabile *Colonnine* è di segno positivo, ciò indica una correlazione positiva tra il numero delle autovetture elettriche e quello delle infrastrutture di ricarica pubblica. Un aumento di un'infrastruttura di ricarica pubblica implica in media un aumento di circa 50 veicoli elettrici, a parità di tutte le altre variabili del modello. Dal paragrafo precedente si nota come questa componente come bene complementare sia essenziale per lo sviluppo della mobilità sostenibile e sia quella sulla quale è più importante intervenire.

La stima del regressore *spazi esterni* è positiva, c'è una correlazione diretta tra il parco circolante elettrico e il numero di famiglie che dispongono di un garage o un giardino. Un aumento di un migliaio di famiglie con uno spazio esterno comporta un aumento di 15 auto elettriche/ibride mantenendo costanti gli altri regressori. Ciò è dovuto al fatto che un miglioramento degli spazi nelle abitazioni degli italiani determina una più facile predisposizione verso la realizzazione di infrastrutture di ricarica private. Malgrado questa variabile sia significativa risulta difficile immaginare una politica pubblica che possa intervenire a breve termine su questo fattore. Tuttavia è rilevante nel guidare le scelte di pianificazione urbana delle nuove abitazioni.

Il coefficiente della variabile esplicativa *bollo dummy* è di segno positivo, ciò comporta una correlazione positiva tra il numero di auto elettriche/ibride e gli anni di esenzione dal bollo. Una legge che imponga un'esenzione dal bollo superiore alla normativa nazionale di 5 anni determina un aumento in media di 87.00 auto elettriche/ibride rispetto all'attuale normativa in materia di esenzione dal bollo.

Da tutto questo si può evincere che la domanda di autovetture elettrica è influenzata fortemente dall'incremento di beni complementari come le infrastrutture di ricarica sia private che pubbliche. È interessante constatare come il parco circolante elettrico sia maggiormente influenzato da agevolazioni di natura non direttamente finanziarie come l'esenzione dal bollo piuttosto che da incentivi prettamente finanziari, almeno nel breve periodo e nel nostro caso studio. Questo è dovuto al fatto che la normativa risulta essere non chiara per quanto riguarda la durata futura dell'esborso di incentivi a favore delle autovetture elettriche/ibride, senza una continuità con la direzione intrapresa con la Legge di Bilancio del 2019. Un ulteriore fattore determinante seguendo questa linea di azione potrebbe essere lo sviluppo di agevolazioni non direttamente riguardanti l'esborso di denaro come l'accesso a ZTL o la sosta gratuita negli stalli blu, le quali non sono state considerate nel presente studio a causa delle scarse informazioni ottenibili per le regioni italiane nel periodo di tempo analizzato.

La bontà di adattamento del modello è misurata dall' $R^2$  e dall' $R^2$  corretto (vedi box 7). Nel modello di analisi l' $R^2$  è molto alto (0,94), indice di un alto potere predittivo, con una elevata capacità delle variabili esplicative di prevedere i valori della variabile dipendente.

#### **Box 7: R quadro**

**Esso misura la forza della relazione lineare tra le variabili indipendenti inserite nel modello di regressione e la variabile dipendenti; relazioni più forti<sup>1</sup> indicano una minore dispersione dei dati attorno alla retta di regressione. L' $R^2$  indica la proporzione di varianza campionaria di  $y$  (auto elettriche/ibride) spiegata (o predetta) dal modello di regressione; il suo valore è compreso tra 0 e 1:  $R^2 = 0$  indica un modello le cui variabili predittive non spiegano per nulla la variabilità della  $y$  intorno alla sua media. Se invece delle variabili indipendenti inserite nel modello si utilizzasse solo la media della  $y$  si otterrebbe in pratica lo stesso valore esplicativo. Questa situazione si verifica quando gli  $y$  stimati dal modello coincidono esattamente con la media di  $y$ ; mentre al contrario un  $R^2$  pari a 1 indica un modello le cui variabili indipendenti riescono a spiegare completamente la variabilità della  $y$  intorno alla sua media. Ovvero, conoscendo i valori delle variabili indipendenti si può predire esattamente quale sarà il valore della  $y$ . Questa situazione si verifica solo quando tutti i punti nel grafico a dispersione si collocano esattamente sulla retta di regressione.**

---

Malgrado il buon livello di adattamento dei dati al modello e il potere predittivo della regressione e; facile immaginare la presenza di variabili omesse. Ovvero, altre variabili che potrebbero influire sulla domanda di autovetture elettriche, le quali non sono state inserite all'interno del modello per mancanza di dati o per non conformità con le osservazioni. Tra queste variabili possiamo menzionare le agevolazioni relative alla polizza assicurativa in quanto recentemente diverse compagnie assicurative adottano tariffe inferiori per la polizza RC di auto elettriche, il rapporto costo al km tra auto elettriche e auto tradizionali e anche l'autonomia in termini di ore della batteria agli ioni in litio.

Per quanto riguarda la variabile relativa al reddito essa non può essere considerata in alcun modo dato che a causa del Covid-19 si altera la normale correlazione positiva esistente tra acquisto di autovetture più costose e reddito medio pro capite; il trend positivo del numero di autovetture elettriche/ibride è in controtendenza rispetto alla diminuzione del reddito medio pro capite (causata dalla Pandemia) nelle regioni italiane.

## 4. Scenario futuro

Nei capitoli precedenti sono stati ottenuti gli input necessari al fine della costruzione di un set di scenari che siano in grado di calcolare l'aumento del benessere sociale (in termini monetari) al modificarsi di alcune variabili che influenzano lo sviluppo della mobilità elettrica.

L'obiettivo di questa analisi non è quello di spiegare con completezza le determinanti che influiscono sulla mobilità elettrica; ma piuttosto di costruire un semplice modello in grado di prevedere quale percorsi di sostenibilità ci attendono se alcune politiche a favore delle auto elettriche sono supportate. Ovviamente questi risultati dovrebbe costituire la base di partenza per modelli più complessi di supporto alle politiche di sostenibilità e di transizione ecologica che dovrebbero basarsi sempre più dati aggiornati e arricchiti (es. autonomia batteria, costo prezzo energia).

### 4.1 Scenario Business as usual

Tab 4.1 - Benefici sociali scenario "business as usual".

Input	Fattore incremento input (%)	2020	2025	2030	2050
Infrastrutture ricarica	100%	10535	37465	9000	43000
anni bollo	-40%	5	-2	-1	0
Spazi esterni	50%	23266	11633	5817	2908
Densità	-2%	179	-2,69	-2,69	-2,69
Input 2					
Δ auto elettriche/ibride		0	1994652	502698	2295262
Tot auto elettriche/ibride			1994652	2497350	4792613
Output	Costi marginali (cent-€/vkm)	(mln €)			
C02 ridotta	1,58	0	378	95	435
Qualità aria migliorata	0,976	0	234	59	269
Totale		0	612	766	1470

La prima tipologia di scenario che viene analizzato è quello nel quale si ha una variazione degli input che segue i principali trend di sviluppo. Ovvero l'aumento delle infrastrutture di ricarica.

Secondo l'Energy Strategy Group del Politecnico di Milano (2021) nel suo report "Smart Mobility" il numero di infrastrutture di ricarica, nel caso in cui non ci siano ulteriori provvedimenti di policy, le quali si prevedono arrivare ad essere 48.000 nel 2025, 57.000 nel 2030; è stato assunto nel presente studio il raggiungimento per l'anno 2050 del valore soglia di 100.000 infrastrutture di ricarica sul suolo italiano.

