

**POLITECNICO DI TORINO**

**Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale**



**TESI DI LAUREA MAGISTRALE**

**Analisi delle esternalità di costo  
nel settore del trasporto su strada**

**Relatore:  
Carlo Cambini**

**Candidato:  
Tommaso Palombelli**

**ANNO ACCADEMICO 2018-2019**

## Sommario

1. Le esternalità nel trasporto stradale .....	1
1.1. Panoramica del tema economico dell'esternalità .....	1
1.2. Esternalità nel trasporto stradale .....	7
1.2.1. Costi dovuti ad incidente .....	7
1.2.2. Costi dovuti all'inquinamento dell'aria .....	8
1.2.3. Costi di cambiamento climatico .....	9
1.2.4. Costi dei danni da inquinamento acustico .....	11
1.2.5. Costi di congestione stradale .....	12
1.2.6. Costi causati dai danni ambientali .....	14
1.3. Quadro normativo per la regolamentazione del trasporto autostradale .....	16
1.3.1. Normativa Eurovignette .....	18
1.3.2. Normativa carburanti .....	25
1.3.3. Considerazioni su tasse di immatricolazione e circolazione: .....	31
2. Metodi di Stima delle Esternalità principali e Risultati.....	33
2.1. Metodo .....	33
2.2 Limiti del metodo .....	36
2.3. Costi dovuti ad incidente.....	40
2.3.1. Costi Medici .....	41
2.3.2. Costi Amministrativi .....	42
2.3.3. Production losses .....	43
2.3.4. Costi per l'uomo .....	44
2.4. Costi per l'inquinamento dell'aria .....	56
2.5. Costi per il cambiamento climatico.....	66
2.6. Costi di danno ambientale .....	78
2.7. Costi dovuti all'inquinamento Acustico.....	82
2.8. Costi dovuti alla congestione stradale.....	93
2.9. Panoramica per l'Italia e il contesto Europeo .....	102
3. Calcolo e analisi dei valori marginali nel contesto autostradale italiano .....	104
3.1. I percorsi di internalizzazione .....	104

3.2. L'adattamento temporale .....	104
3.3. Costi marginali dovuti ad incidente .....	107
3.4. Costi marginali dell'inquinamento dell'aria e di cambiamento climatico .....	112
3.5. Costi marginali d'inquinamento acustico.....	117
3.6. Costi marginali di congestione stradale .....	120
3.7. Conclusione.....	123
Riferimenti bibliografici .....	128
Bibliografia .....	133
Sitografia.....	133

## 1. Le esternalità nel trasporto stradale

Questo capitolo presenterà il tema delle esternalità legate al trasporto stradale, per poi fornire una panoramica delle imposte e oneri legate direttamente al trasporto su gomma.

### 1.1. Panoramica del tema economico dell'esternalità

In un qualunque sistema-trasporto è possibile realizzare una classificazione iniziale dei costi, intuitiva e sintetica; essa scompone i costi in tre grandi macro-gruppi: costi di produzione del servizio, costi a carico dell'utente per l'uso del servizio e una componente di costi esterni, cioè residuali rispetto alle prime due tipologie. Per costi legati alla erogazione del servizio trasporto stradale, ad esempio, si intendono costi per la realizzazione del tratto di infrastruttura, per la sua manutenzione, per interventi migliorativi e di gestione, per l'acquisto di mezzi per il trasporto pubblico (principalmente nei tratti urbani) e per l'esercizio di gestione del sistema, questi ultimi intesi come costi operativi delle organizzazioni che gestiscono il sistema. Contemporaneamente anche l'utente, per garantirsi l'accesso a questo sistema deve sostenere dei costi; sempre con riferimento al sistema stradale, sorgono le necessità di usufruire di un veicolo (per il trasporto passeggeri o merci), la sua manutenzione e i costi di carburante, le necessarie assicurazioni e certificazioni per la guida e i costi di accesso alla rete autostradale o urbana (in Italia l'accesso ai tratti autostradali è regolamentato tramite pedaggi, e per alcune città come Milano è stata introdotta una tariffa per l'accesso ai tratti urbani più interni). Mentre quest'ultimi costi sono di diretta competenza dell'utente, i costi di produzione e di erogazione generalmente sono affidati a enti pubblici specializzati, a enti privati o ad amministrazioni locali, sebbene poi in seconda battuta la maggior parte questa tipologia di costi sia in realtà sostenuta dalla cittadinanza. Nel caso di gestione di ente privato la prassi è il modello BOT: Build Operate and Transfer, ovvero che dopo l'assegnazione dell'appalto, il concessionario si assume l'obbligo di realizzazione della struttura e della gestione a seguito del diritto di riscuotere pedaggi. La riscossione di pedaggi quindi "scarica" i costi sull'utenza, secondo logiche di regolamentazione oggetto di molti studi [1].

Resta da definire la componente residuale, la cosiddetta esternalità.

In economia ci si riferisce ad esternalità come all'influenza che un gruppo di persone esercita tramite azioni economico-sociali, su un secondo gruppo di persone, senza che ne renda conto, parzialmente e non, né monetariamente né socialmente.

In altri termini, in ambito stradale, significa che l'utente che sceglie di intraprendere un viaggio con un mezzo su gomma, crea effetti (prevalentemente negativi) a vari elementi esterni, di cui dovrebbe tenere conto al momento della scelta.

La teoria economica tradizionale spiega come a causa di queste esternalità possano nascere dei fallimenti di mercato; di base è possibile modellizzare la società sul fatto che

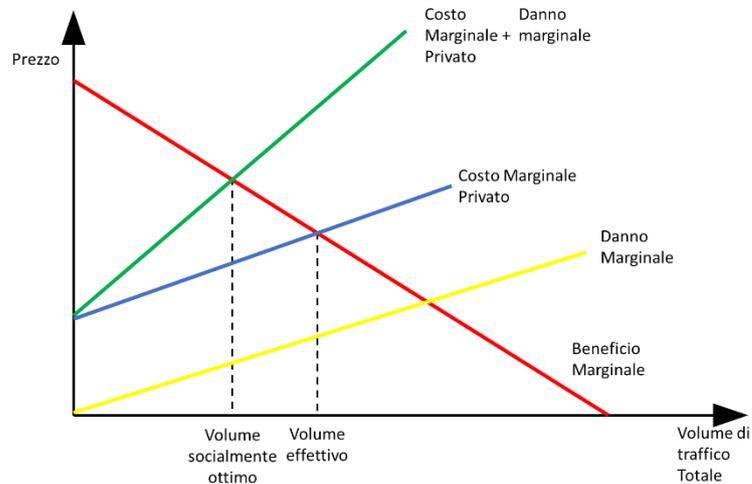


Figura 1.1: rappresentazione grafica dell'effetto delle esternalità [fonte: Rosen H.S., 2007, Scienza delle Finanze, cap.5. McGraw-Hill]

la società agisca a costi e benefici personali (o privati), ma l'esistenza stessa delle esternalità porta a non far coincidere benefici e costi personali con quelli sociali, ovvero il benessere collettivo. Nel caso di esternalità negative questi effetti sono associabili a costi, che invece di essere sostenuti dalle entità all'interno della transazione vengono imposti a terzi, senza che essi abbiano la possibilità di scegliere. Il risultato è che la produzione (in questo caso la mole di traffico) creata sia superiore all'ottimo sociale [2].

Queste esternalità, intese come costi, si possono definire:

- Totali, quando ci si riferisce alla totalità di danni/costi generati
- Medi, se si prendono in esame i costi per unità di traffico (I costi totali divisi per il numero di mezzi, per il totale di passeggeri o il peso totale ad esempio)
- Marginali, osservando l'impatto dell'immissione di un'ulteriore unità di traffico nel sistema in esame

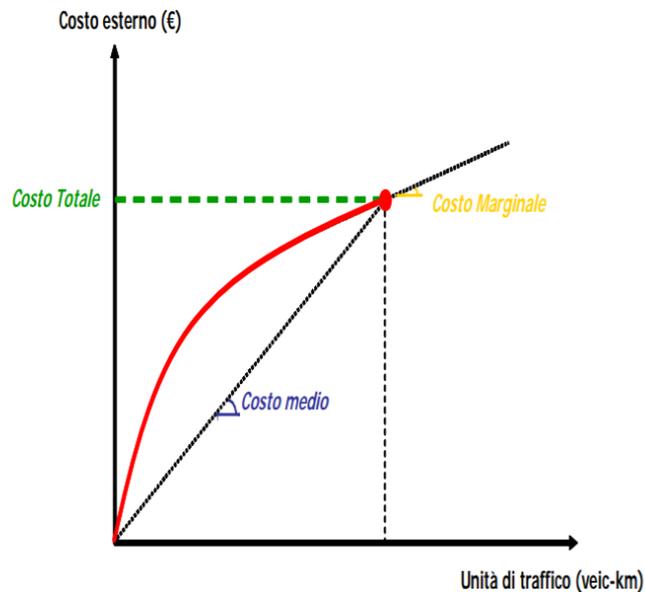


Figura 1.2: Rappresentazione grafica delle diverse tipologie di costi esterni [fonte: “i costi esterni della mobilità. Tipologie e metodi di stima”, Mariano Gallo, TeMa vol 0 num 0 Dicembre 2007]

Per riuscire a risolvere il problema delle esternalità di natura ambientale sempre la teoria economica suggerisce più soluzioni. Si tiene a sottolineare come venga inteso non solo un ambiente fisico, ma ambiente del sistema, includendo anche effetti che un guidatore ha su un altro. La principale tra esse è la creazione di un'imposta Pigouviana (da nome dell'economista inglese Arthur Cecile Pigou), cioè la creazione di un'imposta che rispecchi esattamente il valore del costo marginale dell'esternalità prodotta. Di conseguenza la curva dei costi marginali assumerebbe la forma della curva complessiva (in verde in figura 1.1) e andrebbe a fra ridurre il volume di traffico prodotto. I ricavi di tale tassazione poi andrebbero redistribuiti o alla popolazione tutta, nello specifico andando a finanziare interventi migliorativi alle infrastrutture o ad altre iniziative simili. Contrapposta a questa proposta potrebbe esserci la creazione di sussidi per chi riuscisse a dotarsi di mezzi meno inquinanti o che in generale procurassero esternalità positive al sistema. I due provvedimenti verrebbero sicuramente accolti in maniera differente dagli attori nel sistema, ma la creazione di sussidi avrebbe alcune problematiche annesse; prima di tutto la creazione di sussidi porterebbe un aumento (seppur minimo) di utenti sulle reti stradali (secondo la logica per cui un aumento delle tasse lo diminuirebbe) e pur nell'ipotesi che questi veicoli siano a emissioni 0, comunque creerebbero altre esternalità negative, come ad esempio un aumento della congestione. In secondo luogo, l'applicazione di un prelievo fiscale è un provvedimento che non richiede coperture, ovvero prelievi fiscali da altri settori, mentre un sussidio sì.

A non rendere facile però l'applicazione di una tassa pigoviana è la quantificazione dell'effetto delle esternalità. Rilevare, quantificare ed internalizzare tali effetti è una delle sfide dell'unione europea, come riportato sia nel "LIBRO BIANCO TABELLA DI MARCIA VERSO UNO SPAZIO UNICO EUROPEO DEI TRASPORTI - PER UNA POLITICA DEI TRASPORTI COMPETITIVA E SOSTENIBILE" [3] sia come affrontato nella conferenza del 17 dicembre 2018 all' *EU Conference Centre Albert Broschette* alla presenza del commissario europeo ai trasporti Violeta Bulk (quest'ultima tenutasi a conclusione dell'Anno della multi-modalità europea) e non solo. I primi documenti che sottolineano la preoccupazione internazionale per il tema sono l'Agenda 21 (United Nations 1992) e il V Programma d'azione Ambientale (UE 1993), mentre nel 1997, con il Protocollo di Kyoto, i paesi della CE, hanno concordato come obiettivo la riduzione dei gas serra, influenzando direttamente gli sviluppi delle politiche di trasporto, verso opzioni a basse emissioni (il Libro Bianco è solo una delle tante iniziative dell'Unione per lo sviluppo di mobilità sostenibile).

Con lo scopo di definire correttamente queste esternalità, la loro natura, il loro corretto ambito e, più avanti nel lavoro di tesi, le metodologie per una quantificazione efficace, si è scelto di basarsi sullo studio "SUSTAINABLE TRANSPORT INFRASTRUCTURE CHARGING AND INTERNALISATION OF TRANSPORT EXTERNALITIES" [ARNO SCHROTEN (CE DELFT), HUIB VAN ESSEN, LISANNE VAN WIJNGAARDEN (CE DELFT), DANIEL SUTTER (INFRAS) E ELLA ANDREW (RICARDO)] commissionato dalla Comunità Europea e pubblicato a Maggio 2019 dal centro studi DELFT nell'ambito del sopracitato anno della multi-modalità europea. Questo studio fornisce una panoramica aggiornata e esaustiva sia sulle principali esternalità di tutte le modalità di trasporto, dall'autostrada al trasporto aereo, sia una valutazione delle loro quantificazioni economiche e una valutazione ulteriore sul loro grado di internalizzazione nelle varie tariffe.

Queste valutazioni assumono rilevanza nel dibattito europeo grazie alla nuova direzione intrapresa dall'Unione nel campo della regolamentazione dei trasporti, e nello specifico, nella formulazione delle normative europee per la tariffazione autostradale. Direzione che si basa su due principi "caposaldo" delle nuove regole, il "*Polluter-Pays Principle*" e lo "*User-Pays Principle*"; per il primo l'OECD [4] riporta la seguente definizione:

---

*"The polluter-pays principle is the principle according to which the polluter should bear the cost of measures to reduce pollution according to the extent of either the damage done to society or the exceeding of an acceptable level (standard) of pollution."*

*“Il polluter-pays principle è il principio secondo il quale l'inquinatore dovrebbe sostenere i costi delle misure per ridurre l'inquinamento secondo l'estensione o del danno fatto alla società o del superamento di una certa soglia accettabile (standard) d'inquinamento”*

---

Mentre il secondo viene definito dall'OECD come:

---

*“The user-pays principle is the variation of the polluter-pays principle that calls upon the user of a natural resource to bear the cost of running down natural capital.”*

*“Lo user-pays principle è una variazione al principio di polluter-pays che richiede a colui che utilizza risorse naturali di sostenere i costi dell'esaurimento di capitale naturale”.*

---

Risulta evidente come l'applicazione di questi due principi crei, per l'appunto, la necessità di valutare quali siano effettivamente le esternalità al fine di andare a calcolare efficacemente la quota da applicare a chi transita sulla rete stradale. Nel calcolare la quota si dovrà tenere conto sia dei costi direttamente sostenuti dal guidatore (come consumo di carburante, consumo della vettura, accesso all'infrastruttura autostradale e costi affini), che sono definibili come costi privati, sia dei costi sociali, ossia costi che l'infrastruttura e il suo utilizzo comporta alla società. La differenza di queste due entità è ciò che si va a definire come esternalità del trasporto stradale.

La necessità di intervento regolatorio per l'internalizzazione di questi costi “esclusi” nasce dal fatto che, senza il corretto incentivo a tenerne conto, l'utente terrebbe in considerazione solo parte dei costi sociali nella scelta del trasporto, andando a selezionare un'alternativa sub-ottimale, come nell'esempio in FIG.1. Inserire questi nuovi elementi nelle considerazioni del guidatore, assumendone il principio di razionalità (cioè che scelga l'alternativa che massimizzi la sua utilità personale) può far variare le scelte finali di trasporto, e quindi influenzare l'intera rete di trasporto intermodale italiana e europea.

Si possono riconoscere 3 classi di esternalità, con caratteristiche peculiari in fase di valutazione economica:

Classe	Costi Sociali	Costi Esterni
Costi di congestione e scarsità	Tutti i costi creati a utenti e società causati da un alto traffico su un'infrastruttura con capacità limitata.	Tutti i costi aggiuntivi causati agli altri guidatori e società, esclusi quelli ripartiti sul guidatore stesso.
Costi di incidente	Tutti i costi diretti e indiretti di un incidente, al guidatore e agli altri utenti dell'infrastruttura.	Parte dei costi sociali non sono valutati anticipatamente nei rischi personali e collettivi e che non sono coperti da assicurazioni (ad esempio un appuntamento perso a causa di un incidente autostradale non causato direttamente).
Costi ambientali	Tutti i danni arrecati all'ambiente (si considerano anche elementi come l'inquinamento acustico o i danni alla biosfera)	Parte di questi costi sociali non sono tenuti da conto nelle varie tariffe

Tabella 1.1: classificazione delle esternalità nel trasporto su strada [fonte: "Handbook on the external costs of transport", CE DELFT, maggio 2019]

Si proseguirà ora con una panoramica per presentare le principali cause di questi costi, che poi verranno riprese nel secondo capitolo, andando a mostrare il metodo utilizzabile per la loro quantificazione.

## 1.2. Esternalità nel trasporto stradale

### 1.2.1. Costi dovuti ad incidente

Il tema dei costi legati agli incidenti è delicato da trattare, poiché per ogni incidente va trattato anche il suo eventuale rimborso assicurativo, che per definizione va ad internalizzare alcuni elementi di disagio che il sinistro causa al guidatore che alle altre persone coinvolte. Si possono riconoscere 5 diverse componenti che compongono queste particolari costi:

- *Costi per l'uomo*: Un'approssimazione monetaria di tutto il dolore e sofferenza legata ad uno schianto stradale, sia di recupero in caso di infortunio, sia di lutto in caso di fatalità. Il tema spinoso è che in realtà l'utente che intraprende una tratta in un veicolo su gomma è consapevole del rischio incidente e quindi lo internalizza; ma allo stesso tempo non può tenere conto del rischio di costo umano nei confronti di un potenziale guidatore coinvolto nel sinistro. Il calcolo delle esternalità quindi si basa sul calcolo, per ogni guidatore, dei danni "umani" per gli altri coinvolti.
- *Costi medici*: A differenza dei costi per l'uomo, i costi medici sono stimati a partire dal valore di mercato, e riguardano trattamenti, centri di riabilitazione e fisioterapia, medicine, lastre e affini. Essi coprono un lasso temporale che si muove dall'impatto fino al pieno recupero, o in caso di fatalità, al decesso. In molti casi però queste necessità sono internalizzate nei rimborsi assicurativi, o per chi ne usufruisce, nelle assicurazioni mediche. Nello studio analizzato (*Handbook on the external costs of transport*", CE DELFT, maggio 2019) viene stimato un 50% di internalizzazione, dovuto possibilità di avere o meno assicurazioni complete e grado di responsabilità nel sinistro (e quindi di rimborso).
- *Costi amministrativi*: Rappresentano tutti i costi di polizia, vigili del fuoco e di intervento, esclusi i costi legati all'intervento medico. Servono ad intervenire in loco in caso di emergenze. Inoltre, vanno aggiunti a questi i costi legati ai processi legali e civili, ai costi di transazione nelle cause legali tra le entità incidentate e costi di natura affine. Anche queste spese sono parzialmente coperte dai rimborsi assicurativi, soprattutto per le componenti di risarcimenti legali e affini, quindi nello studio osservato si è stimata una componente pari al 30% considerabile come esterna.

- *Production loss*: Questa componente si lega al fatto che, successivamente ad un incidente, le persone coinvolte potrebbero o avere difficoltà a ritornare alle loro attività lavorative o, in caso di fatalità, mai tornare. Questo può quindi causare una perdita di produzione a causa della riduzione di Ore Lavorative e dei costi di rimpiazzo delle risorse umane. Anche qui si assume una quota di internalizzazione pari al 45%, considerando il resto come esternalità.
- *Danni materiali*: Tutti i costi legati a danni alle automobili o alle infrastrutture fisiche. Questi costi vengono completamente rimborsati dalle assicurazioni.
- *Altri costi residuali*: Costi legati a traffico causato o inquinamento in seguito a roghi accidentali; nel report non vengono quantificati nell'ambito di costi dovuti ad incidente, poiché vengono ripresi più avanti nella classificazione.

Un'ulteriore difficoltà nel tema della classificazione di questi costi riguarda la differenza tra gli incidenti effettivi e rilevati, differenza che varia anche in base al danno riportato, poiché la probabilità che l'incidente si risolva in maniera privata aumenta laddove il danno sia minimo. Per stimare questa differenza il report riprende la valutazione svolta dallo studio "Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment", HEATCO, 2006". Nell'ambito della valutazione dei rischi di incidente viene riportata un'utile tabella con dei coefficienti validi per "rendere più veri" i dati statistici raccolti dall' *EU's Community Road Accident Database (CARE)*. A questa tabella poi è stata inserita una correzione solo legata alla casistica dell'incidente fatale, che nel HEATCO stima non segnalato il 2% delle volte ma lo studio lo riduce allo 0%, ipotizzando che nessuna morte alla guida possa passare "sottotraccia".