Per quanto riguarda la densità l'Istat (2021) ha stimato una riduzione della popolazione consistente nel corso degli anni da 59,6 milioni dell'anno 2020 a 58 milioni nel 2030 fino a 54,5 milioni del 2050. Viene assunta una diminuzione costante intorno all'1,5% per ciascun periodo di analisi della densità di popolazione in Italia, il che determina una riduzione di circa 3 abitanti per km<sup>2</sup> in ciascun periodo temporale.

Gli anni di esenzione dal bollo a livello nazionale risultano essere di 5 anni, è stato assunto una riduzione del 40% del periodo di esenzione nel corso degli anni (valore fittizio di comodo), ipotizzato a seguito della sempre minor protezione della normativa in vigore, la quale rischia di non essere ulteriormente ampliata, determinando

per il primo periodo una riduzione media dell'esenzione di 2 anni, una diminuzione di un ulteriore anno nel 2030 e nessun decremento per il 2050.

Per quanto riguarda il numero di famiglie che dispongono di un giardino o di un garage è stato previsto un incremento del 50% per ogni periodo dovuto al fatto che questa variabile è proxy dell'incremento delle infrastrutture di ricarica private, le quali sono stimate essere in aumento dall'Energy Strategy Group del Politecnico di Milano (2021) nel report "Smart Mobility".

Questi valori comportano un cambiamento significativo nel parco circolante elettrico che nel periodo 2020-2025 si stima avere una variazione positiva di 2 milioni di autovetture elettriche, nei 5 anni successivi si prevede un incremento di 500 mila autovetture ad alimentazione elettrica, mentre nel lungo periodo si ipotizza un aumento di ulteriori 3 milioni e 300 mila autovetture elettriche per un totale di 6 milioni e mezzo di veicoli elettrici (circa il 20% del parco circolante totale attuale).

Come si nota dalla tabella 4.1 la variazione positiva del numero di veicolo elettrici comporta a livello monetario una riduzione dei costi esterni derivanti dalle principali esternalità. Nel periodo 2020-2025 è stimato un aumento del benessere sociale degli individui quantificato nella misura di 612 milioni di euro annui, un ulteriore incremento è previsto per il periodo 2020-2030 (766 milioni di euro annui), mentre nel periodo 2020-2050 si assiste ad una variazione positiva dei costi esterni di 1 miliardi e 500 milioni di euro annui.

## 4.2 Scenario positivo

Tab 4.2 - Benefici sociali scenario "positivo".

Input	Fattore incremento input (%)	2020	2025	2030	2050
Infrastrutture ricarica	200%	10535	85465	18000	86000
anni bollo	0%	5	0	0	0
Spazi esterni	100%	23266	23266	23266	23266
Densità	-1,35%	179	-2,4165	-2,4165	-2,4165
Input 2					
Δ auto elettriche/ibride		0	4602913	1229663	5463179
Tot auto elettriche/ibride			4602913	5832576	11295755
Output	Costi marginali	(mln €)			
C02 ridotta	1,58	0	873	233	1036
Qualità aria migliorata	0,976	0	539	144	640
Totale		0	1412	1789	3465

La seconda tipologia di scenario ha una visione più positiva rispetto all'analisi di trend svolta precedentemente. Si prevede un raddoppio del numero di infrastrutture di ricarica rispetto allo scenario business as usual; una riduzione del 10% della densità di abitanti; un mantenimento del numero di anni di esenzione dal pagamento del bollo per le autovetture elettriche e l'aumento del numero di famiglie con la disponibilità di un garage o di un giardino.

Questi valori comportano una mutazione nel parco circolante elettrico che nel periodo 2020-2025 si stima avere una variazione positiva di 4 milioni e 600 mila autovetture elettriche, nei 5 anni successivi si prevede un incremento di 1 milione e 200 mila autovetture ad alimentazione elettrica, mentre nel lungo periodo si ipotizza un aumento di ulteriori 5 milioni e 500 mila autovetture elettriche per un totale di circa 11 milioni di veicoli elettrici (circa il 30% del parco circolante totale attuale).

In questo scenario aumentano i benefici sociali rispetto allo scenario base con una riduzione dei costi esterni per il periodo 2020-2025 di 1 miliardo e 500 milioni annui; una diminuzione nei 5 anni successivi di 1789 milioni di euro annui e una diminuzione nel lungo periodo di 3 miliardi e 500 milioni di euro annui.



## 4.3 Scenario negativo

Tab 4.3 - Benefici sociali scenario "negativo".

Input	Fattore incremento input	2020	2025	2030	2050
Infrastrutture ricarica	50%	10535	13465	4500	21500
anni bollo	-100%	5	-5	0	0
Spazi esterni	25%	23266	5817	1454	364
Densità	-1,8%	168,00	-3,02	-3,02	-3,02
Input 2	Fattore di incremento auto	2020	2025	2030	2050
Δ auto elettriche			666846	192298	1024848
Tot. Variazione auto			666846	859144	1883992
Output	Costi marginali	2020	2025	2030	2050
CO2 ridotta	1,58	0	126	42	205
Qualità aria migliorata	0,976	0	78	30	131
Totale			204	276	612

L'ultimo scenario del presente studio restituisce una visione negativa rispetto all'analisi di base (Scenario Business as usual).

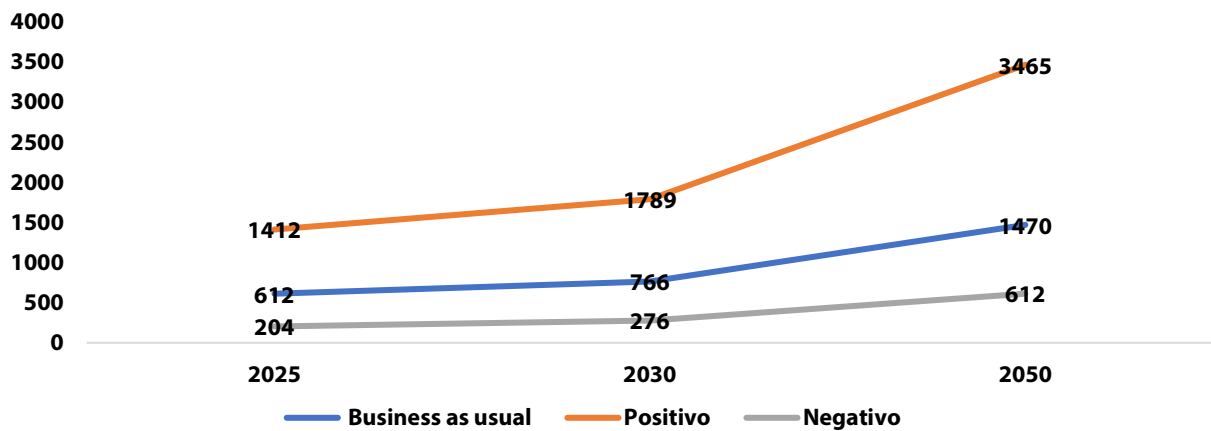
Si ipotizza un dimezzamento del numero di infrastrutture di ricarica rispetto allo scenario Business as usual; un aumento del 10% della riduzione della densità; una diminuzione del numero di anni di esenzione dal pagamento del bollo per le autovetture elettriche che conduca ad un annullamento dell'incentivo ed un calo del numero di famiglie con la disponibilità di un garage o di un giardino.

Questi valori comportano un cambiamento nel parco circolante elettrico che nel periodo 2020-2025 si calcola avere una variazione positiva di 600 mila autovetture elettriche, nei 5 anni successivi si prevede un incremento di 250 mila autovetture ad alimentazione elettrica, mentre nel lungo periodo si ipotizza un aumento di ulteriori 1 milione autovetture elettriche per un totale di circa 2 milioni di veicoli elettrici (circa il 6% del parco circolante totale attuale).

Dalla tabella 4.3 si evince come ci sia una forte diminuzione dei benefici sociali rispetto allo scenario base con una riduzione dei costi esterni per il periodo 2020-2025 di 205 milioni di euro annui; una diminuzione nei 5 anni successivi di 276 milioni di euro annui e una diminuzione nel lungo periodo di 612 milioni di euro annui.

## 4.4 Riepilogo

Fig 4.1 – Scenari sviluppo mobilità elettrica in Italia (valori in milioni di euro annui).



Per il periodo di tempo 2020-2025 si stima una riduzione dei costi annui determinati dalle esternalità negative di 204 milioni di euro nello scenario negativo, 612 milioni di euro annui nello scenario business as usual e di 1 miliardo e 412 milioni di euro annui nello scenario positivo. Nella fase di analisi 2020-2030 si ha una riduzione dei costi annui rispettivamente di 276 milioni di euro nello scenario negativo, 766 milioni di euro annui nello scenario business as usual e di 1 miliardo e 789 milioni di euro annui nello scenario positivo. Nel lungo periodo (2020-2050) si stima una riduzione dei costi annui causati dalle esternalità negative legate alla mobilità di 612 milioni nello scenario negativo, di 1 miliardo e 470 milioni di euro annui nello scenario business as usual e di 3 miliardi e 465 milioni di euro annui nello scenario positivo.

---

## Discussione e Conclusioni

Il presente studio ha analizzato i benefici derivanti da politiche di incentivazione di veicoli elettrici nel parco circolante italiano. Dai risultati si evince come il settore dei trasporti comporti dei costi esterni notevoli; l'inquinamento da gas ad effetto serra provoca 6 miliardi di euro di danni annui mentre quello atmosferico 20 miliardi di euro annui.

Assumendo che la riduzione di questi costi rappresenta un benessere sociale desiderabile in questo studio si considera le politiche pubbliche che potrebbero velocizzare l'introduzione di veicoli privati elettrici/ibridi. Tramite l'introduzione di scenari futuri di sviluppo si nota come con delle politiche mirate a promuovere semplicemente la sostituzione del parco macchine circolante si è in grado di abbattere i costi sociali derivanti principalmente dall'inquinamento atmosferico e dall'emissione di gas serra comportando dei benefici monetari quantificabili in miliardi di euro; questi risultati potrebbero migliorare con l'introduzione di politiche mirate alla riduzione del costo di congestione come lo smart working e di nuove variabili.

Per quanto riguarda lo scenario base (business as usual o trend) si ha una riduzione dei costi di 766 milioni annui nel medio termine fino a di 1 miliardo e 500 milioni annui nel lungo termine; mentre negli altri scenari si ha una riduzione dei costi che oscilla tra i 200 milioni (scenario negativo) e 1 miliardo e mezzo di euro annui (scenario positivo) nel medio termine e una diminuzione nel lungo termine che varia tra 612 milioni di euro annui (scenario negativo) e 3 miliardi e 500 milioni di euro annui (scenario positivo).

Per l'analisi di scenario si assume una mutazione consistente del parco circolante italiano, dallo 0,13% di auto elettriche e 1,57% di autovetture elettriche/ibride del 2020 verso il raggiungimento del 20% del totale nello scenario "business as usual" e di 11 milioni di autovetture elettriche (30%) nello scenario positivo.

In realtà questa nuova tipologia di mobilità potrebbe comportare ulteriori problemi ambientali e sociali, i quali sono nel lungo periodo in grado di controbilanciare gli effetti positivi sull'inquinamento delle autovetture elettriche nel breve periodo. In particolare, è utile riflettere sui minerali utilizzati per la produzione delle batterie agli ioni in litio i quali sono essi stessi combustibili fossili con effetti sociali e ambientali ancora non ben conosciuti (De Haan & Gonzalez, 2020, Global Witness 2020, Business and Human Rights 2020). La Banca Mondiale nel 2018 stima che la domanda di litio, cobalto e grafite aumenteranno del 500% entro il 2050 a causa della domanda di auto elettriche. I nuovi incentivi imposti nell'Europa Occidentale per l'acquisto di auto elettriche si scontrano con la forte pressione che stanno incontrando Stati come l'Argentina, Cile e Bolivia (leader nell'estrazione del litio) e Paesi come la Repubblica Democratica del Congo (produttrice di circa i due terzi di cobalto nel Mondo). In questi Paesi si stanno creando dei problemi di natura ambientale e nel campo dei diritti umani che rischiano di mettere in discussione la sostenibilità e l'equità della transizione della mobilità verso un'adozione di massa di autovetture elettriche (De Haan & Gonzalez, 2020).

Ulteriore riflessione sulla mobilità elettrica promossa in questo studio è la possibilità di generare problemi di equità. Attualmente il sistema dei trasporti privato contribuisce in modo significativo alla disuguaglianza economica e sociale (Bauer e Altri, 2021). I veicoli elettrici sono costituiti principalmente da una gamma di modelli di lusso, i quali nel breve-medio periodo aumenteranno la disuguaglianza all'interno delle popolazioni tra coloro che appartengono alle fasce di reddito più alte e coloro che appartengono a quelle più basse. Saranno necessari degli incentivi adeguati da parte dei decisori pubblici per risolvere questa problematica che potrebbe vanificare tutti i benefici sociali derivanti dalla diminuzione dei costi esterni associati all'inquinamento.

In conclusione il presente studio invoca cautela nei confronti di uno sviluppo di massa della mobilità elettrica. La teoria di base è di dover ripensare all'idea stessa del concetto di mobilità per giungere alla conclusione che forse la soluzione migliore è quella di optare per "meno auto inquinanti rispetto ad auto meno inquinanti" (Fondazione Caracciolo, 2021). Si necessita dunque dello sviluppo di forme di mobilità con minori impatti ambientali come quella elettrica, ma al tempo stesso è necessario trovare delle soluzioni in grado di ridurre la domanda di mobilità. Per fare ciò potrebbe essere essenziale migliorare il sistema dei trasporti pubblici, con la costituzione di una flotta di mezzi di trasporto con minori impatti ambientali oppure implementare maggiormente la tipologia di mobilità che si sta sviluppando in questo ultimo periodo, quella condivisa, la quale ridurrebbe nel tempo la costruzione di nuovi veicoli.

Per combattere i principali problemi ambientali del Pianeta ed evitare di aggiungerne altri di altra tipologia è necessario ripensare al sistema dei trasporti con un ritorno al passato, ma con la possibilità di mantenere la stessa tipologia di benessere aggregato, prima non garantito. Grazie alla tecnologia odierna si è ridotta la

---

distanza che unisce il luogo di lavoro e l'abitazione tramite l'utilizzo sempre più diffuso dello smart working, si può pensare ad un cambiamento radicale nello stile di vita degli individui il quale comporti un sempre minor utilizzo dell'auto privata a favore di mezzi di trasporto adatti a distanze ridotte e sostenibili come la bicicletta.

## Bibliografia

ACI Automobile Club D'Italia. (2019). Disponibile online: <https://www.aci.it/laci/studi-e-ricerche/dati-e-statistiche/open-data.html> (Accesso in 10/01/2022).

Australian Government: Department of the Prime Minister and Cabinet: Office of Best Practice Regulation. (2018). Best Practice Regulation Guidance Note Value of statistical life. <https://www.qtra.co.uk/cms/index.php?action=download&id=336&module=downloadmodule&src=%40random447ecfd107a5a>.

Banister D. (2008). The sustainable mobility paradigm. *Transport Policy*, 15, 73-80. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2007.10.005>.

Banister D., Gilpin G , & Holden E. (2019). Sustainable mobility at thirty. *Sustainability*, 11(7), 1965. <https://doi.org/10.3390/su11071965>.