	Incidenti fatali	Incidenti con feriti gravi	Incidenti con infortuni lievi
<b>Mezzi con 4 ruote</b>	1.00	1.25	2.00
<b>Motociclette</b>	1.00	1.55	3.20

Tabella 1.2: Coefficienti per il calcolo delle casistiche di incidente non riportato [fonte: "Handbook on the external costs of transport", CE DELFT, maggio 2019; Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment", HEATCO, 2006"]

### 1.2.2. Costi dovuti all'inquinamento dell'aria

Spesso si tende a identificare come danni per aria inquinata tutti quei danni alla salute delle persone, come problemi asmatici o semplicemente la respirazione di polveri sottili. In questo discorso però si vanno a tralasciare elementi come i danni fisici alle strutture, perdite di raccolti e altri danni al sistema, non solo alle persone.

I danni da inquinamento dell'aria si possono suddividere in:

- *Danni per la salute*: dovuti all'inalazione di particolati e di altre sostanze nocive, possono comportare problemi respiratori e cardiovascolari. Come analizzato prima, ogni tipo di malattia, come in questo caso, può portare a costi di cure varie, perdite di produzione e eventualmente morte.
- *Perdite di coltivazioni*: un effetto collaterale dell'inquinamento atmosferico sono le temute piogge acide, che come primo danno, possono causare perdite di produzioni agricole
- *Perdite di Biodiversità*: Le piogge acide possono poi causare una forte acidificazione del suolo, che sul medio-lungo periodo possono portare a perdite in termini di Flora e Fauna
- *Danni a edifici e infrastrutture*: un forte aumento dell'inquinamento dell'aria può causare due tipi di danni fisici alle strutture materiali; anzitutto il danneggiamento delle superfici causate dal classico "smog", comunemente evidente nello "scurimento" delle facciate dei palazzi. L'effetto secondario invece si riferisce alla corrosione delle superfici causate da piogge acide.

### 1.2.3. Costi di cambiamento climatico

Altra componente esterna difficilmente quantificabile nelle scelte di trasporto è il *Climate Change*; se da un lato vediamo una grande mobilitazione giovanile e presa di coscienza comune (rappresentata dall'emblema della dodicenne svedese Greta Thunberg), dall'altro non si registrano notevoli passi avanti nel calcolo dell'impatto e nell'inserimento di esso nelle varie cause di emissione di Gas Serra.

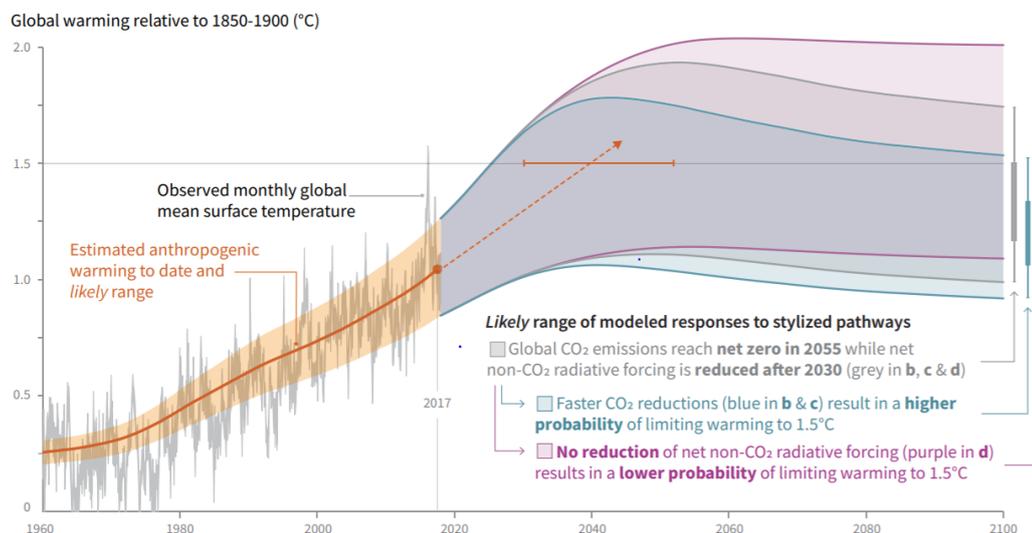


Figura 1.3: Previsione del riscaldamento della superficie terrestre [fonte: "Handbook on the external costs of transport", CE DELFT, maggio 2019]

A dare una definizione precisa all'ambito di questo fenomeno, e di conseguenza anche alle dimensioni, da decenni contribuisce l'IPCC (*The Intergovernmental Panel on Climate Change*), un organo delle nazioni unite che ha come scopo quello di fornire dati scientifici aggiornati ai governi del mondo, pubblicando paper annuali sulle principali scoperte o valutazioni in tema ambientale.

Nella versione del rapporto del 2018 per Policy Maker [5] si possono trovare sia le valutazioni globali sull'andamento dell'emissione di gas serra sia i principali effetti che questi stanno producendo nel mondo; le osservazioni generali più interessanti riguardano il fatto che si stima un aumento di 1° centigrado della temperatura media, causato nell'ultimo secolo dall'era industriale (con un intervallo di confidenza 0.8/1.2), con la previsione di arrivare a 1.5° entro il 2052, continuando con le attuali contromisure. Come riportato in Figura 1.3, le politiche adottate per le riduzioni di CO<sub>2</sub> possono avere effetti diversi su queste stime.

Acquista quindi importanza capire quali possano essere le conseguenze del “lasciare le cose come sono” in termini di regolamentazione; i principali rischi associati a questo trend sono:

- **Innalzamento del livello del mare:** aumenti delle massime di temperatura in zone del pianeta come l'artico o zone limitrofe causano lo sversamento in mare di milioni di tonnellate di acqua dolce negli oceani, causandone l'irreversibile innalzamento. Di conseguenza larghe zone pianeggianti verrebbero inondate, andando così a creare danni a campi coltivati e zone abitate, senza considerare i costi legati al mettere in sicurezza zone costiere.
- **Crollo nella produzione agricola:** un innalzamento di temperature, e un aumentare di fenomeni estremi come grandinate fuori stagione, piogge intense, tifoni e uragani può fortemente danneggiare la produzione agricola, sia in termini di quantità che di qualità della produzione. Problemi come questi potrebbero manifestarsi in relativo poco tempo, e potrebbero avere come effetto collaterale importanti flussi migratori verso zone di “nuova fertilità”.
- **Problemi per la salute umana:** Un innalzamento delle temperature può comportare a più ricoveri, e quindi ad un appesantimento del sistema sanitario generale. I danni principali si possono ricondurre a insolazioni, ustioni, malattie diffuse da parassiti come la malaria e malattie affini, e danni alle persone causati dai già menzionati fenomeni estremi.
- **Danni a edifici:** Uragani, grandinate e fenomeni affini possono produrre danni a edifici privati e pubblici, con particolare interesse per monumenti e strutture, datate

che in caso di fenomeni naturali con gravità elevata possono crollare o essere resi inagibili (nei casi peggiori anche con vittime e feriti)

- **Siccità e problemi legati ai rifornimenti di acqua dolce:** Lo scioglimento dei ghiacciai e superfici innevate, lunghi periodi di siccità e danni all'ecosistema, possono portare a gravissimi problemi alle riserve disponibili di acqua dolce, con danni alle persone e alla produzione nelle zone più colpite.
- **Impatti su biodiversità e ecosistema:** il Climate Change può riguardare questi temi in varie ottiche; anzitutto lo sversamento di acqua dolce nei mari ne può variare salinità e temperatura, poi l'aumento di temperatura e dei range estremi può affliggere in modo negativo flora e fauna in alcune zone del mondo. Noti sono i fenomeni di desertificazione e tundrazione che “rubano” aree alle varie biodiversità.

#### 1.2.4. Costi dei danni da inquinamento acustico

I riferimenti all'inquinamento acustico si sono moltiplicati nell'ultimo decennio, e questo a causa dei forti fastidi che esso crea alle abitazioni nei dintorni delle autostrade e strade in generale percorse da alti volumi di traffico. Il fenomeno si svolge principalmente tra due attori: il guidatore e il residente, con il primo che crea rumore e il secondo che ne viene disturbato, con particolare fastidio nei momenti dei pasti e nelle ore serali. A fronte di questa meccanica si può riconoscere una problematica crescente nel lungo periodo alla luce dei trend di aumento dell'urbanizzazione, anche se parzialmente controbilanciata dai progressi nella riduzione dei rumori dei motori.

Nel quantificare i costi legati all'inquinamento acustico si deve partire dalla soglia di rumore (definibile come suono non volontariamente ascoltato di varia intensità e durata che può comportare problemi fisici o psicologici), poiché esistono molteplici studi che analizzano i danni arrecati; lo studio di riferimento inoltre evidenzia come esista anche un problema legato alle rilevazioni di zone ad alto o basso rumore. Le mappe di rumore EEA [6] si hanno come base rilevazioni a 55 Decibel, mentre nei report è stata riconosciuta come scelta migliore partire da 50 Decibel, minimizzando il rischio di “sottovalutare” i danni causati.

Per la classificazione dei danni invece è stata proposta una divisione in danni alla salute e danni per disturbo; mentre i primi sono i problemi fisici che possono sorgere a seguito di una prolungata esposizione a forti rumori (come Ipertensione, Infarti, Demenza e altre malattie cardiache [7]) la seconda categoria è stata creata per “raccolgere” tutti i danni residuali non causati direttamente da malattie. Un esempio, per essere più chiaro, può essere il caso dell'insonnia causata dai rumori del traffico notturno; sebbene sia possibile quantificare un danno fisico causato da questa patologia, si andrebbe ad ignorare una sorta di perdita di produzione causata dallo stato affaticato della persona. Essa infatti potrebbe essere affaticata e non svolgere al meglio il suo lavoro, perdere una commessa importante o arrecare danni a terzi.

### 1.2.5. Costi di congestione stradale

Il fenomeno della congestione stradale è purtroppo ben noto a chiunque abbia affrontato una lunga tratta sulla rete autostradale o abiti in zone urbane particolarmente trafficate, ma il concetto di costo associato può essere meno chiaro da intuire; per congestione si intende un rallentamento della velocità dovuto alla presenza di altre macchine sulla tratta. In questo modo il costo nasce dall'allungamento del tempo impiegato per la percorrenza (tempo di viaggio) al quale si può attribuire un costo.

Le cause delle congestioni, a parte quelle causate da eventi occasionali come incidenti o danni all'infrastruttura, sono da ritrovare nella relazione Numero di auto/Velocità: fino a

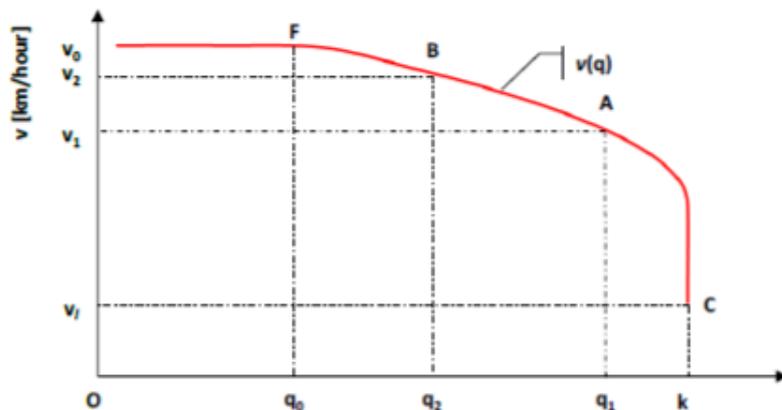


Figura 1.4: Rappresentazione grafica della relazione Velocità/Flusso, o funzione di velocità. [fonte: "Handbook on the external costs of transport", CE DELFT, maggio 2019]. La teoria dei trasporti inoltre esplora un altro aspetto: quando la velocità rallenta ulteriormente a causa del traffico, si crea un forte rallentamento sul tratto antecedente, che va a limitare il numero di macchine nel tratto successivo, che a quel punto sono libere di riprendere a maggiore velocità il proprio percorso. Queste meccaniche porterebbero ad una modifica sia del grafico (assumendo una nuova forma a U orizzontale) che dei valori riportati nel report. La scelta di optare per una semplificazione di questo fenomeno è stata comunemente riportata nel report, e evidenziata come non inficiante dei risultati e delle evidenze ottenute.

che il numero di mezzi è molto inferiore alla capacità massima della struttura, esiste la possibilità di percorrere la tratta al massimo della velocità consentita, per poi ridurla all'aumentare dell'affollamento.

Per la quantificazione di queste esternalità ci si appoggerà quindi alla stima del tempo perso in coda sulla rete stradale, basandosi su uno report prodotto dal dipartimento dei trasporti britannico [8]. Per adattare poi i risultati e i valori su tutta Europa si è proceduto a riproporre i calcoli, andando a differenziare per PIL pro CAPITE per ogni paese preso in considerazione. Lo scopo del calcolo era ottenere un generico costo €/ora per quantificare l'impatto del ritardo, ma, come visto in precedenza, a percorrere le strade possono essere mezzi diversi, con delle ovvie differenze anche in termini di costo associato; chi intraprende un viaggio in pullman avrà ovviamente un costo associato differente (e minore) di chi si sposta con un mezzo leggero, o di chi trasporta merce con mezzi pesanti. Per venire incontro a queste differenze rilevanti lo studio ha prodotto un

assessment dei costi legati ai costi associati a viaggi brevi/lunghi (maggiore o minore dei 32km) e al trasporto mezzi.

Valore per passeggeri del tempo in congestione (€/h)				
	Breve Distanza		Lunga Distanza	
	Business	Personale	Business	Personale
<b>EU28 Aggregate</b>	13,3	6,1	16,3	6,1
<b>Austria</b>	16,9	7,8	19,8	7,8
<b>Belgium</b>	15,6	7,2	21,2	7,2
<b>Bulgaria</b>	6,5	3,0	8,5	3,0
<b>Croatia</b>	8,0	3,7	9,6	3,7
<b>Cyprus</b>	11,0	5,1	12,5	5,1
<b>Czech Republic</b>	11,6	5,4	14,0	5,4
<b>Denmark</b>	16,4	7,6	20,7	7,6
<b>Estonia</b>	10,0	4,6	12,1	4,6
<b>Finland</b>	14,5	6,7	20,6	6,7
<b>France</b>	13,8	6,4	15,7	6,4
<b>Germany</b>	16,4	7,6	20,0	7,6
<b>Greece</b>	9,0	4,1	11,4	4,1
<b>Hungary</b>	9,0	4,1	11,7	4,1
<b>Ireland</b>	24,2	11,2	28,3	11,2
<b>Italy</b>	12,8	5,9	16,7	5,9
<b>Latvia</b>	8,6	4,0	10,6	4,0
<b>Lithuania</b>	10,0	4,6	12,1	4,6
<b>Luxembourg</b>	34,2	15,8	38,9	15,8
<b>Malta</b>	12,5	5,8	15,3	5,8
<b>Netherlands</b>	16,9	7,8	22,2	7,8
<b>Poland</b>	9,1	4,2	10,4	4,2
<b>Portugal</b>	10,3	4,8	12,4	4,8
<b>Romania</b>	7,7	3,6	8,8	3,6
<b>Slovakia</b>	10,2	4,7	13,4	4,7
<b>Slovenia</b>	11,0	5,1	13,2	5,1
<b>Spain</b>	12,1	5,6	15,0	5,6
<b>Sweden</b>	16,4	7,6	19,6	7,6
<b>United Kingdom</b>	14,3	6,6	17,3	6,6

Tabella 1.3: Valori del tempo in congestione €/h per traffico passeggeri, differenziati in base a motivi di trasporto e distanza [fonte: “Handbook on the external costs of transport”, CE DELFT, maggio 2019]

Valore per traffico merci del tempo in congestione (€/h)		
	Merci (€/ora per tonnellata)	Autista del mezzo (€/hr)
EU Aggregate	1,6	17,6
Austria	2,1	22,5
Belgium	1,1	33,4
Bulgaria	0,7	8
Croatia	1,5	13,2
Cyprus	0,8	10,6
Czech Republic	1,4	10,2
Denmark	2,0	21,9
Estonia	1,1	13,3
Finland	2,6	19,3
France	1,6	29,8
Germany	2,0	20,9
Greece	1,9	11,9
Hungary	1,4	9,6
Ireland	1,4	32,3
Italy	1,4	28,1
Latvia	1,1	11,4
Lithuania	1,1	8,9
Luxembourg	2,7	28,2
Malta	1,7	19,5
Netherlands	1,7	22,5
Poland	1,4	10
Portugal	1,8	13,2
Romania	0,8	9
Slovakia	1,2	11,3
Slovenia	1,8	13,1
Spain	1,8	19,5
Sweden	2,4	21,8
United Kingdom	1,9	19

Tabella 1.4: Valori del tempo in congestione €/h per trasporto merci [fonte: “Handbook on the external costs of transport”, CE DELFT, maggio 2019]

#### 1.2.6. Costi causati dai danni ambientali

Il trasporto in generale, e specialmente il trasporto su gomma, ha, come illustrato effetti su molti aspetti del “sistema ambiente” con possibili danni a persone, clima e inquinamento. Gli effetti sull’ambiente non si riducono solo a danni “indiretti”, solo a causa delle emissioni dei mezzi, ma anche la realizzazione stessa infrastruttura può danneggiare gli ambienti nei dintorni; come danni di questo tipo si riconoscono:

- **Perdita ambientale:** le superfici stradale richiedono spazi dove essere costruiti, e la loro realizzazione di conseguenza sottrae spazio all' habitat e quindi a flora e fauna.
- **Frammentazione dell'ambiente:** la realizzazione di strade crea anche separazioni degli ambienti; basti pensare a una strada boschiva, che separa la superficie e che quindi può creare il rischio per gli animali, sia per l'attraversamento che per la separazione vera e propria, creando alla fauna problemi di procacciamento del cibo o alle piante per la crescita e riproduzione
- **Danni visivi:** l'intrusione visiva di strutture di trasporto come autostrade e cavalcavia possono causare danni irreparabili ai panorami, soprattutto in paesi che, come l'Italia, fanno anche del turismo paesaggistico il proprio punto di forza. Nonostante non danneggi l'habitat direttamente (motivo per cui non verrà quantificato nel successivo capitolo) è innegabile che danni del genere esistano e che possano essere irreversibili.

### 1.3. Quadro normativo per la regolamentazione del trasporto autostradale

La necessità di una regolamentazione a livello europeo diventa dunque evidente. L'assenza di una politica di gestione di tale fenomeno causerebbe i gravi danni che in precedenza sono stati elencati nel dettaglio.

È proprio per scongiurare questa ipotesi che l'Unione Europea si sta focalizzando con varie iniziative nello sviluppo di quella che si può definire una mobilità sostenibile. Gli sforzi dell'UE, sin dai tempi della sua fondazione, hanno sempre avuto come scopo quello di raggiungere una comune mobilità europea, ritenendola alla base della libera circolazione del cittadino; e questi sforzi hanno portato ad ottimi risultati, poiché è stata documentata una crescita continua e complessiva del settore del trasporto europeo, stradale e non. Ma a seguito di questo sviluppo del mercato sono aumentate anche le emissioni, i danni ambientali, e in generale tutte quelle componenti negative relative al trasporto su gomma.

La presa di coscienza ufficiale arriva prima nel 2001 con la pubblicazione di un nuovo "libro bianco sui trasporti", e soprattutto nel 2006 con la redazione di un bilancio intermedio del programma di azione europeo per la sicurezza stradale [9]. Di seguito ne viene riportato uno stralcio, dalle conclusioni, che denota una consapevolezza aumentata e una svolta per intraprendere un piano d'azione condiviso:

---

*“Globalmente, la sicurezza stradale migliora nell’Unione europea, anche più rapidamente che in passato, ma non in modo uniforme. In particolare, i progressi registrati restano insufficienti e persistono gravi carenze. Esistono numerosi progetti e nessun settore è trascurato: le infrastrutture, il comportamento dei conducenti, i veicoli. L’Unione, gli Stati membri e le altre parti interessate, depositarie della “responsabilità condivisa”, devono fare di più e meglio per conseguire l’obiettivo ambizioso approvato collettivamente. Di conseguenza, la Commissione prenderà in considerazione misure integrative nell’ambito del riesame intermedio del Libro bianco sui trasporti.”*

---

Ad oggi gli sforzi dell'unione europea sono del tutto puntati, in ambito dei trasporti, ad ottenere migliori condizioni di sostenibilità e in generale migliori impatti sull'ambiente. A testimonianza di questo si può prendere in esame il più recente documento sulle politiche dell'unione europea sulle politiche di trasporto [10]:

---

*“La ricerca su forme di trasporto efficienti dal punto di vista dell’uso delle risorse e rispettose dell’ambiente svolge un ruolo di primo piano nella politica dei trasporti dell’UE. Realizzare «trasporti intelligenti, verdi e integrati» è una delle grandi sfide da superare con il programma di finanziamento di progetti di ricerca «Orizzonte 2020» per il periodo 2014-2020, per garantire che l’Europa resti all’avanguardia dei progressi tecnologici nel settore.”*

---

Provvedimenti cardine di questo nuovo percorso legislativo sono state la revisione della direttiva europea 1999/62/EC, cioè della cosiddetta normativa sulle *Eurovignette*, e la direttiva europea sulla tassazione energetica del 2003 (2003/96/CE) che ha permesso di sviluppare un piano europeo per la tassazione dei combustibili e dell’elettricità.

Il fulcro di queste due revisioni è stato quello di creare strumenti adatti all’internalizzazione dei costi esterni, una revisione dei pedaggi sui veicoli pesanti e delle tasse sui carburanti, necessari alla distinzione dei vari elementi; i costi legati alla congestione, agli incidenti e più in generale legati all’utilizzo dell’infrastruttura andranno inseriti nei pedaggi, per permettere una discriminazione geografica e temporale, mentre i danni creati da gas serra devono essere legati al combustibile data la loro natura globale. Per avere ora una visione più approfondita si presenterà di seguito il quadro normativo creato da questi due importanti provvedimenti, per verificare quale sia la situazione attuale e gli spazi per suggerire un’ulteriore implementazione, oltre a quella già in atto.

### 1.3.1. Normativa Eurovignette

Ad un primo approccio al tema sorge spontaneo chiedersi perché esista la necessità di tassare il sistema di trasporto su gomma. I 3 principali scopi di tassazione sui trasporti sono:

- *Necessità di finanziamento*: i ricavi di queste tariffazioni possono essere usati per coprire i costi dell'infrastruttura. Questo metodo è ritenuto cruciale per trasferire la competenza del pagamento dal cittadino indiscriminato direttamente a chi utilizza la rete. Oltretutto questa raccolta di capitale viene riconosciuta come necessaria per stimolare investimenti privati nel rinnovamento e realizzazione di infrastrutture
- *Necessità di regolamentazione del traffico*: anche per i disagi creati dalle concessioni autostradali visti prima, la possibilità di tariffazione della rete è valutata come un efficace modo di gestione sia su tratti autostradali che, soprattutto su tratti urbani
- *Necessità di creare un segnale di prezzo chiaro e comprensibile*: per rispondere alla necessità di internalizzazione di costi non percepiti, la tariffazione stradale è l'unica via percorribile; offrire queste informazioni con un prezzo chiaro e univoco è un requisito per la scelta efficiente del singolo.

Le norme europee prevedono come la regolamentazione delle tariffe autostradali sia di competenza dei singoli Stati membri e di conseguenza non è stata prevista una normativa unica che regolamentasse in modo completo questo tema. Anche per questo motivo la comunità europea con la normativa *Eurovignette* ha previsto dei paletti su cui poi far decidere i singoli stati; Quello che però fa la normativa è stabilire dei principi fondamentali per le tratte europee per ottenere una maggiore armonia [11].

Già dalla prima stesura la normativa permetteva la scelta tra 2 diversi sistemi di tariffazione, ossia una tariffazione basata sul tempo (vignetta) ed una tariffazione basata sulla distanza o area (il classico pedaggio).

#### *Vignette – Bolli a tempo*

La normativa ha permesso la creazione di bolli per certi periodi di accesso al network autostradale, come degli abbonamenti, per settimana, per mese e per anno. Il sistema varia paese per paese sia in prezzo che in modi di applicazione ma il vantaggio comune di questo sistema è la relativa semplicità di attuazione, e la sua efficacia. Di contro, vista la sua semplicità, l'approccio a tempo nasconde non poche controindicazioni [12]; le tariffe a tempo non garantiscono una correlazione precisa con l'utilizzo delle strade, non differenziandosi in base alla frequenza d'uso e alla distanza percorsa; un autotrasportatore che viaggerà sulla rete per 14 ore al giorno pagherà come un mezzo analogo che svolge un viaggio per meno ore. Questo diventa un ostacolo per la internalizzazione, o anche

solo per l'istituzione di incentivi che sostengano scelte ambientali. Anche volendo differenziare i bolli in base alle emissioni del mezzo infatti, il segnale fornito in relazione al prezzo delle automobili sarebbe quasi insignificante. Altro rischio rilevante è quello di creare discriminazione per gli utenti irregolari e per l'utenza degli stranieri in visita; la causa di questo rischio risiede nel fatto che la normativa non prevede un abbonamento per un minimo periodo di tempo da offrire, e quindi i paesi che lo offrono o ne aumentano in modo non proporzionale la tariffa o non prevedono abbonamenti "brevi", ma solo settimanali o più lunghi (pratiche bloccate nel 2012 in una comunicazione chiarificatrice della CE).

#### *Pedaggi in base a distanza o area*

La maggior parte degli stati membri ha istituito pedaggi o simili per l'accesso a tratti autostradali o ad altre strutture specifiche come ponti, tunnel o infrastrutture particolari di confine, come l'Oresund Bridge tra Svezia e Danimarca o il traforo del Monte Bianco tra Francia e Italia. I punti a favore di questa modalità sono l'utilizzo proporzionale in base ai chilometri e che, di conseguenza, non sono discriminatori per gli utenti occasionali. Oltretutto, la differenziazione in base alle performance ambientali e al danneggiamento della struttura risulta più efficace e più mirata, sia grazie al pagamento puntuale (cioè chi paga percorre una tratta specifica una volta), sia grazie al fatto che le tariffe autostradali risultano maggiori in termini di €/km, come si evince dai grafici di seguito riportati.

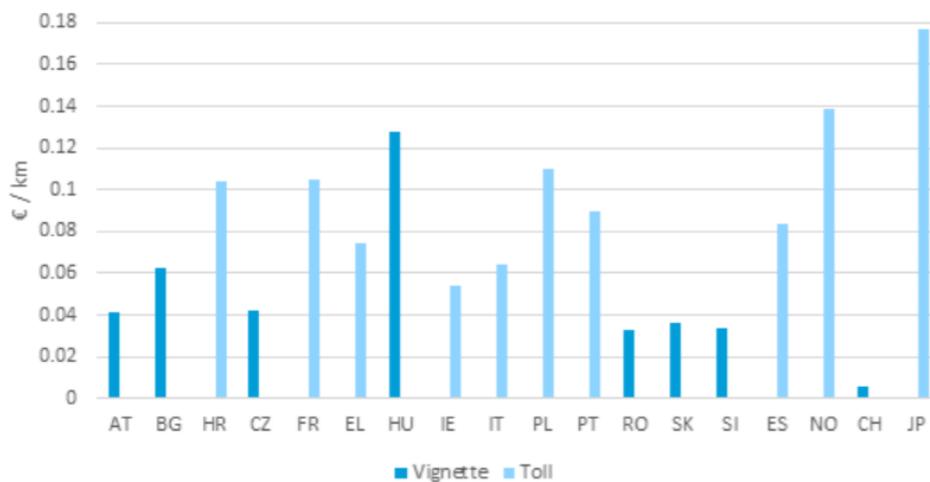


Figura 1.5: Vignette e Pedaggi, auto private, confronto corretto in base al potere di acquisto, [fonte: "Transport taxes and charges in Europe, An overview study of economic internalisation measures applied in Europe", maggio 2019 [13]]

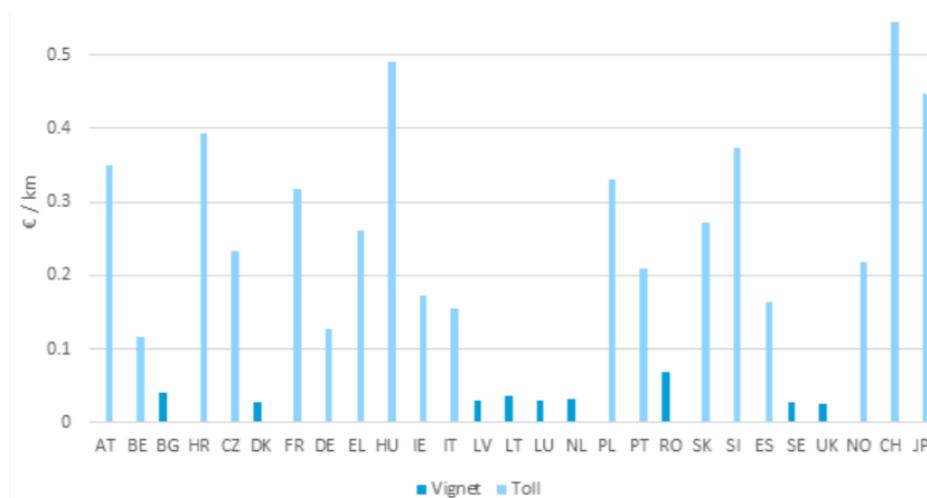


Figura 1.6: Vignette e Pedaggi, mezzi pesanti, confronto corretto in base al potere di acquisto, [fonte: “Transport taxes and charges in Europe, An overview study of economic internalisation measures applied in Europe”, maggio 2019 [13]]

Di contro l'utilizzo di strutture per il controllo e pagamento dei pedaggi può creare forti congestioni, specialmente in prossimità dei caselli, con conseguenti ritardi accumulati e danni ambientali; anche nel caso dell'adozione di misure di pedaggio elettronico il ritardo può essere notevole, oltre ai costi necessari per sviluppare e implementare soluzioni del genere. Infine, si potrebbero verificare effetti di “migrazione” del traffico verso strade non a pagamento o con costi minori [11].

Nel 2011 la normativa 1999/62/CE ha subito delle forti modifiche, spinte dalla preoccupazione per le emissioni e i relativi accordi per limitarle nel medio periodo; la precedente direttiva e la nuova modifica vertevano attorno al tema della differenziazione dei mezzi pesanti in termini di tariffazione nei trasporti autostradali. Andare a effettuare queste differenziazioni ha fatto sorgere dubbi sull'efficacia del provvedimento, poiché se da una parte un aumento della tassazione può avere l'effetto di diminuire i tempi di trasporto (a causa del minore numero di auto sulla rete), dall'altra si vuole evitare di paralizzare il commercio con tassazione vincolanti che abbattano i margini sulle attività produttive.

La normativa venne già modificata nel 2006, ma rimase il vincolo che proibiva di inserire nella tassazione una componente di costi esterni, che in questo modo venivano totalmente resi esternalità. Questo motivo portò ad una revisione della normativa nel 2011, (Direttiva 2011/76/EU) che introduce vari elementi interessanti:

- Anzitutto viene allargato il bacino di applicazione, non più solo la rete TEN-T di autostrade principali, ma anche tutto il resto delle reti autostradali degli stati membri

- Gli stati membri potranno decidere se applicare o dei pedaggi inclusivi o dei bolli temporanei d'accesso alla rete; solo in casi speciali quali ponti, tunnel e passi di montagna potranno essere applicati entrambi
- Deciso il sistema di tariffazione, questo andrà applicato a veicoli con peso superiore alle 3 tonnellate. Per limitare effetti negativi di una sovra tassazione i veicoli sotto le 12 tonnellate potranno però essere esentati sotto determinate condizioni, ma tali esenzioni andranno segnalate dagli stati membri alla commissione.
- Laddove si stabilisse l'utilizzo di pedaggi viene data la possibilità di differenziare in base all'orario, al giorno e alla stagione, con l'obbiettivo sia di diminuire che di regolare il traffico dei mezzi pesanti, andando per esempio a indirizzarli in slot temporali meno affollati per ridurre congestioni e incidenti.
- Laddove si stabilissero dei bolli d'accesso per il recupero dei costi dell'infrastruttura, la componente dei costi esterni potrà contenere solo tariffe legate all'inquinamento atmosferico e all'inquinamento acustico (in caso di tratti urbani). Per quanto riguarda i costi da congestione, si potrà andare a ridurli, invece che a internalizzarli, andando a gestire il traffico sul tratto con l'aumento dei pedaggi.
- I ricavi ottenuti da questo aumento delle tariffe andranno indirizzati in iniziative che rendano il trasporto più sostenibile; come definito nell'articolo 4 i ricavi allo scopo di "garantire lo sviluppo della rete dei trasporti nel suo insieme". Quindi, devono essere usati dal ministero dei Trasporti solo "a beneficio del settore dei trasporti", con la priorità di rendere i trasporti più sostenibili attraverso le seguenti misure: agevolare una tariffazione efficace; ridurre l'inquinamento dovuto al trasporto stradale; migliorare le prestazioni dei veicoli in materia di CO2 e di consumo di carburante; creare infrastrutture alternative per gli utenti dei trasporti e l'espansione della capacità attuale; ottimizzare la logistica; migliorare la sicurezza stradale; attuare parcheggi sicuri. Una delle iniziative richieste inoltre è l'utilizzo del 15% dei ricavi per il supporto finanziario alla struttura di rete TEN-T.

Le misure adottate non risultano però sufficienti ad assicurare l'efficienza della rete [14]; già solo alla lettura della proposta iniziale di modifica a monte del percorso legislativo si possono notare delle notevoli diminuzioni delle iniziative, figlie del dibattito parlamentare. Si va del tutto ad ignorare le componenti legate ai danni ambientali e ai danni da incidente, anche se su quest'ultimi è lecito estendere la valutazione adottata per i costi di congestione (meno mezzi, meno traffico, meno incidenti). Oltretutto la direttiva non obbliga l'adozione di tariffe che tengano conto delle esternalità in ogni stato membro né offre soluzioni per l'armonizzazione delle "charging policies" e delle tecnologie per la rilevazione dei vari metodi (dai classici caselli a quelli automatici che riconoscono la posizione dei bolli sulla macchina). La possibilità di esentare mezzi dai 3,5 alle 12

tonnellate ha portato un'ulteriore frastagliatura nel panorama, con 4 nazioni che adottano le cosiddette Eurovignette (Danimarca, Lussemburgo, Paesi Bassi e Svezia), il Regno Unito e la Germania che sfruttano questa opportunità. Senza citare il fatto che l'applicazione di tali tariffe agli altri mezzi su gomma non è minimamente citata all'interno della direttiva e lasciata alla discrezione del singolo stato. Tutto questo ha portato a un quadro molto variegato del trasporto su gomma nell'Unione; come si vede dall'immagine qui sotto, già nel 2016 vigevano 4 sistemi alternativi con forti differenze da mezzo a mezzo e da paese a paese.

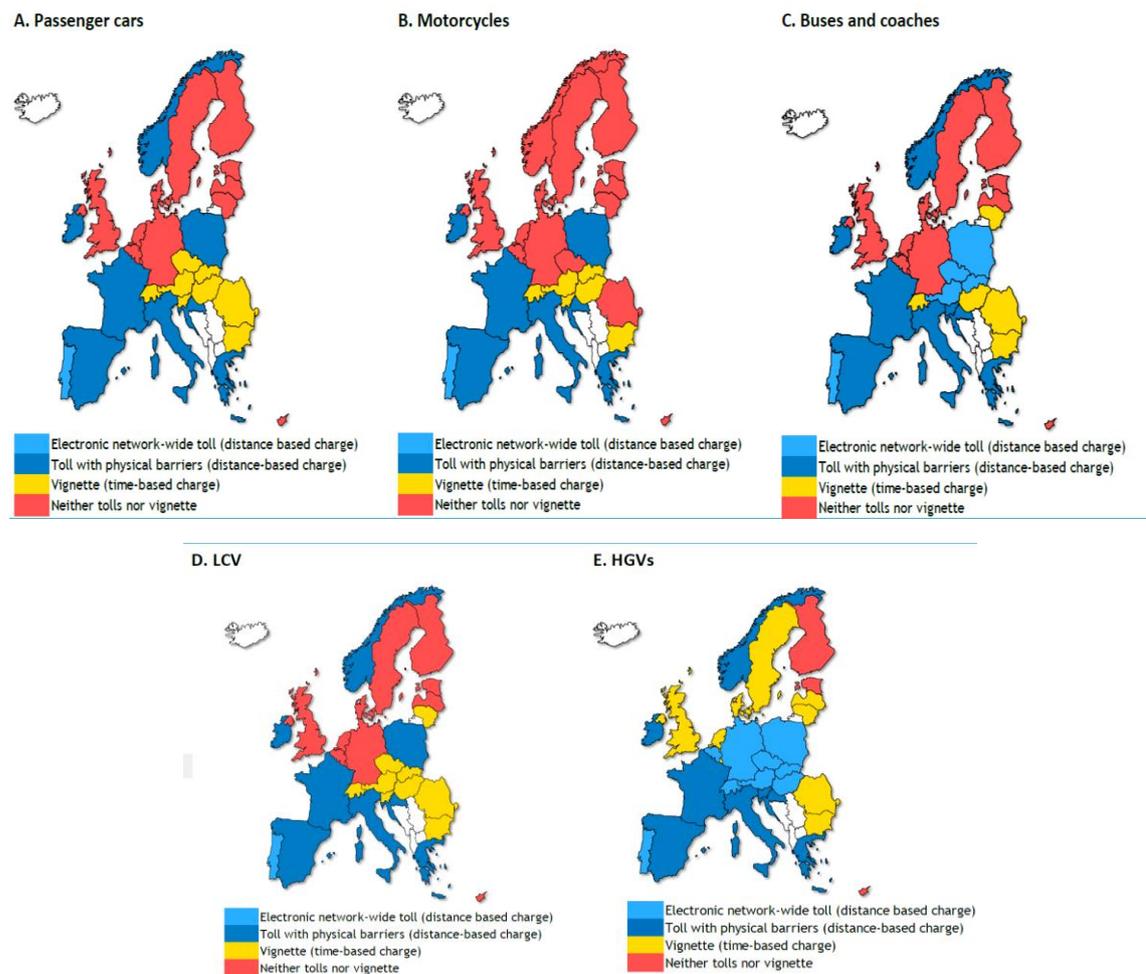


Figura 1.7: Metodi di *Road Charging* per i vari mezzi su gomma nel 2016 [fonte: “Transport taxes and charges in Europe, An overview study of economic internalisation measures applied in Europe”, maggio 2019]

Schemi di pagamento per le auto e gli LCV sono applicati in 17 paesi, di cui 9 si basano sulla lunghezza del tratto, e 8 hanno implementato misure time-based (*Vignette*) e in molti di questi anche le motociclette vengono conteggiate (solo in Repubblica Ceca, Norvegia e Romania sono esentate da pedaggi). Nell'ambito della norma vera e propria, invece, I

mezzi pesante vengono fatti pagare in base alla distanza in 17 stati, sia attraverso barriere fisiche (i classici caselli), come in Italia, Francia, Croazia e Spagna, sia sfruttando un riconoscimento elettronico come in Germania e Ungheria. Infine, i pullman e gli autobus circolano con pedaggi in 18 paesi, ma solo 5 sfruttano la normativa per applicare tariffazioni basate sul tempo.