Beria P., Maltese I., & Mariotti I. (2012). Multicriteria versus Cost Benefit Analysis: a comparative perspective in the assessment of sustainable mobility. *European Transport Research Review*, 4, 137-152. 10.1007/s12544-012-0074-9.

Braathén N.A. (2016). The Cost of Air Pollution. *OECD NEA Workshop: The full cost of electricity provision*. [https://www.oecd-nea.org/upload/docs/application/pdf/2020-07/full\\_cost\\_workshop\\_11\\_the\\_cost\\_of\\_air\\_pollution.pdf](https://www.oecd-nea.org/upload/docs/application/pdf/2020-07/full_cost_workshop_11_the_cost_of_air_pollution.pdf).

Burnett R.T., Hughes E., Krewski D., Jerret M., Ma R., & Shi Y. (2009). Extended follow-up and spatial analysis of the American Cancer Society study linking particulate air pollution and mortality. *Research report (Health Effects Institute)*, 140,5–114: discussion 5–36. [http://westrk.org/CARBdocs/Krewski\\_052108.pdf](http://westrk.org/CARBdocs/Krewski_052108.pdf).

CE Delft. (2018). Health impacts and costs of diesel emissions in the EU. Full report. [https://cedelft.eu/wp-content/uploads/sites/2/2021/03/CE\\_Delft\\_4R30\\_Health\\_impacts\\_costs\\_diesel\\_emissions\\_EU\\_Def.pdf](https://cedelft.eu/wp-content/uploads/sites/2/2021/03/CE_Delft_4R30_Health_impacts_costs_diesel_emissions_EU_Def.pdf).

CE Delft. (2020). Health costs of air pollution in European cities and the linkage with transport. Full report. <https://epha.org/wp-content/uploads/2020/10/final-health-costs-of-air-pollution-in-european-cities-and-the-linkage-with-transport.pdf>.

CE Delft. (2021). Air pollution and transport policies at city level. Module 2: policy perspectives. [https://cedelft.eu/wp-content/uploads/sites/2/2021/03/CE\\_Delft\\_200218\\_Air\\_pollution\\_and\\_transport\\_policies\\_at\\_city\\_level\\_Def-1.pdf](https://cedelft.eu/wp-content/uploads/sites/2/2021/03/CE_Delft_200218_Air_pollution_and_transport_policies_at_city_level_Def-1.pdf).

Centers for Disease Control and Prevention, 2012. Disponibile online: <https://www.cdc.gov/>. (Accesso in 10/01/2022).

Clerici S., Montanaro F., & Perotti M. (2021). OSMM 2021: La svolta sostenibile della mobilità. Business models e politiche pubbliche per accelerare la transizione verde. Agici Finanza d'Impresa.

---

Commissione Europea. (2013). Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato della Regione: Un programma "Aria Pulita" per l'Europa. Bruxelles. Consiglio dell'Unione Europea. <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-18155-2013-INIT/it/pdf>.

Commissione Europea. (2019). Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato della Regione: Green Deal Europeo. Bruxelles. Consiglio dell'Unione Europea. [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0006.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0006.02/DOC_1&format=PDF).

CONCAWE (2006). Analysis of the CAFE cost benefit analysis, Brussels: CONCAWE. Full report. <https://www.concawe.eu/wp-content/uploads/2017/01/rpt064-2006-01564-01-e.pdf>.

Corte dei Conti Europea. (2020). Mobilità urbana sostenibile nell'UE: senza l'impegno degli Stati membri non potranno essere apportati miglioramenti sostanziali. Lussemburgo. Ufficio delle Pubblicazioni dell'Unione Europea. [https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/SR20\\_06/SR\\_Sustainable\\_Urban\\_Mobility\\_IT.pdf](https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/SR20_06/SR_Sustainable_Urban_Mobility_IT.pdf).

Danielis R. (2015). Inquinano maggiormente le auto elettriche o le auto convenzionali? Stime recenti, variabili determinanti e suggerimenti di politica dei trasporti. *Rivista di Economia e Politica dei Trasporti (REPoT)*, 3,1. <http://hdl.handle.net/10077/12275>.

De Haan E., & Gonzalez A. (2020). Il paradosso della batteria elettrica. Come il boom dei veicoli elettrici può logorare le comunità umane e le risorse del pianeta. *Centro per la Ricerca sulle Corporazioni Multinazionali (SOMO)*.

Domingos T., Jones H., & Moura F. (2014). Transport infrastructure project evaluation using cost-benefit analysis; *Procedia – Social and Behavioural Science*, 111, 400-409. 10.1016/j.sbspro.2014.01.073.

EEA Agenzia Europea dell'Ambiente. (2016). Trasporti e Salute. Disponibile online: <https://www.eea.europa.eu/it/segnali/segnali-2016/articoli/trasporti-e-salute> (Accesso in 10/01/2022).

EEA European Environment Agency (2018). Air quality in Europe- 2018 Report n 2. 10.2800/777411.

EEA Agenzia Europea dell'Ambiente. (2020). Trasporti. Disponibile online: <https://www.eea.europa.eu/it/themes/transport/intro#:~:text=Autovetture%2C%20furgoni%2C%20camion%20e%20autobus,inquinamento%20atmosferico%2C%20soprattutto%20nelle%20citt%C3%A0> (Accesso in 7/02/2022).

EEA Agenzia Europea dell'Ambiente. (2021). Inquinamento atmosferico. Disponibile online: <https://www.eea.europa.eu/it/themes/air/intro> (Accesso in 10/01/2022).

European Commission. (2014). Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects: *Economic appraisal tool for Cohesion Policy 2014-2020*. Full report. [https://ec.europa.eu/regional\\_policy/sources/docgener/studies/pdf/cba\\_guide.pdf](https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/studies/pdf/cba_guide.pdf).

European Commission. (2018). Future brief: What are the health costs of environmental pollution?. *Science for Environment Policy*, Issue 21. 10.2779/733278.

---

European Commission. (2019). Handbook on the external costs of transport. Full report. [https://cedelft.eu/wp-content/uploads/sites/2/2021/03/CE\\_Delft\\_4K83\\_Handbook\\_on\\_the\\_external\\_costs\\_of\\_transport\\_Final.pdf](https://cedelft.eu/wp-content/uploads/sites/2/2021/03/CE_Delft_4K83_Handbook_on_the_external_costs_of_transport_Final.pdf).

Fondazione Caracciolo. (2021). Per una transizione ecorazionale della mobilità automobilistica italiana. Full report.

[http://www.fondazionecaracciolo.aci.it/fileadmin/immagini/studi\\_ricerca/Per\\_una\\_transizione\\_ecorazionale\\_della\\_mobilita\\_automobilistica\\_italiana\\_2021.pdf](http://www.fondazionecaracciolo.aci.it/fileadmin/immagini/studi_ricerca/Per_una_transizione_ecorazionale_della_mobilita_automobilistica_italiana_2021.pdf).

Global Witness. (2020). Time for a climate revolution. Full Report. [https://www.globalwitness.org/en/about-us/global-witness-annual-reports/?gclid=CjwKCAjwqJSaBhBUeIwAg5W9p4iobz7HiAdSj7lywSMWc7UsYn8CJzT5\\_9dDcCoXSHfA4AdYO-XleRoCC3sQAvD\\_BwE](https://www.globalwitness.org/en/about-us/global-witness-annual-reports/?gclid=CjwKCAjwqJSaBhBUeIwAg5W9p4iobz7HiAdSj7lywSMWc7UsYn8CJzT5_9dDcCoXSHfA4AdYO-XleRoCC3sQAvD_BwE)

Gobbi R., Rapa M., & Ruggieri R. (2020). Environmental and Economic Sustainability of Electric Vehicles: Life Cycle Assessment and Life Cycle Costing Evaluation of Electricity Sources. *Energies*, 13, 6292. <https://doi.org/10.3390/en13236292>.