La conseguenza di queste storture è di non dare un chiaro segnale all'utente, attraverso il prezzo, che diventa troppo variabile a seconda del paese che si attraversa (*inconsistent price signal*). Un segnale corretto e chiaro può portare ad una gestione più efficiente delle flotte, migliorando *Load Factor* e stimolando un cambio delle flotte stesse con modelli meno inquinanti, oppure optando per altri modelli di trasporto sulla lunga distanza. I soli incentivi governativi sull'acquisto o sul possesso di veicoli a basse emissioni si stanno dimostrando insufficienti nel forzare questo movimento verso la sostenibilità, poiché non sono collegati direttamente all'utilizzo effettivo del mezzo, non garantendo un vantaggio effettivo nei confronti dei mezzi già in circolazione (obsoleti ma meno costosi). Le prove di questo gap causato dal ritardo nell'aggiornamento lo si evince nel grafico []: mentre si nota negli anni un progressivo miglioramento delle emissioni specifiche medie dei mezzi (figli del progressivo adottamento di mezzi a basse emissioni), il forte aumento del traffico (sia merci che passeggeri) più che controbilancia il risultato finale, cioè le emissioni totali, evidenziando che le misure di regolamentazione non hanno prodotto un risultato efficace. Il gap è evidente tra il '99 e il 2014 (cioè nel periodo di applicazione delle normative "eurovignette"). [14]

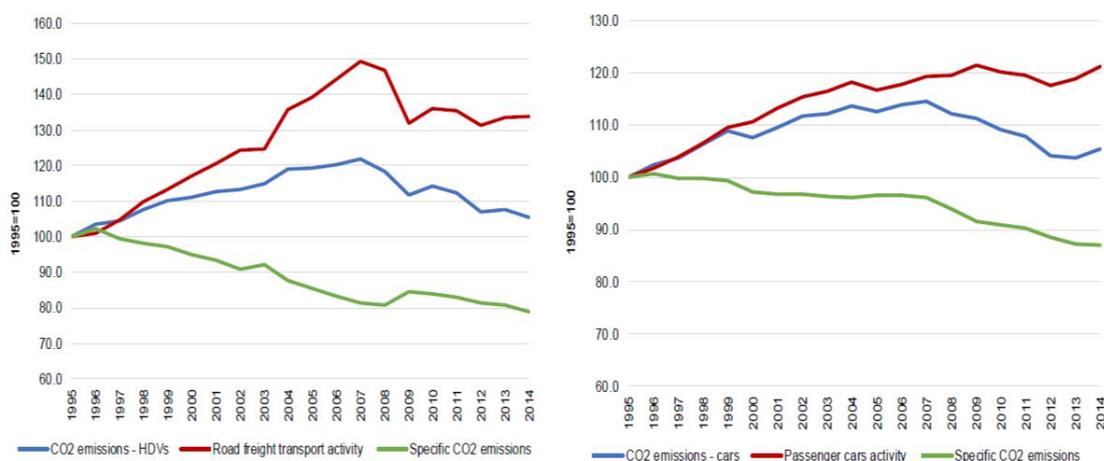


Figura 1.8: In blu i valori assoluti delle emissioni di CO<sub>2</sub> in kilotonnellate, in rosso le attività di trasporto in Tonnellata per km e Tonnellata per passeggero, in verde le emissioni specifiche, in grammo/passeggero per kilometro o grammo/tonnellata per kilometro. Il calcolo dell'emissione specifica è stato effettuato dividendo le emissioni totali per il traffico. [fonte: IMPACT ASSESSMENT [14]]

La differenziazione delle tariffe autostradali secondo le emissioni di CO<sub>2</sub>, potrebbe rappresentare un buon segnale a chi transita sulla rete, poiché se applicate a tutta la flotta e su tutte le tratte, porterebbero un chiaro segnale per il rinnovamento “verde”. Il segnale poi, sarebbe più chiaro e più facilmente applicabile su pedaggi distance-based e meno sui bolli “Eurovignette” poiché riscontrerebbero un impatto più proporzionale al vero utilizzo dei mezzi; con il sistema a pedaggi il mezzo a bassa emissione pagherebbe in base al proprio tasso di utilizzo in modo diretto, mentre con vignette, ad esempio mensili, non sarebbe coperto nella sua totalità. Il tutto, in accordo con una simile tassa di registrazione aiuterebbe a riflettere l’uso reale in modo proporzionale, realizzando maggiormente un’aderenza al principio User-Pays.

A non incentivare l’adozione univoca delle tariffe sulla distanza però, oltre ai contro elencati in precedenza, sorge anche il problema legato alla eccessiva richiesta di documentazione nel caso di inserimento di componenti di costo esterno, imposta dalla normativa.

A conferma di queste oggettive limitazioni nella normativa nel maggio del 2017 la commissione trasporti europea ha presentato una proposta di modifica della direttiva; inserita in un più ampio pacchetto normativa, la proposta presenta alcune iniziative per far sì che si progredisca nell’applicazione dei principi Polluter-Pays e User-Pays. Le modifiche principali sono riassumibili in [15]:

- L’ambito di applicazione del provvedimento viene allargato a tutti i tipi di autoveicolo, restando esclusi solo i veicoli a 2 o 3 ruote. In particolare, entrano a far parte della Direttiva anche i veicoli leggeri ed i veicoli pesanti adibiti a trasporto passeggeri, non più solamente i veicoli pesanti per il trasporto merci; sotto quest’ultimo aspetto in particolare, viene specificato che per “veicoli pesanti” si intendono anche veicoli per trasporto passeggeri superiori a 3,5ton che trasportano più di otto passeggeri
- La nuova bozza prevede una progressiva eliminazione dei diritti di utenza su base temporale. Nello specifico, dal 1° gennaio 2018 viene vietata introduzione di nuove vignette a tempo su veicoli pesanti, mentre quelle già esistenti potranno essere mantenute sino a fine 2023. Con un’eliminazione totale prevista al massimo entro il 2027
- Viene chiarito come possono essere inseriti nei costi di infrastruttura costi legati a sforzi per la riduzione di inquinamento atmosferico, acustico e per la riduzione di danni all’ambiente.
- Rimozione della possibilità di esenzione al di sotto delle 12 tonnellate, e dal 2020 tariffazione di tutti i mezzi pesanti (stavolta intesi superiori ai 4500 kg)

- Introduzione di una limitazione alle tariffe a tempo imponibili, e andando a definire parametri per le differenze di lunghezza (annuale e sub-annuale), con forti differenziazioni in base alla classe euro del mezzo
- Introdurre la possibilità di caricare componenti di costo in relazione alle esternalità legate alla congestione interurbana, che potranno essere applicate a tutti gli autoveicoli su strade a pedaggio soggette a congestione nei periodi temporali in cui tipicamente quest'ultima sia presente, e per il 2021 viene prevista la possibilità di inserire una componente di external-cost charging nelle tariffe dei mezzi pesanti.

### 1.3.2. Normativa carburanti

Altro provvedimento chiave nel percorso dell'internalizzazione è stata la direttiva europea sulla tassazione europea del 2003 (2003/96/CE). Il principale scopo della direttiva era quello di fornire un'uniformità al panorama della tassazione energetica europea creando fissare livelli minimi di tassazione per la maggior parte dei prodotti energetici, compresi l'elettricità, il gas naturale e il carbone, per cercare di ridurre le differenze esistenti tra i livelli nazionali di tassazione. Agli stati membri è stata poi lasciata libertà di alzare queste quote minime, a loro discrezione. Nell'aprile del 2011 però la Commissione ha ritenuto necessario portare avanti una revisione della normativa introducendo dei nuovi elementi. La direttiva sembrava troppo debole per sostenere le nuove esigenze ambientaliste e andava in contrapposizione con il sistema di scambio di emissioni creato con il Protocollo di Kyoto. Il cambiamento principale in ambito trasporto sarà la riscrittura dei parametri per i livelli minimi secondo due distinte componenti:

- CO<sub>2</sub>: è stata introdotta un'aliquota minima unica da applicare a tutte le emissioni che vengono non incluse nei conteggi per il mercato ETF, per un valore di 20€ per tonnellata.
- Energia: si è deciso di ridefinire l'aliquota minima del combustibile non più in base al volume ma al contenuto energetico (€/GigaJoule), legando direttamente l'aliquota all'energia prodotta dal carburante. Questo provvedimento è stato preso per incentivare i mezzi a miglior efficienza energetica, che così vengono automaticamente premiati.

L'imposta così intesa punta a eliminare delle distorsioni presenti in precedenza sul mercato, rispetto a quando si tassava in base al volume. Anche in questo nuovo provvedimento venne lasciata però libera iniziativa ai vari paesi membri sul tassare oltre le soglie minime, aumentando una o l'altra componente o entrambe [16]. Ai vari stati è stato poi concesso un periodo di adattamento di 10 anni per adattarsi a questa normativa, motivo per cui il quadro europeo risulta abbastanza confuso:

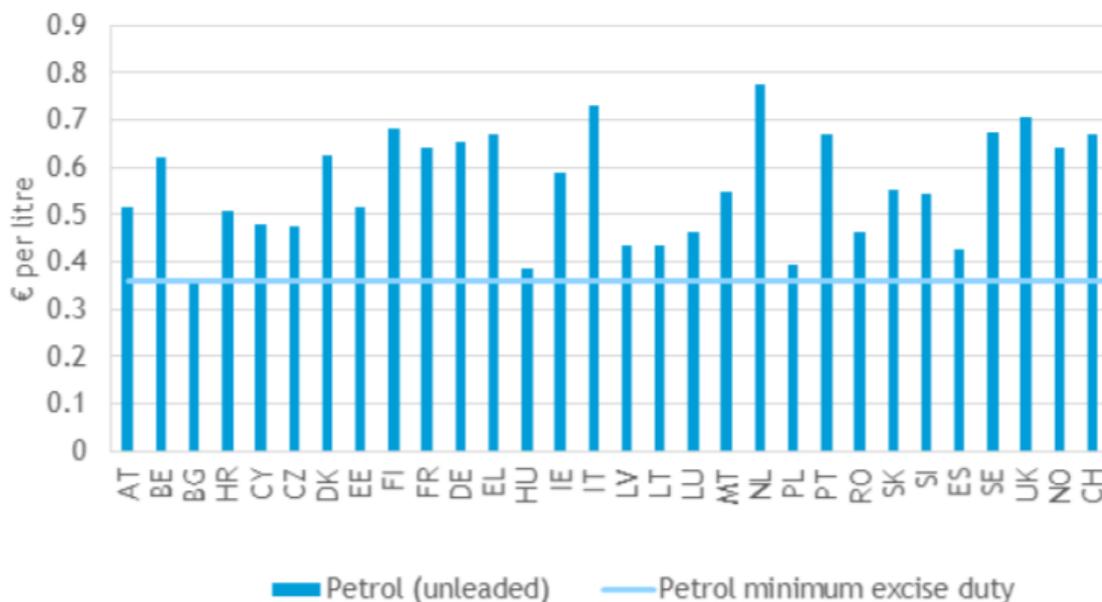


Figura 1.9: Livello di tassazione nel 2016 € per litro nei vari paesi europei. [fonte: “Transport taxes and charges in Europe, An overview study of economic internalisation measures applied in Europe”, maggio 2019 ]

Come si deduce dall’immagine i livelli minimi di tassazione sono osservati solo in Bulgaria (BG), Polonia (PL) e Ungheria (HU), mentre la tassazione massima è applicata nei Paesi Bassi, con una differenza di 0.42 al litro, una differenza non irrisoria.

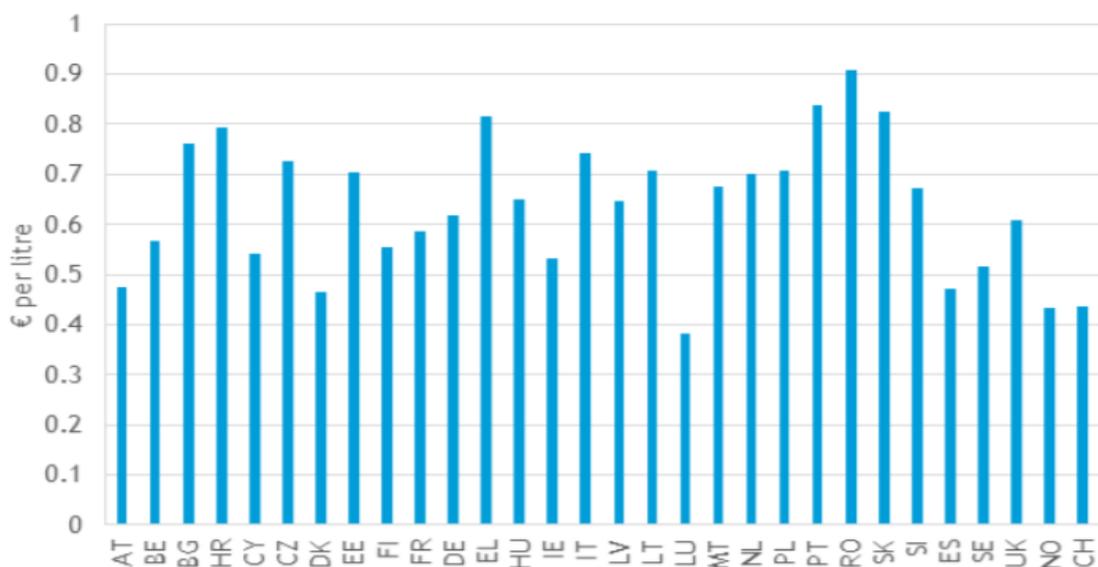


Figura 1.10: Livello di tassazione nel 2016 € per litro nei vari paesi europei, corretto sul potere d’acquisto dei singoli stati. [fonte: “Transport taxes and charges in Europe, An overview study of economic internalization measures applied in Europe”, maggio 2019]

Nei dati corretti per il potere d'acquisto lo scenario cambia notevolmente, mostrando come la Grecia, Malta, il Portogallo, la Romania e la Slovacchia abbiano la tassazione più alta, mentre la più bassa sia in Danimarca, Lussemburgo e Spagna.

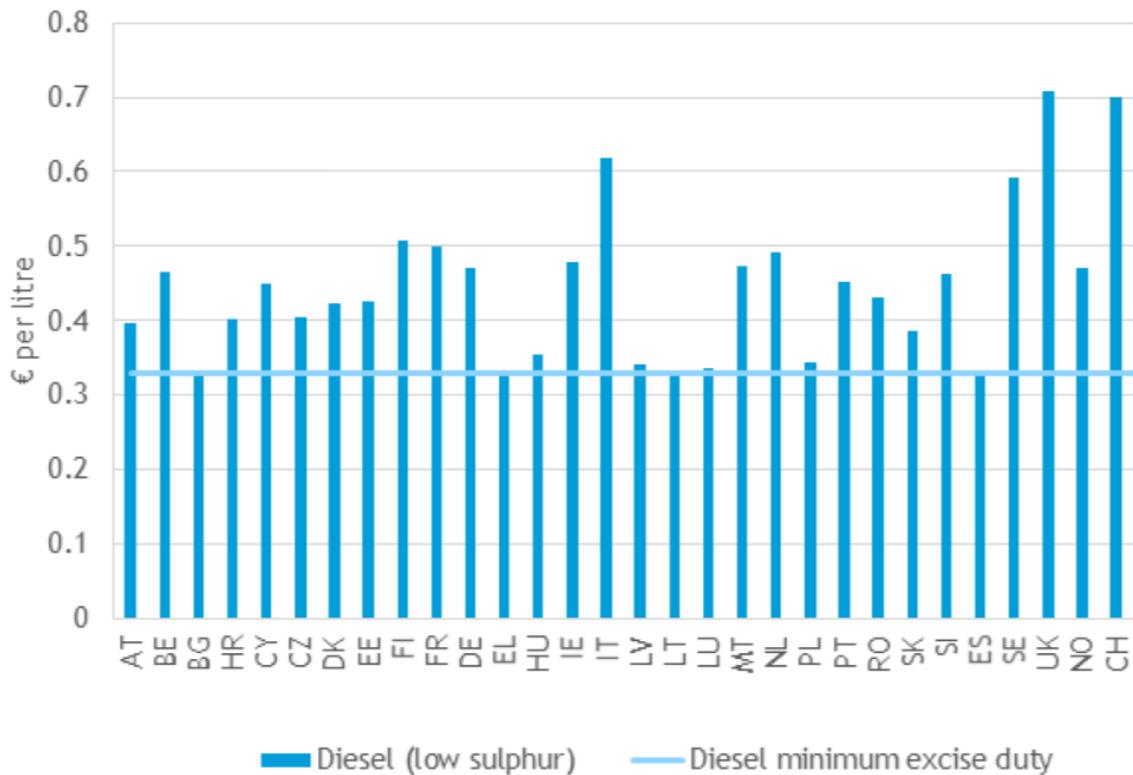


Figura 1.11: Livello di tassazione nel 2016 del carburante diesel € per litro nei vari paesi europei [fonte: "Transport taxes and charges in Europe, An overview study of economic internalisation measures applied in Europe", maggio 2019]

La prima cosa che si nota nell'analisi delle tasse dei carburanti diesel è che sono minori rispetto al caso della benzina, tutto nel rispetto della direttiva. L'unica eccezione sono Regno Unito e Svizzera (UK e CH), non solo gli stati con gli stati con la tassazione maggiore ma anche gli unici paesi con la tassazione diesel maggiore di quella sulla benzina. Mentre le accise più basse le troviamo in Bulgaria, Lituania e Spagna.

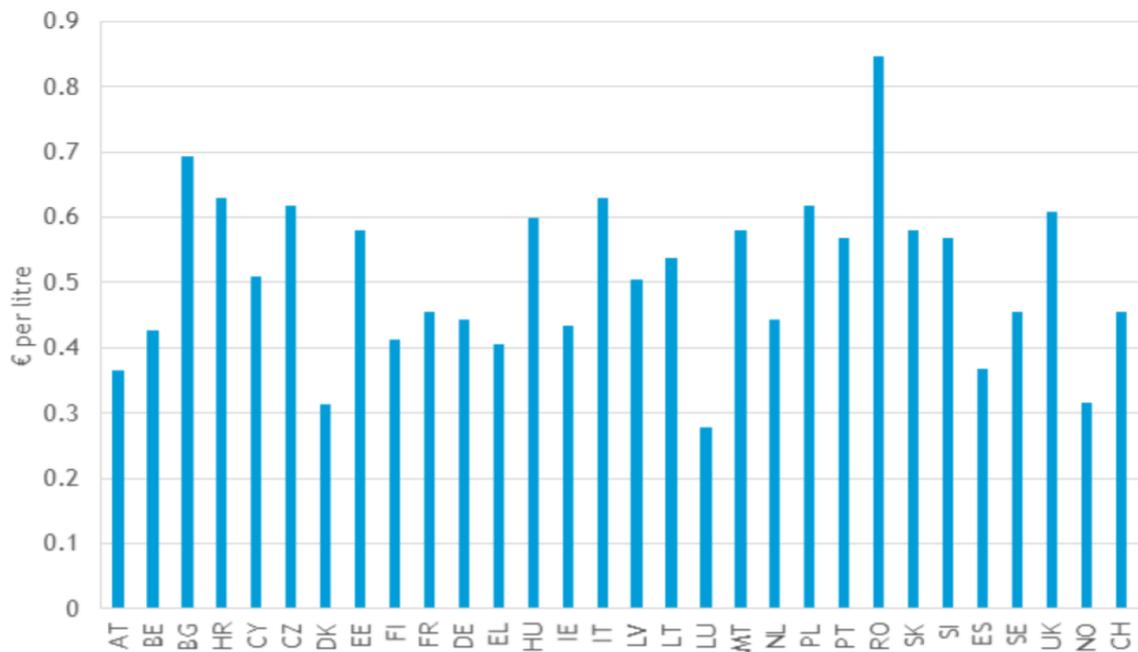


Figura 1.12: Livello di tassazione del diesel nel 2016 € per litro nei vari paesi europei, corretto sul potere d'acquisto dei singoli stati. [fonte: "Transport taxes and charges in Europe, An overview study of economic internalisation measures applied in Europe", maggio 2019]

Come per quanto riguarda la benzina, i livelli di imposta sul carburante diesel cambia considerevolmente quando viene corretto per le differenze nel potere d'acquisto tra i paesi. Dopo aver applicato questa correzione, i livelli fiscali più elevati si trovano in paesi come Romania, Bulgaria, Italia, Croazia e Repubblica Ceca, indicando che in termini relativi il diesel in questi paesi è tassato pesantemente. I livelli fiscali più bassi per il diesel esistono in Danimarca e Lussemburgo. In alcuni paesi dell'UE esiste un regime di rimborso per parte dell'accisa per il diesel utilizzato a fini commerciali (vale a dire veicoli pesanti), che comporta implicitamente tasse diesel (nette) inferiori. Questo è il caso di Belgio, Francia, Ungheria, Irlanda, Italia, Romania, Slovenia e Spagna. L'effetto principale della riforma, una volta entrata in essere in tutti i paesi sarà quello di ripianare l'effetto distortivo tra benzina e diesel; seppur con forte incertezza dettata dai regimi di applicazione dei singoli stati, essi saranno portati a rimodellare la tassazione sui carburanti diesel, a livelli superiori della benzina, a causa del maggior valore energetico e della maggior presenza di CO<sub>2</sub> nel composto.