Goodman J.E., Sax S.N., & Zu K. (2013). Air pollution and lung cancer in Europe. *The Lancet Oncology*, 14 (11), E439-E440. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(13\)70438-8](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(13)70438-8).

Hallberg A., Hubbel J.B, Mccubbin D.R., & Post E. (2005). Health – Related Benefits of Attaining the 8-Hr Ozone Standard. *Environmental Health Perspective*; 113(1), 73-82. **10.1289/ehp.7186**.

Hubbel B.J. (2006). Implementing QALYs in the analysis of Air Pollution Regulations. *Environmental & Resource Economics*, 34, 365-384. <https://doi.org/10.1007/s10640-004-7437-1>.

IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014), Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the IPCC - Annex III. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGIIIAR5\\_SPM\\_TS\\_Volume-3.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGIIIAR5_SPM_TS_Volume-3.pdf).

Isfort Audimob (2013). Disponibile online: <https://www.isfort.it/ricerca/audimob/> (Accesso in 30/01/2022).

Isfort (2020). 17° Rapporto sulla mobilità degli italiani Tra gestione del presente e strategie per il futuro. Full report. <https://www.isfort.it/wp-content/uploads/2020/12/RapportoMobilita2020.pdf>.

ISPRA Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale. (2021). Italian Emission Inventory 1990-2019. Informative Inventory Report 2021 rapporto 342. <https://www.isprambiente.gov.it/files2021/pubblicazioni/rapporti/rapp-342-2021.pdf> (Accesso in data 30/02/2022).

Istat (2021). Disponibile online: <https://www.istat.it/> (Acceso in 1/02/2022).

Jeanrenaud C., & Marti J. (2007). The Cost of Reduced Life Expectancy Due to Air Pollution: Assessing the Value of a Life Year (VOLY) Using Contingent Valuation. *IHEA 2007 6th World Congress: Explorations in Health Economics Paper*.

Kim S, Lee C., & Lee J. (2017). Does Driving Range of Electric Vehicles Influence Electric Vehicle Adoption?. *Sustainability*, 9(10),1783. <https://doi.org/10.3390/su9101783>.

---

Krishnan R., & Butt B. (2022). The gasoline of the future:” points of continuity, energy materiality, and corporate marketing of electric vehicles among automakers and utilities. *Energy Research & Social Science*, 83: 102349. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102349>.

Lutsey N.; & Wolfram P. (2016). Electric vehicles: Literature review of technology costs and carbon emissions. *The international Council on clean transportation*, 14. [https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/ICCT\\_LitRvw\\_EV-tech-costs\\_201607.pdf](https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/ICCT_LitRvw_EV-tech-costs_201607.pdf).

Mia Romare Dahllöf L., & Romare M. (2017). The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries. *IVL Swedish Environmental Research Institute*, C 243. <http://www.energimyndigheten.se/globalassets/forskning--innovation/transporter/c243-the-life-cycle-energy-consumption-and-co2-emissions-from-lithium-ion-batteries-.pdf>.

Mohieldin M. , & Vandycke N. (2017). Sustainable Mobility for the 21st Century. *The World Bank*.

Motus-E. (2021). Disponibile online: <https://www.motus-e.org/utilita/analisi-di-mercato> (Accesso in 1/02/2022).

Motus-E (2022). Disponibile online: <https://www.motus-e.org/utilita/analisi-di-mercato> (Accesso in 11/10/2022).

NEEDS (2008). Deliverable No 1.1 RS 3a Report on the procedure and data to generate averaged/aggregated data. Brussels. European Commission.

NEEDS (2008a). NEEDS deliverable No 1.1.-RS 3a Report on the procedure and data to generate averaged/aggregated data. Priority 6.1 (...) Sub-priority 6.1.3.2.5: Socioeconomic tools and cencepts for energy strategy. Brussels. European Commission.

NEEDS (2008c). NEEDS deliverable 6.7 Final report on the monetary valuation of mortality and morbidity risks from air pollution. Priority 6.1 (...) Sub-priority 6.1.3.2.5.: Socio-economic tools and concepts for energy strategy. Brussels. European Commission.

NICE National Institute for Health and Care excellence. (2019). Air pollution: outdoor air quality and health

NICE quality standard. <https://www.nice.org.uk/guidance/qs181/resources/air-pollution-outdoor-air-quality-and-health-pdf-75545716334533>.

Optimal Sustainable Mobility Mix (OSMM). (2021). La svolta della mobilità: business models e politiche pubbliche per accelerare la transizione verde. Full Report.

Osservatorio Nazionale Sharing Mobility (2021). 5 Rapporto Nazionale sulla Sharing Mobility. <http://osservatoriosharingmobility.it/wp-content/uploads/2021/11/5-Rapporto-Nazionale-sulla-sharing-mobility-2.pdf>.

Oum T. H., Waters W., & Yong J. S. (1990). A survey of recent estimates of price elasticities of demand for transport. *Policy Research Working Paper Series from The World Bank*, 359. [http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSC ... d/PDF/multi\\_page.pdf](http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSC...d/PDF/multi_page.pdf) .

PAESC Patto dei Sindaci per il Clima e l’Energia EUROPA. (2017). <https://www.pattodeisindaci.eu/about-it/l-iniziativa/obiettivi-e-finalita.html>.

---

Politecnico di Milano. (2021). Smart Mobility report 2021. La sostenibilità nei trasporti: le sfide per una mobilità sostenibile nello scenario post-Covid. Full report. <https://www.missionline.it/wp-content/uploads/2021/10/Smart-Mobility-Report-2021.pdf>.

Poponi S., Ruggieri R., Ruggeri M., & Vinci G.. (2021). Electric Mobility in a Smart City: European Overview. *Energies*, 14, 315. <https://doi.org/10.3390/en14020315>.

Raaschou-Nielsen O. & Altri. (2013). Air pollution and lung cancer incidence in 17 European cohorts: prospective analyses from the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE). *The Lancet Oncology*, 14 (9), 813-822. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(13\)70279-1](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(13)70279-1).

Rabl, A., Spadaro, J. V. & Holland, M. (2014). *How Much Is Clean Air Worth?: Calculating the Benefits of Pollution Control*. Cambridge: Cambridge University Press.

Ready R., & Altri (2004). Contingent valuation of ill health caused by pollution: testing for context and ordering effects. *Portuguese Economic Journal*, 3, 145-156. 10.1007/s10258-004-0031-1.

Requia W. & Altri. (2018). How clean are electric vehicles? Evidence-based review of the effects of electric mobility on air pollutants, greenhouse gas emissions and human health. *Atmospheric Environment*, 185, 64-77. 10.1016/j.atmosenv.2018.04.040.

Sassi F. (2006). Calculating QALYs, comparing QALY and DALY calculations. *National Library of Medicine: National Center for Biotechnology Information*, 21(5), 402-408. [10.1093/heapol/czl018](https://doi.org/10.1093/heapol/czl018).

Stock J.H. , & Watson M.W. (2012). *Introduzione all'econometria* (Peracchi F, Trad; 3 edizione). Pearson.

Struyf E., Sys C., Van de Voorde E., & Vanelsander T. (2020). Calculating the cost of congestion to society: A case study application to Flanders. *Research in transportation business and Management*. [10.1016/j.rtbm.2020.100573](https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2020.100573).

TEMS European Platform on Mobility Management Modal Split Tool. (2021). Disponibile online: [http://tems.epomm.eu/compare\\_cities.php](http://tems.epomm.eu/compare_cities.php) (Accesso in 30/01/2022).

Tuttogreen (2016, 18 ottobre). Motori: Più inquinante il diesel della benzina perché? <https://www.tuttogreen.it/piu-inquinante-il-diesel-della-benzina/>.

United Nations. (2019). Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. A/RES/70/1. <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf>.

United Nations. (2020). 9th UN Forum on Business and Human Rights. Full report. <https://www.ohchr.org/en/events/forums/2020/9th-un-forum-business-and-human-rights>.

Vickrey W. S. (1969). Congestion theory and transport investment, *The American Economic Review*, 59(2), 251-260. <https://www.jstor.org/stable/1823678>.

Watts N. & Altri. (2019). The 2019 report of The Lancet Countdown on health and climate change: ensuring that the health of a child born today is not defined by a changing climate. *Lancet*, 394, 1836-1878. <https://doi.org/10.1016/>.

WHO World Health Organization (2013). Health risks of air pollution in Europe – HRAPIE project Recommendations for concentration–response functions for cost–benefit analysis of particulate matter, ozone



---

and nitrogen dioxide. Geneva. Who Regional Office for Europe.  
**[https://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0006/238956/Health\\_risks\\_air\\_pollution\\_HRAPIE\\_project.pdf](https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/238956/Health_risks_air_pollution_HRAPIE_project.pdf)**.

WHO Regional Office for Europe, OECD. (2015). Economic cost of the health impact of air pollution in Europe: Clean air, health and wealth. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.  
**[https://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0004/276772/Economic-cost-health-impact-air-pollution-en.pdf](https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/276772/Economic-cost-health-impact-air-pollution-en.pdf)**.

WHO World Health Organization (2018). The Global Health Observatory. Disponibile online:  
**<https://www.who.int/data/gho/indicator-metadata-registry/imr-details/4427>** (Accesso in data 10/01/2022).

WHO World Health Organization. (2021). WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Full report.  
**<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/345329/9789240034228-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>**.

World Business Council for Sustainable Development. (2004). Mobility 2030 Report. Executive Report.  
**<http://docs.wbcsd.org/2004/06/Mobility2030-ExSummary.pdf>**

## Appendice

### Appendice 1: Calcolo externalità negativa relativa all'inquinamento atmosferico nel settore dei trasporti italiano

#### Impatti di mortalità

Per ciascuna causa di mortalità derivante da un determinato inquinante viene utilizzato il rischio relativo (OMS, 2013). Il rischio relativo (RR) può essere considerato come l'aumento percentuale del rischio nell'impatto della malattia a causa dell'aumento del livello di esposizione di  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (OMS, 2013). Esso confronta il rischio di un evento sanitario, in questa analisi la morte, in un gruppo con il rischio in un altro gruppo. Si ottiene dividendo la proporzione di incidenza nel gruppo di analisi per la proporzione di incidenza nel gruppo di controllo; normalmente i due insiemi differiscono per il livello di esposizione ad un probabile fattore di rischio. Il gruppo di interesse è nominato come quello esposto, mentre il gruppo di confronto è etichettato come quello non esposto. (Centers for Diseases and Control Prevention, 2012).

$$\text{RR} = \frac{\text{Rischio di malattia nel gruppo di interesse}}{\text{Rischio di malattia nel gruppo di confronto}} \quad (6)$$

Un RR pari ad 1 indica un rischio identico tra i due gruppi. Un RR maggiore di 1 indica un aumento del rischio per il gruppo al numeratore, quello esposto all'agente inquinante. Un RR minore di 1 indica un rischio ridotto per il gruppo esposto, indicando che probabilmente l'esposizione protegge dall'insorgere della malattia.

**Tab 1: Rischi relativi per la mortalità a causa dell'inquinamento atmosferico.**

Substance	Cause	Impact	Age Group	RR per $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Beta per $\mu\text{g}/\text{m}^3$
pm2.5	Chronic	A	30+	1,062	0,0062
pm2.5	Acute	A	30+	1,0123	0,00123
O3	Acute	B	All	1,0029	0,00029
N02	Chronic	B	All	1,0076	0,00076

Fonte dati European Commission, 2019.

L'RR utilizzato è di 1,062 per  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  per gli impatti della mortalità da pm2.5 (HRAPIE, 2013) ed è calcolato per la popolazione adulta sopra i 30 anni. + L'RR è stimato essere di 1,003 per  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  per gli impatti della mortalità da ozono (NEEDS, 2008) ed include solo la mortalità acuta (es. infarti). L'impatti della mortalità da NO2 assumono un RR di 1,0076 per  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (NEEDS, 2007). L'RR è applicato solo agli individui con età superiore ai 30 anni, i quali vivono in aree con una concentrazione media annua di NO2 sopra i  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Dal rischio relativo viene derivato un parametro beta, il quale rappresenta il rischio marginale di morte dato da un aumento di  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  nella concentrazione di inquinanti (CE DELFT, 2019). La funzione incrementale Beta si ottiene nel seguente modo:

$$\beta = \frac{(\text{RR}-1)}{10} \quad (7)$$

dove RR è il rischio relativo.

Il calcolo degli anni di vita persi è dato dalla seguente formula:

$$YLL_i = AF_i \times POP \times AGF \times INC \times AYL \quad (8)$$

dove  $i$  risulta essere l'inquinante per il quale gli anni di vita persi sono calcolati.

AF è la frazione attribuibile, ossia è la proporzione di incidenti nella popolazione attribuibili al fattore di rischio. Essa dipende dalla funzione beta derivato dal rischio relativo della tabella 1.4 e dalla concentrazione in una determinata città rilevato nella letteratura epidemiologica (OMS, 2014) dalla formula:

$$AF_i = \frac{e^{\beta_i \times CONC_i^{-1}}}{e^{\beta_i \times CONC_i^{-1}} + 1} \quad (9) \quad (CE DELFT,2019).$$

POP è la popolazione residente nella città.

AGF è la frazione della classe di età interessata dall'inquinante.

INC sono i tassi di incidenza presi dall'EEA (2019) e rappresentano il numero di morti naturali avvenute per una determinata fascia di età ogni 100 000 abitanti. Sono determinati per singolo paese e non per singola città. Individui di fasce di età più elevate avranno tassi di incidenza più alti.

AYL rappresenta gli anni di vita medi persi ed il suo valore è stimato di 10,3 anni per tutti gli inquinanti (EEA,2019).

Il calcolo dello YLL è stimato usando i valori della tabella 1.3 e un'elasticità al reddito di 0,8 (CE Delft,2019). Il costo sociale totale per un inquinante specifico  $i$  in una determinata città  $j$  per tutti gli anni è dato da:

$$SC_{i,j} \approx YLL_{i,j} \times \left( \frac{GDP_j}{GDP_{eu28}} \right)^{0,8} \quad (10)$$

L'ipotesi di base è che l'elasticità al reddito della disponibilità a pagare sia 1. Un ampio studio da parte dell'OECD stima l'elasticità al reddito della disponibilità a pagare in un range che va da 0,7 a 0,9. Sulla base di questo studio la Commissione Europea nel suo Manuale sulle esternalità dei trasporti (CE,2019) raccomanda un valore di 0,8.

### Impatti della morbosità

Gli impatti della morbosità sono calcolati con le cosiddette tavole della vita (CE Delft et Al., 2019).