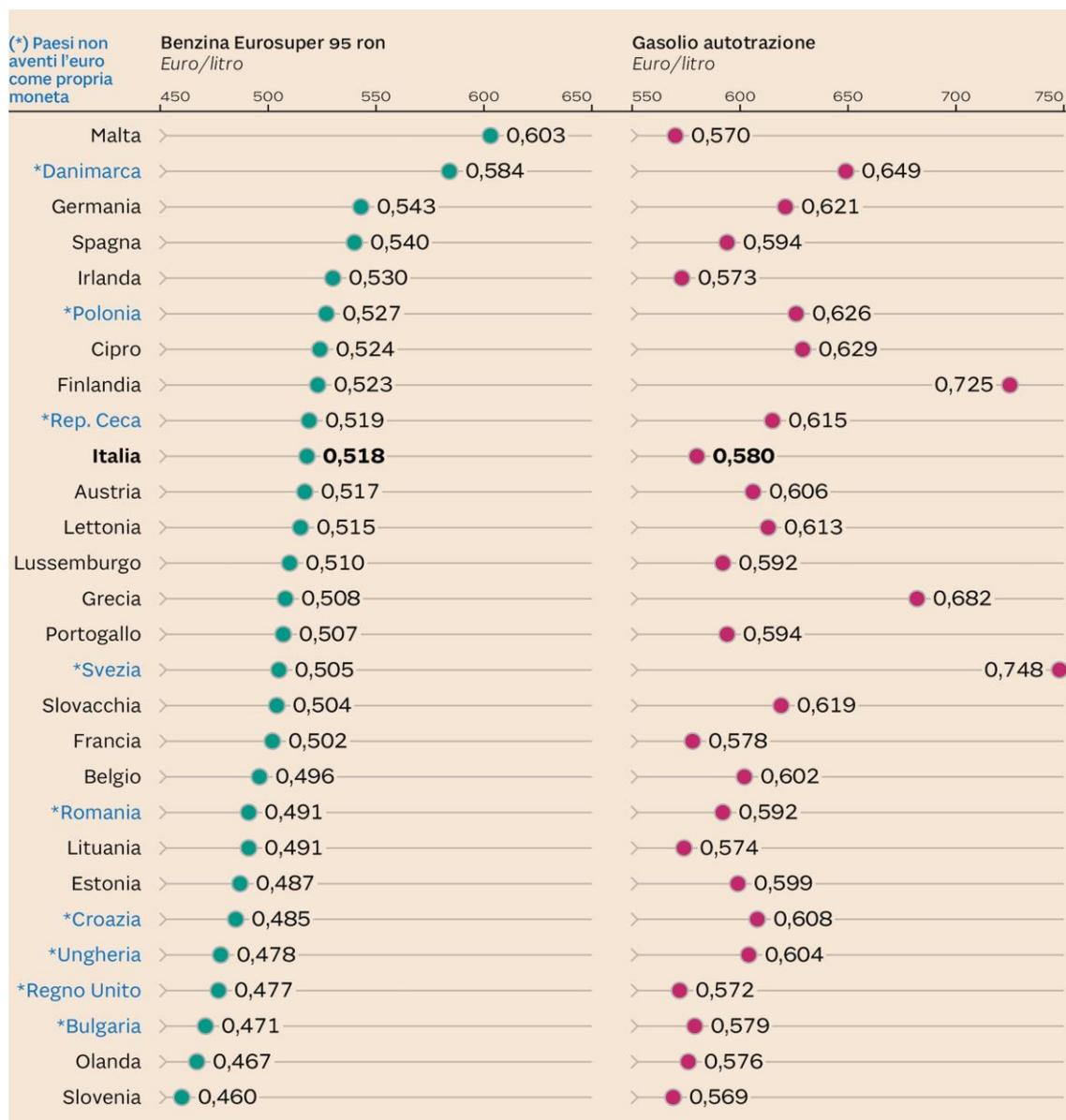


Figura 1.13: Costo al barile dei carburanti al netto del prelievo fiscale [fonte: “La beffa fiscale: senza tasse, costo di benzina e gasolio ai minimi in Europa” il sole 24 ore, 22 dicembre 2018, Jacopo Gilberto]

Attualmente i regimi fiscali invece, nonostante un costo del diesel al barile maggiore della benzina (a causa della forte domanda europea), permettono che nei distributori il diesel costi meno della benzina creando un sistema che produce emissioni non più tollerabili dopo Kyoto. Il quadro che emerge dall’analisi dei dati dell’Unione è che in generale il livello di tassazione imposto sui carburanti è maggiore delle linee minime dettate dalla direttiva, nonostante ciò la normativa non è riuscita nel suo scopo principale. I motivi per cui questo accada possono essere molteplici, ma forse il più facile da immaginare è che il

prelievo fiscale sui carburanti risulta semplice. È una tassa difficile da evadere per il cittadino (similmente all'IVA) e colpisce un settore ritenuto a bassa elasticità.

Uno studio inglese illustrato nel libro *TAX BY DESIGN* (JAMES MIRRLEES, STUART ADAM, TIM BESLEY, RICHARD BLUNDELL, STEPHEN BOND, ROBERT CHOTE, MALCOLM GAMMIE, PAUL JOHNSON, GARETH MYLES AND JAMES M. POTERBA, CAP 12) illustra gli effetti delle tassazioni inglesi fino a 2004 sul settore trasporti. Viene messo in mostra come un aumento del 10%, secondo le stime inglesi, creerebbe una diminuzione del 2,5% nei consumi nel breve periodo, e in una quota pari al 6% sul lungo, una volta che i cittadini abbiano avuto la possibilità di spostarsi verso sistemi di trasporto più sostenibili. La maggior parte degli studi concorda con queste stime ponendo l'elasticità sul LP circa a -0.7 e quella sul breve a circa un terzo. Questo mette in mostra però un secondo vantaggio, poiché se è vero che la tassazione alta nel breve periodo ha bassa elasticità, specie nel lungo periodo può aiutare a guidare la popolazione europea verso investimenti in mezzi più verdi. A favore di queste riflessioni e dati emergono i pareri di Thomas Sterne, che nel suo articolo "Distributional effects of taxing transport fuel", evidenzia come se l'area OECD ponesse le sue tariffe sul carburante al pari dei Paesi bassi e delle altre nazioni più pressanti, ci sarebbe un crollo dei consumi pari al 35% del carburante consumato [17].

Le proteste maggiori però, quando si propone un aumento della tassazione dei carburanti nascono dal fatto che esso possa portare a dei problemi in quanto a progressività della tassazione; per semplificare il concetto basta dire che una tassa risulta progressiva quando il ricco, in proporzione al suo reddito, paga di più del povero, sempre in rapporto al proprio reddito. Un esempio di tassa non progressiva può essere l'iva, che ha lo stesso costo sia per il ricco che il povero, andando a far pagare più il povero rapportato al suo reddito. La preoccupazione principale, dettata proprio dalla bassa elasticità dei carburanti, è che un aumento della tassazione non risulti per danneggiare troppo le fasce meno abbienti che si spostano in auto per necessità.

Da un lato non si può che condividere queste preoccupazioni, legittime quando si parla di una tassa correttiva come quella sui carburanti; dall'altro però ci si può opporre a tale preoccupazione sottolineando come le motivazioni di progressività siano inconsistenti davanti a tasse correttive sullo stampo di imposta "à la Pigou". Se usate come mero mezzo correttivo infatti, lo scopo non è più quello di "rimpolpare" il prelievo fiscale, ma piuttosto quello di internalizzare delle esternalità che comportano costi negativi a chiunque. A sostegno di questo vengono i risultati ottenuti nello studio "ESTIMATES FROM A CONSUMER DEMAND SYSTEM: IMPLICATIONS FOR THE INCIDENCE OF ENVIRONMENTAL TAXES", 2003, DI SARAH E. WESTA AND ROBERTON C. WILLIAMS III, dove si evidenzia come l'introduzione di una tassazione del carburante non debba per forza essere considerata come regressiva. Lo studio afferma che se coadiuvata con una serie di iniziative per dei trasferimenti di denaro diretti alle fasce maggiormente bisognose,

l'effetto positivo dei trasferimenti più che controbilancerebbe gli effetti di regressività della tassa. Una soluzione, per così dire, di second best, è una proposta per il taglio dei costi del lavoro, che anche avrebbe un effetto bilanciante, anche se nel complessivo leggermente negativo.

L'altra opposizione alla tesi di regressività può essere che il possesso della macchina possa essere correlato ad una buona condizione finanziaria, tale da non essere particolarmente colpito da un aumento della tassazione. Seppur debole come argomentazione trova qualche riscontro in alcuni paesi europei; Almeno nel Regno Unito, la proprietà automobilistica è fortemente correlata al livello di spesa delle famiglie. Oltre il 90% del decimo più alto delle famiglie classificate in base alla spesa sono proprietari di automobili e circa la metà di loro possiede più di un'auto. Al contrario meno del 30% del decimo più basso delle famiglie per spesa possiede un'auto e pochissimi (meno del 5%) in questo gruppo possiede più di un'auto. [18]

Queste evidenze porterebbero alla conclusione che tassare il carburante sia fortemente progressivo, essendo un bene prevalentemente posseduto da fasce benestanti; tuttavia è necessaria una precisazione nell'affrontare questi dati. Le famiglie più povere tendono anche a possedere le auto più vecchie. Queste auto sono meno efficienti e più inquinanti di auto nuove comparabili. Di conseguenza a parità di chilometri percorsi esse consumeranno più carburante, andando ad aumentare anche il totale della tassazione pagata. Il tutto trasformandosi in prelievi decisivi quando si affronta il tema di redditi bassi.

Sfortunatamente non è ancora stata trovata una risposta univoca sul tema della correttezza del prelievo fiscale tramite tassazione dei carburanti, tutto quello che si può fare per ora è rifarsi a quanto scritto prima in tema di internalizzazione, e quindi considerare di utilizzare i carburanti solamente per l'internalizzazione dei costi dei gas serra.

### 1.3.3. Considerazioni su tasse di immatricolazione e circolazione:

Sebbene non tutti gli economisti concordino, la miglior soluzione per l'internalizzazione delle esternalità del trasporto stradale risiede nell'applicare metodi di tassazione per chilometro di concerto con un piano di tasse sui carburanti; anche se non è sicuramente l'unica soluzione applicabile l'unione di questi due provvedimenti consentirebbe di internalizzare i costi marginali dovuti al consumo delle strade, agli incidenti e alla congestione con la tassazione per chilometro, unita all'internalizzazione dei danni da inquinamento nelle accise sui carburanti. [19]

Nonostante questi pareri tutti i paesi dell'area euro propongono anche tasse su immatricolazione, circolazione e possesso. Nell'ottica di sviluppare solo un discorso legato alle esternalità non ci si dilungherà in un'analisi dei regimi regolatori di questi provvedimenti.

Sebbene molti di questi provvedimenti siano stati presi con il preciso scopo di incrementare l'attuazione di una mobilità verde, il loro risultato è stato quello di spingere verso minori emissioni di CO2 e non "inserire" una componente di cost vera e propria legata all'emissione.

Ad esempio, l'imposta svedese sulla proprietà del veicolo è differenziata per tipo di carburante (benzina o diesel), peso e emissioni di CO2 per chilometro (solo per veicoli con immatricolazione 2006 e successive). [20]

Questo approccio, lodevole senza ombra di dubbio, ha però il limite evidenziato prima; seppure differenziata anche in funzione delle emissioni, provvedimento non così diffuso tra gli stati membri l'effetto di internalizzazione non ha piena aderenza: si supponga di possedere due auto identiche in Svezia, ma che una sia costantemente ferma mentre l'altra circoli costantemente. Nonostante la seconda contribuisca alla creazione degli effetti visti nei primi paragrafi entrambe le macchine pagherebbero nello stesso modo, che per un discorso di efficienza allocativa è sbagliato.

## 2. Metodi di Stima delle Esternalità principali e Risultati

### 2.1. Metodo

Come precedentemente introdotto, lo scopo di questo capitolo sarà l'analisi dei più recenti metodi di stima delle esternalità del trasporto stradale, riprendendo le tipologie illustrate:

- Costi per Incidenti
- Costi per l'inquinamento dell'aria
- Costi per il cambiamento climatico
- Costi per l'inquinamento acustico
- Costi di congestione
- Costi di danni all'ambiente

Per ognuna di esse verrà presentata non solo la metodologia di stima, ma anche i risultati ottenuti applicandola ad un contesto europeo.

Come risultato, da questi processi di valutazione, si otterranno una serie di costi ripartiti secondo la divisione vista in 1.1.1., cioè costi Totali, Medi e Marginali. Il motivo è presto spiegato, mentre i costi Totali vengono forniti per dare una dimensione generale (ripartita per nazione o per eurozona) e complessiva, i risultati più interessanti si ottengono dai costi Marginali. Secondo la teoria *pigouviana* infatti, il valore ottimo della tassa da introdurre dovrebbe essere il valore marginale del costo esterno di ogni singolo mezzo, al fine di produrre l'effetto di innalzamento della curva dei costi necessaria all'internalizzazione dell'effetto negativo all'ambiente. La proposta di presentare anche i costi medi nasce dalla duplice natura dell'analisi di questi fattori; laddove queste stime siano una base per l'introduzione di misure correttive su base normativa, il metodo più indicato sarebbe quello di utilizzare stime marginali. Laddove invece, lo scopo fosse quello di produrre un *assessment* sull'equità della ripartizione di questi costi, allora una valutazione dei costi medi diventa fondamentale, per poter riconoscere storture, qualora i mezzi non pagassero in base al loro impatto reale.

L'analisi, portata avanti sul sistema dei trasporti su gomma, si concentra quindi sull'impatto dei seguenti attori:

- Automobili (trasporto passeggeri)
- Motociclette
- Automobili
- Pullman
- LCV (Veicolo Commerciale leggero per il trasporto merci)
- HGK (Veicolo Commerciale pesante per il trasporto merci)

Per il contesto geografico invece ci si riferirà all'Unione Europea, comprendendo anche stati esterni ma geograficamente vicini come Svizzera e Norvegia; per comodità ci si riferisce alla zona come EU28.

Nonostante lo studio di riferimento, "SUSTAINABLE TRANSPORT INFRASTRUCTURE CHARGING AND INTERNALISATION OF TRANSPORT EXTERNALITIES", sia il più aggiornato presente sul panorama accademico, i dati utilizzati nelle stime dei vari costi, si basano su un dataset misto; a causa della diversa natura degli input necessari per descrivere le diverse performance di trasporto, le fonti dei dati aggregati necessari alle stime sono state varie, con Eurostat come principale. Questa scelta ha, come conseguenza, comportato l'adozione di un metodo di attribuzione su base di immatricolazione. Cioè ha comportato che nei casi in cui un mezzo immatricolato nel paese A circoli sul territorio del paese B, il conto di quel mezzo valga comunque come se prodotto sul paese A. Ad esempio, se un mezzo italiano avesse circolato su territorio francese, i dati necessari alla stima, sarebbero stati aggregati ai dati di traffico italiano. Il che risulta in un'accettabile forzatura, essendo il miglior approccio (un'attribuzione sul solo principio di circolazione su territorio) non possibile da applicare, non risultando nei conteggi Eurostat. Come anno base poi è stato selezionato il 2016, poiché il più completo di dati.

Ulteriore fattore da presentare in queste analisi è la necessità di trovare un efficace metodo di traduzione monetaria degli impatti negativi delle esternalità. Non esistendo un "mercato" di tali effetti non è semplice la quantificazione monetaria delle loro influenze. Per questo, a secondo dell'esternalità più adatta, nel report è stato scelto di procedere con 3 metodologie precise e distinte:

### Damage Cost Approach

Il metodo probabilmente più intuitivo sarebbe quello di stimare i vari danni riportati a persone e oggetti, per poi partire da quelli per le successive valutazioni. Seppur in apparenza molto semplice, il metodo venne approfondito nel 2012 da Botzen et Van den Bergh, nel loro articolo "RISK ATTITUDES TO LOW-PROBABILITY CLIMATE CHANGE RISKS: WTP FOR FLOOD INSURANCE" [1]; a causa della natura stessa di questo tipo di effetti, non è mai facile quantificare in toto il valore dei danni, motivo per cui si ricorre alla *Willingness To Pay o To Accept* gli eventuali danni.

I metodi più usati per la stima delle disponibilità sono la Preferenza Espressa e la Preferenza Rivelata; utilizzata nell'articolo sopra citato, la Preferenza Espressa si appoggia all'utilizzo di questionari creati appositamente per lo scopo. Nei questionari può essere riportata o la richiesta esplicita per una diretta quantificazione della WTP un danno o simili, oppure una richiesta implicita, attraverso una serie di ordinamenti su preferenza. Sebbene i vantaggi di misurazione diretta della WTP e verifica della totalità delle

esternalità siano in un certo senso allettanti, l'utilizzo dei questionari in un ambito europeo così vasto risulta impossibile.

L'altro metodo, Preferenza Rivelata, al contrario si basa sull'osservazione di transazioni economiche su mercati alternativi (ma reali) per stimare i costi dei mercati non quantificati; un classico mercato osservato è quello delle proprietà immobiliari, che con il variare del prezzo danno un segnale complessivo di tutte le esternalità di cui la casa può risentire, incluse quelle generate dal trasporto su gomma. Anche qui vantaggi e svantaggi sono presenti; l'osservare i comportamenti di un vero mercato, come quello immobiliare, aiuta a stimare in modo efficace e immediato le varie WTP ma espone le conclusioni tratte ad effetti secondari non rilevati che influenzano il mercato. La mancanza di una conoscenza approfondita del settore scelto può influenzare nettamente l'attendibilità dei risultati.

### Avoidance Cost Approach

Un metodo alternativo di stima può essere quello di andare a verificare i costi di “riportare l'esternalità nei suoi standard accettabili”. Nel report questo approccio viene utilizzato per la stima degli effetti della CO<sub>2</sub> causata dal traffico. Il metodo prevede quindi una valutazione dei costi di abbassare le emissioni entro i target fissati dall'Unione a seguito dell'accordo di Kyoto. A permettere ciò interviene una Avoidance Cost Function, che interviene nel realizzare un'approssimazione dei valori necessari a stabilire un certo livello di qualità dell'aria. Basandosi poi su questa curva di costo si ricerca il valore minimo che soddisfi lo standard necessario. Il metodo assume rigore alla luce della considerazione che uno standard condiviso, nello specifico quello europeo, rifletta appieno la volontà popolare, rendendo così efficace la equiparazione tra WTP e costo minimo necessario. Pur molto valido in diversi aspetti, e per questo molto adottato all'interno della comunità scientifica, scegliere questo approccio comporta alcuni rischi per la validità della ricerca [2]:

- La scelta del target può nascondere dei rischi; una normativa, ad esempio, può non essere applicata in modo comprensivo su tutto il sistema in analisi, o perché seleziona solo alcuni mezzi, perché non è applicata in tutti i paesi. Oppure possono essere solo linee guida, consigliate ma non vincolanti
- Richiede una stima di “produzione” di CO<sub>2</sub> per il periodo temporale scelto, cosa non semplice da fare alla luce della variabilità del settore in questione
- Richiede una stima dei costi necessari a risollevere gli standard, che in ambiti di emissioni e *climate change* sono difficili da quantificare.

## Replacement Cost Approach

Questo approccio, al contrario dei due precedenti, si concentra sui costi necessari alla riparazione dei danni causati dall'esternalità o al trasporto e riproduzione di un habitat danneggiato in un altro luogo. Nel report il metodo viene approfondito nella stima dei costi di danno ambientale, poiché il più adatto alla stima dei danni, sebbene possa correre dei rischi di sovrastima, per la non necessità di riparare il 100% dei danni ogni volta. Di contro si corre anche un rischio di sottostima, laddove, nel caso in analisi, non sia più possibile ristabilire fauna e flora di un habitat distrutto da un'infrastruttura. La metodologia, come illustrato da Asafu-Adjaye in uno studio del 1996 [3] e ripreso NELL'ARTICOLO "THE USE OF REPLACEMENT COST METHOD TO ASSESS AND MANAGE THE IMPACTS OF WATER RESOURCE DEVELOPMENT ON AUSTRALIAN INDIGENOUS CUSTOMARY ECONOMIES" del 2014 [4], sfrutta la creazione di una GRV, Cioè una funzione di Gross Replacemnt Value. Nel secondo articolo citato ad esempio, nel tentativo di stimare gli effetti di una riduzione di disponibilità di acqua potabile per le popolazioni indigene si è andata a valutare la scomparsa di Flora e Fauna di quella zona, stimando per ogni specie a rischio il Consumo medio Pro Capite, il numero di individui che lo consumano, e il valore economico di una sua approssimazione venduta sul mercato più simile. Un esempio poteva essere il Barramundi (Lates Calcarifer), un pesce di fiume molto pregiato con la connotazione di essere molto "prestigioso" da catturare; nel processo di "rimpiazzo" venne associato alla Ricciola del pacifico, valutata circa 39,45\$ al kg. Analogamente la Tartaruga dal Collo lungo, che in quelle zone viene comunemente consumata, venne paragonata ad una T-bone Steak (20,69\$ al kg), a differenza della tartaruga "pig-nosed", specie più pregiata e quindi assimilata ad un filetto (35,50\$ al kg). Per questo approccio fu fondamentale, oltre ad una fonte comune dei prezzi da associare, una descrizione delle specie in base non solo alle caratteristiche fisiche ma anche all'interpretazione della società esistente attorno a esse, e la ricerca di una fonte del genere può essere un'ulteriore difficoltà nell'applicazione de metodo.