**Tab 2: Impatti della morbosità.**

Core morbidity endpoint	Pollutant	Risk group (RG)	RGF value	Age group (AG)	AGF	Factor	CRF (1/μg/m <sup>3</sup> )	Phys impact per person per μg per m <sup>3</sup>	Unit
<b>pm 2,5 (μg/m<sup>3</sup>)</b>									
Net Restricted Activity days (netRADs)	pm 2,5	all	1	Mix	1,000	1	9,59E-03	9,59E-03	days
Work Loss days (WLD)	pm 2,5	all	1	Work force	0,491	1	2,07E-02	1,02E-02	days
Minor restricted Activity days (MRAD)	pm 2,5	all	1	Adults 18 to 64	0,648	1	3,74E-02	3,74E-02	days
<b>pm 10 (μg/m<sup>3</sup>)</b>									
Increased mortality risk (infants)	pm 10	infants	0	Total	0,010	1	4,00E-03	7,72E-08	cases

New cases of chronic bronchitis	pm 10	all	1	Adults 18 and above	0,818	1	4,51E-05	3,68E-05	cases
Respiratory hospital admissions	pm 10	all	1	Total	1,000	1	7,03E-06	7,03E-06	cases
Cardiac hospital admissions	pm 10	all	1	Total	1,000	1	4,34E-06	4,34E-06	cases
Medication use/Bronchodilator use	pm 10	Children	0,05	Children 5 to 14	0,092	1	4,76E-03	1,97E-05	cases
<b>Ozone (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>) - from SOMO35</b>									
CVD and respiratory hospital admissions	SOMO35	all	1	Elderly 65 and above	0,170	1	3,43E-05	5,82E-06	cases
MRAD	SOMO35	all	1	Adults 18 to 64	0,648	1	1,15E-02	7,45E-03	days
				NO2 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )					
Prevalence of bronchitis in asthmatic children	NO2	all	0,05	Children 5 to 14	0,092	1	2,17E-03	2,17E-05	cases
Hospital admissions due to respiratory diseases	NO2	all	1	Total	1,000	1	1,11E-05	1,11E-05	cases

Fonte dati CE Delft 2019.

- Ricoveri ospedalieri cardiaci: Il valore preso è quello di Rabl et Al. (2014). Esso si basa su un RR di 1,006 per  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  per i pm10, mentre per i pm2.5 è utilizzato un valore dell'RR di 1,0096 per  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (CE DELFT,2017).
- Pm2.5 giorni di attività limitata netta: I valori sono presi dall'OMS (2014). I giorni di attività limitata netti sono ottenuti sottraendo le giornate di lavoro perse, giorni di attività limitata in modo minore e i ricoveri ospedalieri per l'inquinamento da pm2,5 dall'RR dell'OMS.
- Pm2.5 giorni di attività limitata in modo minore; si verificano quando gli individui riducono la maggior parte delle attività quotidiane con azioni meno stressanti senza evitare le attività lavorative e scolastiche<sup>4</sup>. (NEEDS,2008).
- Pm2.5 giorni di lavoro persi: I valori relativi all'OMS (2014) risultano i medesimi di quelli dei NEEDS (2008).
- Ricoveri ospedalieri per danni respiratori: L'OMS (2014) riporta un valore dell'RR di 1,019 per  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  per l'intera popolazione.
- Uso di farmaci a causa dell'asma: Si riferisce al costo delle medicazioni e alla disutilità nelle persone affette da asma per i giorni di tosse addizionale. Viene utilizzato il valore dell'RR stimato dall'OMS (2014) di 1,028, considerando tra gli individui affetti da asma solo i bambini di un'età compresa tra i 5 e i 19 anni. Il valore dei costi medici risulta essere di 11 €/giorno.
- Nuovi casi di bronchite cronica e di malattie polmonari ostruttive croniche (COPD) negli adulti. L'OMS(2014) consiglia di utilizzare due diversi RR per adulti e bambini; un RR di 1,117 per  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  per i primi e un RR di 1,08 per  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  per i secondi. L'OMS utilizza un tasso di incidenza del 18,6% per i bambini e del 0,39% per gli adulti.
- Ricoveri ospedalieri: L'OMS (2014) riporta i ricoveri ospedalieri a causa dell'ozono sia per malattie cardiache che respiratorie, in questa analisi vengono utilizzate le linee guida dell'OMS (2014).
- Giorni di attività limitata in modo minore: il valore dell'RR risulta essere il medesimo per i NEEDS che per l'OMS.

<sup>4</sup> Hallberg A., Hubbel J.B, Mccubbin D.R., & Post E. (2005), Health – Related Benefits of Attaining the 8-Hr Ozone Standard. *Environmental Health Perspective*; 113(1), 73-82.

Non sono inseriti nel progetto NEEDS(2008), dal momento che non era ancora un'evidenza scientifica gli impatti sulla salute causati da parte degli NO2. Essi risultano essere inseriti nelle linee guida dell'OMS(2013).

- Prevalenza di bronchiti nei bambini asmatici: Vengono utilizzate le medesime stime riportate in precedenza per la medesima malattia causata dai pm2.5. Viene assunta una media europea di bambini asmatici del 4,5%. L'impatto addizionale degli NO2 risulta essere molto piccolo.
- Ricoveri ospedalieri per problemi respiratori: Si basa sullo studio di Hurley e Al.(2015), il quale stima il ricovero di 617 abitanti ogni 100.000 per malattie respiratorie a causa di NO2. L'impatto addizionale da parte degli NO2 sui ricoveri ospedalieri risulta essere molto piccolo, non significativo.

Per ciascun effetto causato dalla morbosità la formula per l'impatto fisico è calcolata come:

$$\text{PhysImp} \left( \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \right) = \text{CRF} \times \text{AGF} \times \text{RGF} \quad (11)$$

dove CRF è la funzione di concentrazione risposta con unità di misura  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

AGF è il fattore relativo all'età del gruppo, specifica per città.

RGF è il fattore di rischio del gruppo preso in considerazione, specifico per effetto causato dall'esposizione all'agente inquinante.

Una volta ottenuto l'impatto fisico viene stimata l'esternalità totale per ciascuna città con la seguente equazione:

$$\text{External cost} = \text{PhysImp} \times \left\{ \text{MonVal} \times \left( \frac{\text{City GDP}}{\text{EU GDP}} \right)^{\text{IE}} \right\} \times \text{Pollutan Factor} \quad (12)$$

Mon Val è il valore monetario specifico per determinato effetto, per caso o per YLL.

GDP = Il Pil specifico per ciascuna città.

EU GDP = Il Pil medio dei Paesi dei 28 paesi dell'UE.

IE = elasticità al reddito.

Pollutant factor = Il fattore che converte la concentrazione di inquinante in danno, specifico per inquinante.

## Appendice 2: Costo della CO2

La Commissione Europea nel suo Handbook of external costs of transport (2019) utilizza il metodo del costo evitato. Esso si fonda sui costi marginali necessari per il raggiungimento di determinati livelli di qualità ambientale, tramite l'introduzione di una politica ad hoc. Lo strumento si basa su un'analisi di costo-efficacia, nel quale viene scelta l'opzione meno costosa per l'ottenimento di una riduzione dei gas climalteranti.

Essenziale per l'utilizzo del costo di prevenzione è il livello di riduzione fissato; il quale viene settato in conformità ai diversi obbiettivi a livello europeo:

- Riduzione delle emissioni di CO2 del 20% nel 2020 rispetto al livello del 1990 tramite l'utilizzo di strumenti come l'EU Emission trading Scheme (ETS)<sup>5</sup> e l'Effort Sharing Regulation (ESR).<sup>6</sup>

<sup>5</sup> L'emission Trading System si basa su un meccanismo di cap & trade fissando un tetto massimo alle emissioni consentite sul territorio europeo nei settori interessati (cap), cui corrisponde un numero equivalente di quote che possono essere acquistate/vendute su un apposito mercato (trade). Ogni operatore attivo nei settori coperti dallo schema deve compensare le emissioni prodotte con un corrispondente quantitativo di quote. (Ministero della Transizione Ecologica,2022).

<sup>6</sup> L'ESR fissa dei target nazionali per la riduzione delle emissioni nel settore dei trasporti su strada, dell'agricoltura, smaltimento dei rifiuti, riscaldamento degli edifici e piccoli impianti industriali. Questi settori non erano inclusi negli ETS. L'ESR garantisce che tutti gli Stati contribuiscono alla riduzione in modo equo e giusto, distribuendo gli sforzi degli Stati membri in base al Pil pro capite, imponendo degli obbiettivi più ambiziosi per quei Paesi con un Pil pro capite più elevato. (Commissione Europea,2021).

- L'obiettivo dell'UE per il 2030 è la riduzione del 40% delle emissioni di CO2 rispetto al livello del 1990 revisionando l'ETS e l'ESR.
- Il traguardo ambito nell'accordo di Parigi, di mantenere l'aumento della temperatura al di sotto di 1,5-2 gradi, raggiungibile solo con una riduzione delle emissioni di CO2 del 80-95% nel 2050 rispetto ai livelli del 1990.

Il vantaggio principale del costo evitato è quello di riuscire a tener conto dell'avversione al rischio degli individui, dal momento che in tema di cambiamenti climatici le probabilità di rischio di catastrofi di enorme portata risultano essere non trascurabili. L'unico modo per tener conto di questo aspetto è quello di basarsi sul metodo dei costi evitati.

Molti sono gli aspetti che influiscono sul costo evitato ed è utile ai fini dello studio analizzare i principali (European Commission, 2019):

- La scelta di un obiettivo di riduzione: le stime sono molto sensibili alla scelta del target. Livelli di riduzione più elevati determineranno dei costi maggiori rispetto a livelli di riduzione più bassi. Il valore dei costi può differire anche in base ai limiti di analisi imposti; se si considera degli obiettivi sector-specific oppure per tutti settori, se l'obiettivo è a livello nazionale o sovranazionale. Se la scelta del target non riflette le preferenze degli individui esso non sarà un'opzione valida al livello del benessere della società.
- Stime delle opzioni per la mitigazione: i costi evitati si basano su un'accurata previsione del progresso e dell'innovazione tecnologica. Tale progresso o innovazione possono ridurre i costi derivanti dalla tecnologia utilizzata nello scenario di base.
- Stima di uno scenario base: i costi evitati sono fortemente dipendenti dalle assunzioni fatte sullo sviluppo dei gas ad effetto serra, le quali sono spesso condizionate dalla situazione geo-politica che si evolve intorno alle principali materie prime energetiche. Emissioni elevate di base di GHG impongono costi evitati più elevati per la riduzione rispetto ad emissione di base più basse.
- Differenti GHGs: I costi di evitati sono spesso espressi in tonnellate di CO2 equivalenti, dunque non avviene un calcolo di tutti i gas climalteranti in modo separato. Numerosi studi mostrano che i costi di prevenzione per la CO2 sono inferiori rispetto a quelli per gli altri gas. (Jakeman e Fisher, 2006; Kempfert e al., 2006; Kurosawa, 2006; Tol, 2006; Gambhir e al., 2015).
- Avversione al rischio e alla perdita: I costi evitati come è stato analizzato in precedenza tengono conto dell'avversione al rischio e alle perdite da parte degli individui nei confronti dei cambiamenti climatici.

La stima dei costi di prevenzione è estrapolata dall'Handbook on the external costs of transport della Commissione Europea, il quale si basa sulla media dei valori dati negli anni in letteratura.<sup>7</sup>

**Tab 3: Costo evitati in €/tCO2 eq. (€ 2016).**

CO2 avoidance cost	Low	Central	High
Short-medium (2030)	€ 60	€ 100	€ 189
Long run(2040-2060)	€ 156	€ 269	€ 498

Fonte dati European Commission, 2019.

La tabella 3 divide il costo della CO2 in due gruppi che differiscono per l'orizzonte temporale di interesse; il primo gruppo calcola i valori relativi al breve-medio termine fino al 2030, mentre il secondo gruppo quelli relativi al lungo termine fino al 2040-2060. I costi evitati aumentano nel corso degli anni, ciò è dovuto come per i costi derivanti dal danno alla permanenza prolungata del carbonio nell'atmosfera e all'utilizzo di tassi di sconto

<sup>7</sup> (DECC, 2009), (DECC, 2015), (CPB; PBL, 2016), (IEA, 2008) & (IEA, 2010), (IEA, 2017b) & (IEA, 2017a) (Riahi e al., 2015), (Edenhofer e al., 2010), (Kitous e al., 2010), (Magné e al., 2010), (Leimbach e al., 2010), (Barker e Scricciu, 2010), (D.P e al., 2010).

decrementi a causa di incertezza sugli sviluppi economici futuri e alla non linearità degli impatti per le emissioni di CO<sub>2</sub>. (Defra,2005).

Il valore utilizzato nello studio è 100 €/tCO<sub>2</sub> eq., ossia la stima centrale riportata dalla Commissione Europea per il breve- medio termine; i risultati saranno molto influenzati dalla scelta di questo valore.

### Appendice 3: Costi marginali delle esternalità negative

Dopo il calcolo dei costi sociali relativi alle città italiane per quanto riguarda l'inquinamento atmosferico lo studio prosegue nella valutazione monetaria dei costi marginali. Essi si basano sull'introduzione sempre maggiore della mobilità elettrica, con particolare attenzione sulle automobili, a discapito di quella termica. L'analisi utilizza le linee guida della Commissione Europea dettate nel manuale "Handbook on the external cost of transport" (versione 2019), adattate per lo Stato italiano, dal momento che utilizzano la medesima unità di misura delle altre tipologie di esternalità negativa, determinando una uniformità nei risultati.

**Tab 4: Danni marginali da inquinamento atmosferico per i trasporti in Italia.**

Average costs (€-cent per vkm)			
Pass car - petrol	Pass car – diesel	Pass car – total	Electric car
0,633	1,360	1,026	0,050

Fonte dati European Commission, 2019.

La tabella 4 riporta i costi marginali dell'inquinamento atmosferico per quanto riguarda l'utilizzo delle automobili. Si nota come le auto a diesel risultano essere maggiormente inquinanti rispetto alle auto a benzina. Le auto elettriche risultano avere un costo quasi nullo per quanto riguarda le emissioni di inquinanti atmosferici per quanto riguarda le sole emissioni allo scarico. L'unità di misura scelta per questo studio risultano essere i centesimi di euro al veicolo chilometrico (cent-€/vkm). Il vkm è una misura della rete di traffico determinata dalla moltiplicazione tra il numero di veicoli in un certo network veicolare e la lunghezza media dei loro viaggi misurati in km (EC,2019).

**Tab 5: Costi marginali di emissione di CO<sub>2</sub>.**

Marginal costs (€-cent per vkm)					
Pass car - petrol	Pass car - diesel	Pass car - total	Phev	Electric car	Electric total
1,970	1,800	1,329	0,44	0	0,22

Fonte dati European Commission, 2019.

La tabella 5 riporta i costi medi dell'inquinamento climatico per quanto riguarda l'utilizzo delle automobili. Si nota come le auto a benzina risultano essere maggiormente inquinanti rispetto alle auto a diesel. Le auto elettriche risultano avere un costo molto inferiore per quanto riguarda le emissioni di inquinanti climatici per quanto riguarda le sole emissioni allo scarico. L'unità di misura scelta per questo studio risultano essere i centesimi di euro al veicolo chilometrico (cent-€/vkm) come per il calcolo dei costi marginali precedenti.