### 2.2 Limiti del metodo

I metodi visti in precedenza ruotano attorno al concetto di WTP, cioè attorno alla quantificazione monetaria della disponibilità delle persone ad evitare certe condizioni frutto delle esternalità negative. Per la stima di questo valore, lo studio prende in considerazione una moltitudine di studi, che analizzando il periodo temporale scelto come anno base e una zona specifica rientrante l'area dell'Unione, fornissero dei validi input e output per la quantificazione. Il principale limite di questa valutazione è che non avendo copertura totale di studi si sono dovute produrre delle trasposizioni di metodi validi nell'aera A sull'aera B.

Il processo richiede però alcuni aggiustamenti, e il report illustra come i vari risultati sono stati modificati in base ai livelli di tasso di cambio, reddito e inflazione, utilizzando il

valore dei vari PIL pro capite nazionali a Parità di Potere d'Acquisto (PPP Correction). Per la precisione questi approcci di "Unit Transfer with income adjustments" è stato portato avanti sui vari driver di costo che hanno caratterizzato le varie stime.

Questo approccio di "Value Transfer" espone a una moltitudine di rischi [5] come, per prima cosa, al problema della conversione di valuta; sebbene questo problema ad un primo approccio potrebbe sembrare poco limitante per lo studio in questione (dei paesi in analisi circa un decimo non ha adottato l'euro come valuta corrente), la realtà potrebbe nascondere più di qualche insidia.

Il principio di Willingness to Pay si basa sul concetto che un individuo A è disposto a "spendere" fino a un livello X per passare da un consumo di bene pubblico (ad esempio ambientale)  $Q_0$  ad un livello  $Q_1$ , andando a porsi in una situazione di indifferenza rappresentata dall'equazione:

$$U(I_a, p_a, Q_0) = U(I_a - WTP_a, p_a, Q_1) \quad (2.1)$$

Con  $I_a$  il livello di reddito dell'individuo e  $p_a$  il livello dei prezzi nella sua area. Tenendo presente ciò, trasferendo la valutazione in un secondo paese la nuova situazione verrà descritta dall'equazione:

$$U(\beta^*I_a, \beta^*p_a, Q_0) = U(\beta^*I_a - \beta^*WTP_a, \beta^*p_a, Q_1) \quad (2.2)$$

Dove il parametro  $\beta^*$  rappresenta il tasso di cambio della valuta nel nuovo paese. Il concetto chiave quindi risulta essere che la  $WTP_b$  è uguale a  $\beta^*WTP_a$  solo se  $I_b = \beta^*I_a$  e  $p_b = \beta^*p_a$ , ovvero che le persone avranno la volontà di spendere le stesse cifre solo e soltanto se a fronte di stesso reddito e di stesso livello dei prezzi. Perciò nel convertire le valute non basta solamente il tasso standard ma vanno incluse anche le variazioni di reddito e livello dei prezzi, cioè la conversione richiede l'attuazione di valori calibrati in base al potere di acquisto di ogni singolo paese. Questo tasso di cambio corretto deve essere fissato in base al rapporto delle due quantità di beni acquistate nei rispettivi paesi con una unità delle rispettive valute. E questo passaggio spiega il perché questo approccio sia fondamentale anche nei contesti di analisi europea; paesi come Paesi Bassi e Portogallo ad esempio sono molto differenti in termini sia di Reddito medio Pro Capite che di livello medio dei prezzi. Il fattore di conversione di WTP nei due paesi deve dunque tenerne conto, nonostante adottino la stessa valuta.

Altro tema per la trasposizione di WTP da un paese all'altro sono le condizioni differenti delle persone stesse che dovrebbero essere disposte a pagare; poiché se è vero che la correzione per il potere di acquisto può limitare errori legati al reddito medio e al livello dei prezzi, è vero anche che due persone che vivono uno in montagna e uno in città, avranno una disponibilità a pagare differente, seppur esposti allo stesso livello dei prezzi

e con lo stesso reddito. Questo perché ad influenzare la WTP possono essere diversi fattori, come la quantità e la qualità di bene pubblico a cui gli individui sono esposti, oppure fattori personali degli individui stessi, come ad esempio il livello di reddito o l'età. Nell'ovviare a questo tema, sebbene applicabile solamente in casi in cui le variazioni di caratteristiche personali misurabili non siano elevate, i questionari usati per le stime delle WTP dovrebbero anche raccogliere informazioni che rendano possibile scremare in base a vari attributi del tipo reddito alto/basso o anziano/giovane. Questo permetterebbe di identificare delle curve basate su queste caratteristiche e in base al nuovo paese di adattamento dello studio creerebbero delle assunzioni credibili. Anche in questo approccio sorgono limiti, legati sia alla possibilità che in ambiti abbastanza omogenei il campione non riesca ad avere differenze sensibili nelle risposte, sia, soprattutto, che utilizzare questo approccio assume che le persone di due differenti paesi abbiano la stessa WTP a parità di condizioni di età e reddito (assoluto e relativo).

Limite ulteriore è rappresentato dall'osservazione del reddito; in ogni questionario è prassi chiedere il livello di reddito per poter indagare in base al livello di esso, metodologia preferita in precedenza. Questo assume implicitamente però che il reddito sia un'accettabile approssimazione per quanto riguarda il benessere, ed essendo la disponibilità a pagare oggetto dell'indagine, occorre osservare alcuni fattori. Il reddito può essere un buon strumento, ma soffre anzitutto il livello di tassazione di ogni singolo stato, sia diretta che indiretta. In questo senso diventa anche sensibile al livello di evasione presente nel paese. Oltre ciò è sensibile anche a livello di servizi pubblici sostenuti dallo stato; in paesi dove istruzione, sanità e pensioni sono pubblici, un certo livello di reddito può essere inferiore ad un paese dove tutto questo è privato, ma nascondere un livello di benessere personale maggiore. Infine, si espone a limiti nei paesi dove i trasferimenti intergenerazionali sono particolarmente rilevanti. Case di famiglia, eredità e affini contribuiscono in maniera rilevante ad aumentare il livello di benessere degli individui e sono del tutto esclusi dal valore di reddito annuo. Queste osservazioni, nell'estendere valutazioni di WTP ad altri paesi fuori dallo studio realizzato sono da considerare come fonti di imprecisioni.

Altri elementi rilevanti di obiezione alla trasposizione di WTP possono essere motivi culturali e la grandezza di adattamento. Sia in un caso che nell'altro qui a trarre in errore i risultati sono le valutazioni di importanza dei vari elementi. L'importanza di una cattedrale fuori una grande città, ad esempio, avrà molto più rilievo nelle attenzioni della popolazione limitrofa rispetto ad una popolazione nazionale, come pure rispetto ad un'analoga popolazione (in termine di numero di persone) ma in un paese meno credente. Tutto ciò per sottolineare anche questa possibile fonte di *bias* per lo studio.

In conclusione, è necessario fare un ultimo appunto, non tanto sulle metodologie presentate dal Report Delft, ma quanto ai conti effettuati nei vari casi di stima. Il

documento riporta con dovizia di particolari la maggior parte delle procedure utilizzate e la totalità delle fonti di dati utilizzati, molto spesso descrivendo persino la composizione del dataset in termini di clusterizzazione. Oltre a ciò, al documento si accompagna anche un file Excel, dove vengono riportati tutti i risultati differenziati per nazione, e tutti i cost driver utilizzati, sebbene talvolta aggregati. Di contro però non vengono riportate le informazioni relative ai volumi di traffico considerati, nei vari risultati di applicazioni di modelli o software privati, di conseguenza non è stato possibile ripetere il calcolo; ciò non ha inficiato però la natura dell'analisi dello stato dell'arte di tale metodologie, che è stata effettuata nei seguenti capitoli.

### 2.3. Costi dovuti ad incidente

Nell'approccio alla stima dei costi per incidenti stradali il metodo più corretto risulta essere l'utilizzo di un approccio Top-Down, cioè producendo anzitutto una stima generale dei costi (Costi Totali) per poi ripartirla a seconda dei mezzi utilizzati (Costo Medio per veicolo). Il processo di stima prevede una valutazione del numero di sinistri, declinato secondo intensità (letale, molto serio, leggero) per poi utilizzare un driver di costo secondo le tipologie viste nel capitolo precedente (Costi per l'uomo, costi medici, production loss, costi amministrativi, danni materiali e altri costi generici). In secondo luogo, durante la fase di attribuzione viene utilizzato il *damage potential*, un metodo che prevede l'allocazione dei danni di un incidente sul mezzo opposto coinvolto. Per esempio, in un incidente letale tra un motociclista e un automobilista, laddove sia il possessore del mezzo a due ruote a rimanere ucciso, il costo della morte ricadrebbe sul guidatore. Il metodo si muove dall'assunzione che chiunque intraprenda uno spostamento su strada internalizzi a prescindere il rischio di rimanere coinvolto in un incidente in prima persona, e che quindi esso non debba essere trattato come un'esternalità al processo decisionale.

Gli approcci di attribuzione, come riportato nel report, possono essere anche altri due; il classico sistema di attribuzione di incidente a seconda del mezzo usato, oppure il metodo di attribuzione secondo responsabilità, cioè una procedura secondo la cui, ad assumere l'onere del sinistro, sia il mezzo che ne ha la responsabilità, ripartendo il totale dei costi in base alla percentuale nei casi di responsabilità condivisa. Il secondo metodo risulta essere intuitivamente il più affidabile e corretto, ma ha di fondo una impossibilità di applicazione, poiché nessun database europeo registra le responsabilità oggettive dei vari incidenti.

Sebbene quindi non sia il miglior metodo, la stima del danno potenziale risulta comunque efficace, poiché riesce a inserire nel ragionamento quella componente di rischio intrinseco nell'affidarsi al trasporto su gomma. Anche in osservanza di tutte le norme autostradali, non si può non evidenziare una componente di rischio di collisione con le altre vetture, a seconda delle condizioni fisiche del guidatore, dell'esperienza dello stesso, delle dimensioni e condizioni della vettura e della sua velocità di percorrenza, anche sei nei limiti stradali. Queste valutazioni fanno propendere per un metodo attributivo condiviso, che quindi non escluda a prescindere una delle due vetture dalle responsabilità reciproche ma che invece tenga conto dell'effetto di una macchina nel sistema autostradale.

Ciò viene illustrato non solo nel report ma anche nello studio più recente del SafetyCube (Safety CaUsation, Benefits and Efficiency), un progetto di ricerca fondato dalla commissione europea nell'ambito del progetto H2020, che ha come tema principale la sicurezza stradale. Lo studio in questione è il "CRASH COST ESTIMATES FOR EUROPEAN COUNTRIES" [6] ed è proprio citato dal report come fonte delle metodologie principali di stima della sfera delle esternalità dovute ad incidenti.

Per la metodologia di stima delle singole componenti di costo, si è scelto di non utilizzare un metodo univoco ma di applicarne tre differenti a seconda di quello più adatto.

- **Restitution Costs (RC) approach:** l'approccio si fonda sul costo delle risorse che sono necessarie al ripristino delle condizioni pre-sinistro dell'infrastruttura e delle persone coinvolte. Il metodo si confà particolarmente bene nelle componenti dove è prevalente la componente di costi diretti, cioè le spese mediche, di riparazione del veicolo e i costi amministrativi. Il tutto viene svolto utilizzando i valori di mercato per questo caso disponibili, come il reale costo di un'operazione o il costo orario dei servizi per il ripristino del traffico.
- **Human Capital (HC) approach:** con questo metodo si intende valutare la perdita di produttività delle persone coinvolte in sinistri stradali, e quindi è stato utilizzato nella stima delle production loss. Questa valutazione comprende il valore economico di anni persi a seguito di incidenti, e quindi non solo include l'apporto economico-produttivo non dato da una persona negli anni persi, ma anche all'apporto economico non lavorativo perso, in termini di perdita di consumi
- **Willingness to pay (WTP) approach:** come detto in precedenza, nei processi di stima è un metodo molto affidabile e utilizzato; nell'ambito di incidenti stradali viene utilizzato per la stima delle componenti di costo per l'uomo. Le indagini permettono di ricavare un Valore Statistico della Vita (VOSL) che permette poi la quantificazione esatta. Come ricordato in precedenza esiste una sostanziale differenza tra WTP individuale e WTP sociale, poiché la seconda mira a rappresentare la società tutta come un blocco univoco disposto a pagare, ed è stimabile dalle spese pubbliche in diversi settori di prevenzione stradale (rifacimento manto stradale, interventi di monitoraggio delle infrastrutture e affini).

Come espresso nel primo capitolo, a fronte di 6 componenti di costo dovuto a incidenti (Costi per l'uomo, costi medici, production loss, costi amministrativi, danni materiali e altri costi generici) di seguito ne verranno quantificati solamente 4 poiché nelle assunzioni iniziali si è supposto che i danni materiali e i costi residuali vengano completamente internalizzati dalle assicurazioni sulle automobili.

### 2.3.1. Costi Medici

La stima di questa componente richiede il metodo RC, che implica la necessità di stima bottom-down di tutti gli aspetti necessari per una degenza ospedaliera; dal costo per viaggio di un'ambulanza fino ai vari costi associati ai trattamenti medici operatori e non. Oltretutto il metodo necessita anche di una stima di eventi realistica e affidabile, cioè una stima del numero di viaggi in ambulanza, del tragitto medio, delle statistiche dei vari interventi e nozioni di questo tipo. In linea di principio questo metodo risulta essere molto chiaro, ma richiede un alto numero di dati, difficilmente reperibili su una zona vasta come quella in analisi. Questo lavoro è stato svolto per i paesi di interesse ottenendo un valore

standard, variabile in funzione della gravità dell'incidente; si va dal costo massimo di 16.719 € per incidenti gravi, ai 5.430€ in caso di incidente mortale, ai 1.439€ in caso di incidente lieve (i prezzi sono riferiti al 2015) [6]. Da notare che intuitivamente il costo medico di un decesso è inferiore a quello di un sinistro grave, mancando tutta la degenza post-operatoria e vari interventi chirurgici necessari. Alla stima di questi costi però va affiancata anche una valutazione sul grado di copertura offerto dalle varie assicurazioni sanitarie, che nel panorama europeo sono il quanto il più vari.

Nei Paesi Bassi, ad esempio, il 65% dei costi medici sono internalizzati, mentre in Svizzera solo il 10% viene coperto [6]. In un panorama così vario è parso ragionevole considerare il 50% come media credibile nelle varie nazioni europee. Il risultato ottenuto è sintetizzato in Tabella 2.1.

	Incidenti mortali (€)	Incidenti seri (€)	Incidenti lievi (€)
Medical Cost (2015)	5430	16719	1439
Medical cost (2016)	5444	16760	1442
External Medical Cost (2016)	2.722	8.380	721

Tabella 2.1: Costo per incidente in base all'entità. Variazione dei valori da 2015 a 2016 di 1.002. Elaborazione personale su dati Delft, "Handbook of the external costs of transport" e "Crash Cost Estimates for European Countries, Deliverable 3.2 of the H2020 Project Safetycube"

### 2.3.2. Costi Amministrativi

Le componenti principali dei costi amministrativi sono 4, e sono costi di Polizia, di Vigili del fuoco, costi assicurativi e costi legali. Il metodo generalmente ritenuto più appropriato per queste stime è il metodo RC, perché è possibile stabilire prezzi di mercato di questi servizi. Si può infatti stabilire chiaramente il costo di intervento di una pattuglia in seguito ad un incidente, il costo del materiale usato e componenti affini. Lo stesso si può dire sia per interventi legali (in base a fatturazioni orarie medie), interventi assicurativi e interventi dei vigili del fuoco. Per la stima di costi legali e legati all'intervento legali sono possibili due approcci: Bottom-Up e Top-Down. Nel primo caso si parte dal costo del singolo intervento e si aggrega in base alle statistiche di intervento medio in un certo lasso di tempo, nel secondo caso al contrario ci si sofferma sulle stime di costi allocati in interventi di sicurezza, verificando la percentuale di tempo passato sugli interventi rispetto al tempo totale, per poi riapplicarla su costi totali.

Il metodo risulta valido anche per gli interventi legali, dove però assume una leggera variazione nel metodo (l'approccio bottom-up resta invariato). Il costo di incidente viene dedotto dal totale dei costi legali basandosi su determinati parametri (ad esempio numero di cause legali per incidenti stradali su numero di cause legali totali). Basandosi su questi approcci sono stati stimati dei valori medi affidabili nell'eurozona, anch'essi declinati

secondo gravità di impatto, e assunto un grado di internalizzazione di questi costi pari al 70%.

	Incidenti mortali (€)	Incidenti seri (€)	Incidenti lievi (€)
<b>Administrative Cost (2015)</b>	6346	4364	1876
<b>Administrative cost (2016)</b>	6363	4373	1880
<b>External Administrative Cost (2016)</b>	1909	1312	564

Tabella 2.2: Costo per incidente in base all'entità. Variazione dei valori da 2015 a 2016 di 1.002. Elaborazione personale su dati Delft, "Handbook of the external costs of transport" e "Crash Cost Estimates for European Countries, Deliverable 3.2 of the H2020 Project Safetycube"

### 2.3.3. Production losses

Per la stima della Production Loss lo studio Wijnen et al. [6] suggerisce di adottare l'approccio HC, che si basa sulla stima del periodo medio di tempo che la vittima rimarrà non abile a lavorare moltiplicandolo poi per il valore medio della produzione di reddito stimata per esso. In caso di incidente mortale la stima del periodo muterà in anni di vita residui alla pensione, mentre in caso di incidente, a seconda della sua gravità si dovranno prendere in considerazione pochi giorni o il resto del periodo lavorativo, in caso di infortunio permanente.

Nel fare questo esistono dubbi accademici su quale sia la migliore statistica da utilizzare per il calcolo [7], se sia meglio considerare una produzione netta o lorda. Questo a causa della stima di danni per l'uomo e dell'indicatore VOSL (*Value Of a Statistical Life*). Esso infatti comprende una componente di perdita dei consumi dovuta ad inabilità che è compresa anche nella stima di perdita di produzione; per evitare una ripetizione nelle valutazioni di costi per incidente, si deve scegliere se eliminare questa componente dalla VOSL, e utilizzare il valore lordo, o usare un valore netto e affidarsi a una VOSL completa. Il report ha optato per la scelta della prima opzione, quindi per una deduzione della perdita dei consumi esclusivamente dalla VOSL, adducendo come motivazione il fatto che nella realizzazione dei questionari per la stima delle WTP per i danni per l'uomo si è riscontrata una mancanza di attenzione nei confronti della perdita di consumi. Va specificato che il discorso si attiene esclusivamente alla stima nei casi di morte in incidente, non ritenendo che un infortunio non letale influisca sulla decisione di non acquistare.

Altro tema da affrontare in questa stima è la scelta se basarsi su una produzione reale o potenziale, cioè se valutare come indice di produttività solamente quello al momento del sinistro, oppure basarsi su un potenziale valore produttivo negli anni. Questo discorso assume particolare rilevanza nei casi di incidenti con giovani coinvolti o con disoccupati,

poiché nel primo approccio essi hanno una produzione pari a 0 mentre con il secondo approccio la loro perdita assume dimensioni rilevanti. Il report ha deciso di basarsi sul secondo punto di vista, ovvero una produttività crescente, poiché meno influenzato dalle condizioni macroeconomiche dei paesi in questione, per avere dati più sterili.

Infine esistono temi minori che riguardano quale preciso indicatore utilizzare ( nel report si applica un GNP pro capita), l'applicazione o meno di un tasso di sconto su benefici e costi futuri ( per rappresentare la preferenza dei consumatori per il presente, concedendo un valore più alto a beni presenti rispetto a quelli futuri) e stime sulla crescita della produzione nel tempo del singolo lavoratore ( il tasso di crescita nel report non è stato applicato poiché implicito nelle stime potenziali di produttività discusse in precedenza). Stabiliti questi parametri è stata effettuata una stima per individuare il costo effettivo di perdita di produzione a seguito di incidenti; vale la pena sottolineare che nonostante per tutto il calcolo principale sia stato applicato un approccio HC, specificato in precedenza, nella stima sono stati inseriti anche i costi di sostituzione della risorsa lavorativa, calcolati al valore di rimpiazzo, avendo a disposizione valori al prezzo di mercato.

A seguito di queste scelte i valori seguenti sono stati ritenuti affidabili come valori medi per effettuare una stima; anche qui interviene una percentuale di internalizzazione, che nel caso in studio è stata valutata pari al 45% su tutta l'eurozona

	Incidenti mortali (€)	Incidenti seri (€)	Incidenti lievi (€)
<b>Production Loss Cost (2015)</b>	655 376	43 627	2 669
<b>Production Loss Cost (2016)</b>	657 015	43 736	2 676
<b>External Production Loss Cost (2016)</b>	361 358	24 055	1 472

Tabella 2.3: Costo per incidente in base all'entità. Variazione dei valori da 2015 a 2016 di 1.002. Elaborazione personale su dati Delft, "Handbook of the external costs of transport" e "Crash Cost Estimates for European Countries, Deliverable 3.2 of the H2020 Project Safetycube"

#### 2.3.4. Costi per l'uomo

Questa componente intende rappresentare una quantificazione quanto più precisa del dolore e/o del lutto in seguito ad un incidente. Gli approcci usati in precedenza non sono questa volta replicabili, data l'assenza di un mercato rappresentativo del dolore, o in mancanza di una quantificazione monetaria per tornare allo status pre-incidente. Per questo motivo nel report è stato applicato il metodo di stima della WTP.

Per la stima del valore economico è stato necessario stabilire il corretto importo della VOSL, e da quella muoversi per capire come applicarla. Tra gli allegati del report, è presente una parte specifica dedicata a questo processo di stima, che ne illustra i principali

passaggi e assunzioni. Come spiegato in seguito questo valore di stima non solo è fondamentale nella stima dei costi per l'uomo, ma sarà il punto da cui muoversi nel calcolo delle esternalità di inquinamento dell'aria e di inquinamento acustico.

Il Valore Statistico di una Vita (VOSL) è stimabile o attraverso questionari appositi, per stabilire la WTP, o attraverso studi del mercato, come per esempio valutare la riduzione di reddito accettabile per passare da un lavoro ad alto rischio ad uno con un rischio di mortalità inferiore. In Europa, per tradizione, è prassi adottare il metodo di stima di WTP, cioè chiedere ad una comunità quanto sarebbero disposti a spendere per evitare una prematura dipartita di un membro della stessa comunità.

Il report si appoggia ad uno studio del OECD, "MORTALITY RISK VALUATION IN ENVIRONMENT, HEALTH AND TRANSPORT POLICIES" del 2012 che attraverso un'interessante metanalisi dei principali studi è riuscito a ottenere una affidabile stima del valore VOSL. La definizione matematica data è:

$$VOSL = \frac{\partial WTP}{\partial r} \quad (2.1)$$

con  $r$  che rappresenta il tasso di rischio di morire da ridurre. Il lavoro ha previsto la creazione di un dataset comune che partisse dagli elementi riscontrati nei precedenti studi. Nel libro viene evidenziato come nessuno studio sia stato escluso per la creazione di questo dataset citando l'inserimento di uno del 1970 come più vecchio fino ai recenti. Lo scopo era creare una base di questionari che potessero esplorare la VOSL nel modo più completo e dettagliato possibile, nonostante la maggior parte di questi studi fosse portata avanti solo su una parziale parte del bacino di interesse. Creato questo dataset il passaggio successivo era quello di avviare le analisi per rispondere alle 2 principali domande:

- come le caratteristiche delle popolazioni intervistate, dei rischi e dei contesti e gli aspetti metodologici influissero sulle stime ottenute
- quanto fossero sensibili i risultati alle metodologie comuni e alle scelte affrontate nella metanalisi

Per fare ciò vennero stabilite delle variabili di indagine sulla caratteristica del rischio assunto o evitato per le stime delle WTP, sulle caratteristiche dei metodi applicati nei vari questionari e infine sulle caratteristiche socioeconomiche della popolazione indagata. Questo portò alla creazione di una serie di variabili binarie e non che servirono per la successiva stima di una VOSL finale.

$$\ln(VOSL_{Si}) = \beta_0 + \beta_1 \ln(GDP_{Si}) + \sum_k \beta_k X_{Si}(k) + \varepsilon_{Si} \quad (2.2)$$

Questa formula rappresenta il modello utilizzato per la stima dove  $\ln(VOSL_{Si})$  è il logaritmo naturale della VOSL  $i$ -esima stimata dal gruppo intervistato  $S$ ,  $\ln(GDP_{Si})$  in

invece è il logaritmo naturale del GDP pro capita mentre  $X$  è il vettore con tutte le variabili utilizzate per l'indagine citate prima.

I risultati, oltre ad ottenere un approfondito sguardo sulle componenti più rilevanti in questi studi, fornisce anche la stima raccomandata per la VOSL sia dei paesi membri dell'OECD, 3 milioni di dollari (ai prezzi del 2005), sia dei paesi membri dell'Unione, per un valore proposto di 3,6 milioni (ai prezzi del 2005). Infine, suggerisce una metodologia per la declinazione dei vari VOSL su livello nazionale

$$VOSL_p = VOSL_s \left( \frac{Y_p}{Y_s} \right)^\beta \quad (2.3)$$

Con  $VOSL_s$  e  $Y_s$  vengono intesi i valori complessivi, nel caso in analisi il valore di VOSL e GDP pro capita nei paesi dell'Unione attualizzati al 2016, mentre i termini con pedici  $p$  sono i valori riferiti ai vari paesi. Il termine  $\beta$  invece è l'elasticità del reddito alla VOSL, cioè il termine  $\beta_1$  della (2.2), con un valore suggerito tra lo 0,7 e lo 0,9.

Vale la pena chiudere questa parentesi sul VOSL sottolineando un fatto che seppur intuitivo non è scontato: Il VOSL non è costante durante l'arco di una vita [9]. Il valore di picco si ha nella fascia 30-50, dopo di che il valore inizia una costante decrescita. Il ciò trova motivazione nel fatto che il valore statistico di una vita è strettamente collegato a fattori come il reddito, che mostra un'analoga curva, e l'aspettativa di vita, un trentenne avrà sia VOSL che aspettativa di vita doppia rispetto ad un sessantenne. Però una clusterizzazione discriminata in base all'età è difficile da realizzare, motivo per cui sebbene sia il report che lo studio dell'OECD suggeriscono di applicarla se possibile, entrambi gli studi non lo fanno.

Nella quantificazione del danno per le persone in seguito ad un incidente letale quindi si è partiti dalla valutazione data dallo studio 3,6 milioni di euro (prezzi del 2016). Successivamente, basandosi su una statistica Eurostat, si è verificato che l'età media delle persone coinvolte in un incidente letale è 40 anni, e sempre grazie a Eurostat è stato verificato che il valore medio atteso di consumo annuo pro-capite è di 15900€. Stimata la vita media attorno ai 82 anni, nel 2016, gli anni persi a causa della dipartita sono 42. Il totale quindi porta la perdita di consumi attorno ai 700000€ (15900 x 42) da sottrarre ai 3,6 milioni detti in precedenza. Il valore di un danno per la persona coinvolta in un incidente mortale, depurata dalla perdita di consumo che è stata inclusa nella production loss del paragrafo 2.3.3. è di 2,9 milioni di euro.

Questo ragionamento però non è stato replicato nella stima delle componenti di costo per incidenti seri e incidenti lievi. Nel caso specifico il report, appoggiandosi a studi di materia come il già citato HEATCO [10], è stato ritenuto opportuno prendere in considerazione una percentuale del VOSL esplicitato in precedenza. I valori selezionati

sono 13% in caso di infortunio serio e 1% in grado di infortunio lieve. L'assunzione di non sottrarre la perdita di consumi è stata illustrata nel paragrafo precedente. In tutti i casi questi costi sono stati considerati al 100% esternalità.

	Incidenti mortali (€)	Incidenti seri (€)	Incidenti lievi (€)
<b>External Human Cost (2016)</b>	2 907 921	464 844	35 757

Tabella 2.4: Costo per incidente in base all'entità. Elaborazione personale su dati Delft, "Handbook of the external costs of transport" e "Mortality Risk Valuation in Environment, Health and Transport Policies", OECD

EU COUNTRIES												
	COSTI PER L'UOMO			PRODUCTION LOSS			COSTI MEDICI			COSTI AMMINISTRATIVI		
	IM	IS	IL	IM	IS	IL	IM	IS	IL	IM	IS	IL
<b>EU28</b>	2.907.921	464.844	35.757	361.358	24.055	1.472	2.722	8.380	721	1.909	1.312	564
<b>AT</b>	3.202.976	532.685	40.976	393.002	26.161	1.600	2.960	9.114	784	2.076	1.427	614
<b>BE</b>	3.183.342	513.206	39.477	394.570	26.266	1.607	2.972	9.151	788	2.084	1.433	616
<b>BG</b>	1.553.981	226.042	17.388	172.290	11.469	702	1.298	3.996	344	910	626	269
<b>HR</b>	2.308.933	334.147	25.704	230.091	15.317	937	1.733	5.336	459	1.215	836	359
<b>CY</b>	1.504.105	285.078	21.929	319.468	21.266	1.301	2.406	7.409	638	1.687	1.160	499
<b>CZ</b>	2.789.348	406.295	31.253	236.108	15.717	962	1.778	5.476	471	1.247	858	369
<b>DK</b>	3.497.489	576.978	44.383	485.139	32.295	1.976	3.654	11.251	968	2.562	1.762	757
<b>EE</b>	2.653.497	391.365	30.105	264.696	17.620	1.078	1.994	6.139	528	1.398	961	413
<b>FI</b>	2.798.583	475.746	36.596	444.438	29.585	1.810	3.348	10.307	887	2.347	1.614	694
<b>FR</b>	2.721.569	449.900	34.608	395.712	26.342	1.612	2.981	9.177	790	2.090	1.437	618
<b>DE</b>	3.067.253	503.575	38.737	383.018	25.497	1.560	2.885	8.883	765	2.023	1.391	598
<b>EL</b>	2.026.599	328.432	25.264	296.552	19.741	1.208	2.234	6.877	592	1.566	1.077	463
<b>HU</b>	2.545.519	363.132	27.933	213.101	14.186	868	1.605	4.942	425	1.126	774	333
<b>IE</b>	4.681.432	710.688	54.668	398.560	26.531	1.623	3.002	9.243	796	2.105	1.448	622
<b>IT</b>	2.888.866	468.373	36.029	354.695	23.611	1.444	2.672	8.226	708	1.873	1.288	554
<b>LV</b>	2.091.145	314.437	24.187	244.097	16.249	994	1.839	5.661	487	1.289	887	381
<b>LT</b>	2.472.609	368.941	28.380	221.664	14.756	903	1.670	5.141	442	1.171	805	346
<b>LU</b>	6.048.974	955.627	73.510	436.719	29.071	1.779	3.289	10.128	872	2.307	1.586	682
<b>MT</b>	1.726.048	292.090	22.468	294.266	19.589	1.198	2.216	6.824	587	1.554	1.069	459
<b>NL</b>	3.144.379	506.503	38.962	400.833	26.683	1.632	3.019	9.296	800	2.117	1.456	626
<b>PL</b>	2.209.087	322.671	24.821	201.159	13.391	819	1.515	4.665	402	1.062	731	314
<b>PT</b>	2.249.642	359.065	27.620	287.703	19.152	1.172	2.167	6.672	574	1.520	1.045	449
<b>RO</b>	2.257.137	322.445	24.803	183.549	12.219	747	1.383	4.257	366	969	667	287
<b>SK</b>	2.602.350	381.986	29.384	240.873	16.034	981	1.814	5.586	481	1.272	875	376

SI	2.127.862	337.228	25.941	293.677	19.549	1.196	2.212	6.811	586	1.551	1.067	459
ES	2.690.282	427.815	32.909	325.423	21.663	1.325	2.451	7.547	650	1.719	1.182	508
SE	2.819.502	476.827	36.679	470.659	31.331	1.917	3.545	10.915	939	2.486	1.709	735
UK	2.448.105	442.196	34.015	420.407	27.986	1.712	3.167	9.750	839	2.220	1.527	656

Tabella 2.5: Driver di costi esterni per incidente, suddivisi in base alla gravità del sinistro. [fonte: “Handbook on the external costs of transport”, CE DELFT, Maggio 2019]; gli incidenti sono classificati per IM (Incidente mortale), IS (incidenti seri) e IL (incidenti lievi).

I valori ottenuti nei paragrafi precedenti sono riportati nella riga EU28, mentre per i valori nazionali sono stati determinati con due metodologie. I costi di production loss, costi medici e costi amministrativi sono presi dai risultati dello studio “*Crash Cost Estimates for European Countries, Deliverable 3.2 of the H2020 Project Safetycube*”, che oltre a indicare la metodologia di stima ha calcolato i vari valori a livello nazionale, sull’anno 2015. Come mostrato in precedenza sono poi stati trasposti al 2016 e moltiplicati per la loro percentuale di esternalizzazione. I costi per l’uomo hanno invece subito un trattamento leggermente differente; il metodo visto nel paragrafo è stato riproposto per ogni singolo paese, andando di volta in volta a differenziare le varie statistiche per ogni paese.

	Total cost per fatality	Total cost per serious injury	Total cost per slight injury
EU-28	3.273.909	498.591	38.514
AT	3.601.014	569.388	43.974
BE	3.582.968	550.056	42.488
BG	1.728.478	242.132	18.702
HR	2.541.973	355.636	27.459
CY	1.827.666	314.913	24.367
CZ	3.028.482	428.346	33.055
DK	3.988.844	622.285	48.084
EE	2.921.584	416.085	32.125
FI	3.248.716	517.252	39.987
FR	3.122.352	486.856	37.627
DE	3.455.179	539.345	41.659
EL	2.326.950	356.127	27.527
HU	2.761.351	383.033	29.559
IE	5.085.099	747.910	57.709
IT	3.248.106	501.498	38.735
LV	2.338.369	337.233	26.050
LT	2.697.113	389.643	30.071

LU	6.491.289	996.412	76.842
MT	2.024.084	319.572	24.714
NL	3.550.347	543.938	42.020
PL	2.412.824	341.458	26.356
PT	2.541.031	385.934	29.816
RO	2.443.038	339.587	26.204
SK	2.846.310	404.481	31.221
SI	2.425.303	364.655	28.181
ES	3.019.875	458.206	35.392
SE	3.296.193	520.783	40.270
UK	2.873.900	481.458	37.223

Tabella 2.6: Costi di un incidente aggregati per gravità di danno [fonte: “Handbook on the external costs of transport”, CE DELFT, maggio 2019]

Ciò che colpisce della tabella 2.6 è l'estrema variabilità di valori tra paesi; per comprendere questo fatto bisogna riconsiderare il calcolo dei costi per l'uomo, che come spiegato in precedenza vengono depurati da ciò che è definibile come “perdita di consumi”. A determinare questo valore sono i parametri di età media di incidente, attorno ai 40 anni, e valori di consumo medio annuo e vita residua. L'età residua, il consumo medio e il VOSL complessivo (di circa 3,6 milioni nella media europea) vengono poi corretti in base ai dati nazionali, motivo per cui Lussemburgo e Irlanda (LU e IE) hanno valori così elevati, con quasi il doppio dei valori di GDP pro capite con l'aggiustamento a parità di potere d'acquisto (rispettivamente 2,6 volte e 1,7 il valore medio europeo EU28, stando alle statistiche Eurostat)

I costi di incidente sono stati poi moltiplicati dalle statistiche CARE per la definizione dei volumi degli incidenti su base nazionale; il database CARE non solo fornisce degli accurati dati su base nazionale degli incidenti, ma riporta anche il grado di intensità dell'impatto e le parti coinvolte, così da avere la possibilità di applicare la metodologia *Damage potential* illustrata all'inizio del paragrafo. Poi, come illustrato anche nel primo capitolo, è stata applicata un fattore di correzione per “underreporting” alle statistiche fornite, per arrivare a un numero che tenesse conto di quegli incidenti non segnalati e quindi non riportati nel database.

	Costi Totali (BN €)						Costi medi (€-CENT PER PKM OR TKM)				
	TOTAL (BN €)	PASS CAR	BUS / COACH	MC	LCV	HGV	PASS CAR	BUS / COACH	MC	LCV	HGV
EU-28	279,3	210,2	5,3	21,0	19,8	23,0	4,5	1,0	12,7	6,0	1,3
AT	9,0	6,8	0,2	1,0	0,5	0,6	8,7	1,5	60,5	6,5	2,2
BE	8,5	6,0	0,3	0,4	1,1	0,8	5,6	1,8	16,4	12,0	2,5

BG	<b>1,9</b>	1,5	0,1	0,1	0,0	0,3	2,6	0,5	32,1	0,0	0,8
HR	<b>2,4</b>	1,9	0,0	0,2	0,1	0,2	7,1	1,4	13,7	2,7	1,4
CY	<b>0,3</b>	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	0,4	8,1	5,8	1,4
CZ	<b>4,4</b>	3,2	0,2	0,3	0,2	0,6	4,5	0,9	7,6	3,8	1,2
DK	<b>2,0</b>	1,4	0,0	0,1	0,1	0,3	2,6	0,6	11,3	1,7	1,6
EE	<b>0,4</b>	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	2,5	1,8	5,1	0,1	0,3
FI	<b>1,6</b>	1,0	0,0	0,1	0,1	0,3	1,5	0,5	7,1	3,3	1,1
FR	<b>29,7</b>	21,5	0,4	2,7	2,6	2,4	3,0	0,6	13,8	5,0	1,6
DE	<b>75,3</b>	59,4	1,0	5,5	3,2	6,1	6,4	1,6	33,2	15,5	1,9
EL	<b>3,0</b>	1,8	0,0	0,6	0,3	0,2	1,9	0,2	5,6	4,3	0,9
HU	<b>4,8</b>	3,5	0,1	0,2	0,5	0,4	6,3	0,6	12,5	11,1	1,1
IE	<b>1,6</b>	1,2	0,0	0,0	0,2	0,1	2,4	0,4	5,4	1,2	1,0
IT	<b>37,9</b>	29,6	0,5	3,4	2,1	2,2	4,4	0,5	5,9	5,2	2,0
LV	<b>0,7</b>	0,5	0,0	0,0	0,0	0,1	4,0	1,5	71,7	5,2	0,7
LT	<b>1,0</b>	0,8	0,0	0,0	0,0	0,1	3,2	0,9	7,4	0,7	0,4
LU	<b>0,7</b>	0,5	0,0	0,1	0,0	0,0	6,6	1,5	20,6	1,8	0,5
MT	<b>0,2</b>	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7	1,6	31,8	15,2	0,4
NL	<b>8,9</b>	6,5	0,1	0,5	1,2	0,6	4,7	2,5	13,6	7,8	0,9
PL	<b>13,3</b>	9,9	0,3	0,5	0,0	2,6	4,9	0,9	14,5	0,1	0,9
PT	<b>4,4</b>	2,9	0,1	0,3	0,8	0,3	3,5	1,2	19,9	3,4	0,7
RO	<b>9,1</b>	6,7	0,2	0,2	1,6	0,3	7,5	1,4	53,8	45,6	0,7
SK	<b>2,1</b>	1,5	0,1	0,1	0,0	0,4	5,3	1,5	31,0	0,6	1,2
SI	<b>0,9</b>	0,7	0,0	0,1	0,0	0,1	2,5	0,4	23,4	0,1	0,8
ES	<b>19,6</b>	13,3	0,4	2,4	2,0	1,5	4,2	0,8	9,2	25,2	0,7
SE	<b>3,4</b>	2,6	0,1	0,3	0,2	0,3	2,3	0,5	22,4	2,7	0,7
UK	<b>32,1</b>	24,9	0,9	1,9	2,5	2,0	3,8	2,3	22,9	4,0	1,3

Tabella 2.7: Costi totali e medi dovuti a incidente [Fonte: "Handbook on the external costs of transport", CE DELFT, Maggio 2019]

Una volta incrociate le statistiche CARE con il driver di costo di Tabella 2.6 sono stati ottenuti i costi totali, mostrati in Tabella 2.7 in miliardi; successivamente si è passati al calcolo dei costi medi, dividendo i valori totali per i dati di traffico totali per ogni mezzo (Chilometri per passeggero, Pkm, e Tonnellata per passeggero, Tkm, nel trasporto merci). Risultano così essere maggiori inquinatori, in termini generali, le macchine passeggero e sul trasporto merci gli HGV, ma in termini di costo medio il problema maggiore sono le motociclette, che nonostante un numero di km percorsi nettamente minori si espongono a grandi rischi in termini di incidenti stradali.

### 2.3.7. Calcolo delle variazioni marginali dei costi per incidente

Il concetto di costo marginale legato all'esternalità da incidente rappresenta l'ulteriore costo che aggiungere una macchina al traffico rappresenta. Quando un guidatore accede

ad un certo tipo di strada, accetta intrinsecamente un rischio di collidere con un secondo mezzo, esponendosi volontariamente ad un rischio di incidente. Quando però un ulteriore mezzo entra nel flusso, il guidatore subisce l'effetto di tale cambiamento; l'effetto è divisibile in due parti che si controbilanciano, una negativa (una macchina in più alza il rischio di fare un incidente) e una positiva (l'aumento di traffico va diminuire le velocità dei mezzi coinvolti e ad aumentare l'attenzione impiegata, il che abbassa il rischio di incidente), e questo crea una sostanziale differenza con i costi medi stimati in precedenza. Dato poi che l'effetto sul traffico diventa determinante per il calcolo dell'esternalità, esso varierà in funzione del contesto del percorso; un'autostrada avrà un effetto differente sul traffico da una strada urbana e da una strada rurale, motivo per cui il costo marginale deve variare in base a essi.

Il metodo di stima applicato dal report è stato formalizzato nella seguente formula:

$$MC_i^v = r_i^v (a + b + c) (1 + E_i^v) - \theta^v r_i^v (a + b) \quad (2.4)$$

Con i valori

$$r_i^v = \frac{X_i^v}{Q_i^v} \quad (2.5) \quad \text{e} \quad E_i^v = \frac{\partial r_i^v Q_i^v}{\partial Q_i^v r_i^v} \quad (2.6)$$

- $r_i^v$  = Il rischio di essere coinvolto in un incidente per il veicolo di tipo V sulla strada i
- $X_i^v$  = Il numero di incidenti letali e non divisi per veicolo V e sulla strada i
- $Q_i^v$  = Il numero di Vkm divisi per veicolo V e sulla strada i
- $a$  = Il costo causato da un incidente alla persona esposta al rischio, in termini di costo per la persona
- $b$  = Il costo causato da un incidente ai familiari e amici della persona coinvolta, in termini di costi per la persona
- $c$  = i costi relativi alle componenti viste in precedenza esclusa quella di costi per la persona.
- $E$  = Elasticità al rischio, rappresenta di quanto aumenta il rischio di incidente all'aumentare dell'1% di traffico
- $\theta^v$  = Grado di internalizzazione del rischio di incidente

Per la definizione dei costi per la persona (a+b) e non (c) si possono riprendere i valori nella tabella 5, poiché essi stimano il costo per incidente. I nuovi valori da determinare invece sono il rischio di essere coinvolti in un incidente, elasticità di tale rischio e il grado di internalizzazione di tale rischio.

Il primo, come mostrato in (2.5) può essere espresso come il rapporto di incidenti sul numero di veicoli al chilometro di un determinato mezzo su un determinato tipo di strada.

Il termine di elasticità rappresenta gli effetti di un aumento di traffico sul rischio, che come descritto in precedenza possono essere sia positivi che negativi; sebbene molti studi, tra cui (Hesjevoll, I. S. & Elvik, R., 2016; "EFFECT OF TRAFFIC VOLUME ON ROAD SAFETY")

suggeriscano che la parte preponderante di questo effetto sia quella positiva di riduzione del rischio, è pure vero che la principale motivazione (aumento del traffico produce un abbassamento della velocità) non è sempre valida nella circolazione urbana, dove di natura la circolazione avviene a basso ritmo. Questo implicherebbe che l'aumentare di un veicolo non avrebbe effetti sul rischio, portando l'elasticità a 0. Di conseguenza il report adotta il valore -0.25 per i tratti autostradali e rurali, e 0 per i tratti urbani.

Il tema invece del grado di internalizzazione invece fondamentale per la determinazione la quota di costi per la persona internalizzati nella decisione iniziale. Il calcolo marginale va a verificare la quota di vittime alla guida di un dato mezzo, e lo rapporta al totale delle vittime degli incidenti in cui almeno uno dei due mezzi era quello scelto. Il calcolo fornisce una relativa valutazione del grado di vulnerabilità del mezzo che si guida rispetto agli altri che si incrociano sulle tratte stradali. Queste valutazioni sono ancora una volta possibili grazie al database CARE che, permettendo di determinare i mezzi coinvolti, fornisce l'accesso ai valori necessari. Internalizzare quindi il guidatore, seppur in percentuale crea questa situazione:

Il veicolo A (automobile) con 4 passeggeri a bordo si scontra con un veicolo B (HGV) con una sola persona a bordo. Il costo per danni alla persona per il veicolo A sarà il costo dei 4 passeggeri più il guidatore del veicolo B, ma la quota internalizzata sarà solo di 4/5 in quanto (ipotizzando che per semplicità il termine  $\theta$  venga stabilito sul momento) le vittime dello scontro a bordo dell'automobile sono 4 su un totale di 5 vittime coinvolte.

Questo esempio, oltre ad aiutare a comprendere il meccanismo di internalizzazione/esternalizzazione, da un primo indizio sulla definizione delle percentuali suddivise sui vari mezzi. Siccome è sempre più probabile che in uno scontro le automobili e le motociclette subiscano più danni, essi avranno il grado di internalizzazione maggiore, poiché conoscono questo rischio al momento di scegliere il modo di trasporto. Al contrario i mezzi più pesanti correranno meno rischi, perché in caso di rischio normalmente sono meno coinvolti, e quindi avranno un grado vicino allo 0

TIPO DI VEICOLO	GRADO DI INTERNALIZZAZIONE DEL RISCHIO $\theta$
Automobile	0,61
Motocicletta	0,93
Pullman	0,16
Autobus	0,16
LCV	0,28
HGV	0,14

Tabella 2.8: Valori Di Internalizzazione Del Rischio [fonte: "Handbook on the external costs of transport", CE DELFT, maggio 2019]

Prima di illustrare le evidenze ottenute dal calcolo dei costi marginali però, è interessante approfondire un tema che si può rilevare nella (2.4); con i dovuti passaggi infatti la formula può essere riscritta come:

$$MC_i^v = r_i^v (a + b) (1 + E_i^v - \theta^v) + r_i^v c (1 + E_i^v) \quad (2.7)$$

Questo mette in evidenza il rapporto tra Elasticità (E) e grado di internalizzazione ( $\theta$ ), dal quale dipende il segno dei costi marginali. Dalla 2.7 si può vedere che se  $\theta - E > 1$  il costo marginale sarà negativo (ai fini del calcolo la parte  $r_i^v c (1 + E_i^v)$  ha una rilevanza minore, poiché se messo in relazione con i costi per la persona il valore c rappresenta poco più del 10%) [11].

Ovviamente valido anche il discorso opposto ( $\theta - E < 1$ ,  $MC > 0$ ), il risultato è interessante perché mostra come, in base ai due valore sopracitati può esistere o un effetto positivo, traducibile in costi marginali negativi, se un veicolo aggiuntivo al flusso riduce il rischio, o negativo, con una componente di MC positiva.

Con un'Elasticità fissata tra -0,25 per le strade extra-urbane e 0 per le strade urbane e con i valori di  $\theta$  in tabella 2.8 si ottiene quindi un panorama di costi marginali positivi per i principali veicoli su gomma, ma negativi per le motociclette. Il costo negativo è dettato dall'alta vulnerabilità del mezzo che, come detto in precedenza, porta una maggiore internalizzazione del rischio. Questo alto grado di internalizzazione comporta che la decisione di entrare nel traffico di una motocicletta sia causa di una bassa componente di costi esterni, e che quindi l'effetto prevalente diventi quello positivo di aumento della sicurezza grazie a velocità minori.

COSTI ESTERNI MARGINALI PER AUTOSTRADE					
	Pass car (€-cent/vkm)	MC (€-cent/vkm)	Bus/coach (€-cent/vkm)	LCV (€-cent/vkm)	HGV (€-cent/vkm)
EU-28	0,39	-0,69	0,95	0,37	0,92
AT	0,54	-0,78	1,23	0,36	4,29
BE	0,54	-2,22	4,86	1,40	5,19
BG	0,35	-1,41	0,64	0,37	0,71
HR	0,33	-0,39	3,03	0,13	0,87
CY	0,27	-0,15	0,00	0,12	0,25
CZ	0,28	-0,21	1,38	0,27	2,37
DK	0,40	-1,29	0,12	0,46	1,99
EE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FI	0,32	-0,69	0,95	0,37	0,92
FR	0,34	-1,37	1,20	0,30	2,39
DE	0,61	-3,94	2,22	1,82	3,83
EL	0,22	-0,14	0,05	0,09	0,43
HU	0,65	-0,36	12,29	1,25	0,60
IE	0,06	-0,45	0,00	0,02	0,02
IT	0,37	-0,94	0,95	0,41	3,89

LV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LT	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LU	0,51	-3,23	0,00	0,35	0,95
MT	*	*	*	*	*
NL	0,30	-1,65	0,00	0,61	0,42
PL	0,77	-1,77	19,05	0,37	2,30
PT	0,27	-0,36	0,51	0,45	0,21
RO	0,24	-0,25	6,70	0,41	0,16
SK	0,29	-0,65	0,00	0,00	1,08
SI	0,10	-0,59	0,05	0,00	1,06
ES	0,57	-0,52	3,78	1,62	0,89
SE	0,46	-1,54	0,85	0,62	2,78
UK	0,26	-1,40	2,00	0,29	0,88

Tabella 2.9: Costi Esterni Marginali Per Autostrade. [fonte: “Handbook on the external costs of transport”, CE DELFT, maggio 2019]. I valori con asterisco si riferiscono a malta, dove non sono state effettuate rilevazioni.

COSTI ESTERNI MARGINALI PER STRADE URBANE E RURALI										
	Pass car (€-cent/vkm)		MC (€-cent/vkm)		Bus/coach (€-cent/vkm)		LCV (€-cent/vkm)		HGV (€-cent/vkm)	
	Urban	Rural	Urban	Rural	Urban	Rural	Urban	Rural	Urban	Rural
EU-28	2,22	0,99	4,64	-3,37	14,47	3,52	0,76	0,84	1,45	1,85
AT	4,87	2,37	45,68	-13,17	63,83	3,21	0,77	1,21	2,60	4,04
BE	2,87	1,19	10,28	-4,66	9,93	4,17	1,76	1,93	1,82	3,23
BG	0,98	0,83	8,69	-11,54	4,07	1,83	0,76	0,84	1,39	4,18
HR	6,30	0,95	19,45	-1,82	16,19	5,10	1,35	0,43	1,11	0,66
CY	1,66	0,24	7,08	-1,52	5,78	0,00	1,53	0,50	0,30	0,88
CZ	1,78	1,48	3,37	-2,58	15,78	3,25	0,78	0,72	1,24	1,34
DK	0,79	0,74	2,65	-3,82	2,71	6,97	0,19	0,35	0,82	0,56
EE	1,52	1,12	17,57	-15,80	25,17	3,24	0,72	1,48	0,10	1,23
FI	1,97	0,96	4,59	-2,83	13,59	2,70	0,73	1,20	1,00	1,43
FR	1,25	0,83	9,06	-2,88	4,13	1,11	0,41	0,54	1,53	2,30
DE	4,15	1,54	14,69	-7,27	45,97	2,89	1,45	2,38	1,50	2,00
EL	0,75	0,49	2,36	-0,89	1,30	0,38	0,38	0,97	0,55	1,30
HU	3,26	1,75	7,36	-2,71	12,59	4,01	0,77	1,44	1,21	0,94
IE	1,02	0,46	4,86	-4,22	1,12	1,61	0,11	0,29	0,28	0,22
IT	2,53	0,83	4,10	-2,92	13,77	2,98	0,87	0,64	1,67	2,36
LV	1,52	1,12	17,57	-15,80	25,17	3,24	0,72	1,48	0,10	1,23
LT	1,52	1,12	17,57	-15,80	25,17	3,24	0,72	1,48	0,10	1,23
LU	3,68	1,77	5,21	-4,27	10,96	7,05	0,16	0,13	1,27	0,00

<b>MT</b>	3,81	0,83	18,35	-5,72	17,19	7,15	3,80	0,71	1,05	0,11
<b>NL</b>	1,83	0,64	3,76	-3,07	5,43	4,07	0,57	1,16	1,01	0,79
<b>PL</b>	2,21	1,10	9,66	-2,52	10,60	2,04	0,76	0,84	1,22	1,66
<b>PT</b>	2,80	0,76	13,30	-5,84	8,62	1,96	1,37	4,18	3,00	2,85
<b>RO</b>	5,62	2,14	13,96	-16,48	13,65	21,71	4,82	3,33	1,97	0,79
<b>SK</b>	1,93	1,71	15,32	-8,03	7,42	4,94	0,19	0,28	3,36	2,37
<b>SI</b>	1,07	0,39	22,21	-3,93	0,09	0,16	0,00	0,00	0,81	0,53
<b>ES</b>	1,72	1,16	4,94	-4,41	19,38	3,10	0,98	12,77	1,07	3,05
<b>SE</b>	1,20	0,78	6,25	-2,71	4,23	2,82	0,54	0,65	0,64	0,84
<b>UK</b>	1,71	1,04	13,09	-7,75	26,75	12,35	0,54	0,70	0,91	1,18

Tabella 2.10: Costi Esterni Marginali Per Strade Urbane E Rurali. [fonte: “Handbook on the external costs of transport”, CE DELFT, maggio 2019].

## 2.4. Costi per l'inquinamento dell'aria

Per la stima quantitativa delle esternalità causate dall'inquinamento dell'aria il report utilizza il *Damage Approach*, puntando quindi a valutare i danni creati da questo elemento negativo.

Il metodo prevede un'iniziale creazione di un driver di costo che valuti il danno per unità di misura (€/t) per poi ottenere una valutazione complessiva moltiplicandolo per i dati di traffico e di emissione dei singoli stati (vengono presi dati medi su base nazionale dal database COPERT [12]). Per la creazione del driver economico è stato scelto di appoggiarsi alle metodologie NEEDS [13], che illustrano l'"*Impact Pathway Model (Ecosense)*", una metodologia creata per stimare la relazione causa-effetto tra le emissioni e i loro effetti

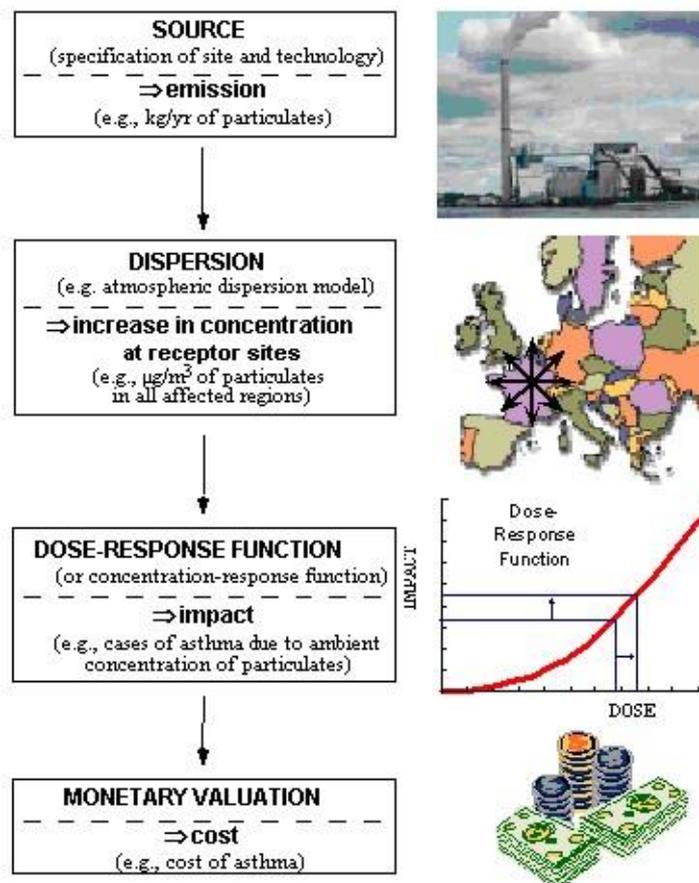


Figura 2.1: Impact Pathway Approach [fonte: NEEDS, 2008. "Deliverable No 1.1 RS 3a Report on the procedure and data to generate averaged/aggregated data", Brussels: European Commission]

Il metodo ha come primo step la stima delle emissioni inquinanti, poi la modellazione della distribuzione nell'ambiente per creare un bacino di osservazione. Verificando gli

effetti sulla popolazione selezionata e rapportandoli alla variazione della frequenza di certe patologie si riesce a stabilire una funzione di stima di impatto. Il tutto poi permette la quantificazione economica delle emissioni in termini di € / Pkm per i costi medi e € per costi totali. Per funzioni di stima di impatto si intende la creazione di Funzioni di Risposta alla Concentrazione (CRF), cioè le reazioni di determinati parametri (e.g. vita residua o probabilità di problemi cardiaci) all'aumento di inquinamento nell'aria.

Per quanto valida, la metodologia viene espressa in uno studio del 2008, ignorando quindi i risultati ottenuti dagli studi successivi; questo motivo ha portato il report a considerare i risultati ottenuti dallo studio proceduralmente corretti ma bisognosi di un raffronto con ricerche più recenti

La relativa non “freschezza” dello studio ha portato alla necessaria rivalutazione di valori alla base dello studio NEEDS, che sono stati quindi ricalcolati alla luce di nuovi dati o studi.

**Cambiamenti nelle funzioni di risposta alla concentrazione (CFR):** Il primo cambiamento effettuato è stato applicato ad alcuni dei valori CFR. A confronto delle CFR del NEEDS sono stati posti i risultati dell' “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” pubblicato nel 2013 dalla World Health Organization [14]. Questo importante studio ha permesso la delineazione di stime di riferimento nell'ambito della valutazione dei danni da inquinamento, e fornisce quindi dati accurati per fare un efficace benchmark. I valori dello studio però vengono espressi in termini di Rischio Relativo, il rapporto tra i valori osservati a due livelli diversi di emissione; il che significa che il rischio relativo (RR) può fornire una misura dell'effetto su uno specifico aspetto dell'aumento della soglia di inquinamento. Il che poi si traduce nella necessità di “tradurre” i risultati in termini relativi (RR) in termini di CFR. Questo sforzo ha generato un set di valori verificati, con alcuni di questi rivisti (7 su 18) e con l'inserimento di un nuovo valore relativo (mortalità per NO<sub>2</sub>) che non era presente negli studi iniziali.

**Cambiamenti nella popolazione:** Il numero e la distribuzione dell'età nei vari anni si sono modificati, ma come parametri risultano fondamentali, poiché specialmente alcune patologie cardiovascolari affliggono specifiche fasce d'età (persone anziane) mentre altre patologie come l'asma altre (i più giovani).

**Cambiamenti nella concentrazione delle emissioni:** Lo step 2 della procedura IPA prevede l'applicazione di un modello di dispersione delle sostanze nell'atmosfera e una analisi delle principali reazioni chimiche che avvengono in quota e al suolo in seguito a suddette emissioni. Al fine della realizzazione di una panoramica dei

principali metodi di stima dei costi esterni del trasporto autostradale, un tale livello di dettaglio è ritenibile superfluo, seppur non fuori scopo. Nel report viene brevemente riportata la procedura di revisione dei dati, che appoggiandosi al foglio di calcolo prodotto dallo studio NEEDS revisiona le previsioni di dispersione del 2010 e del 2020; in seguito, utilizzando i valori del 2016 e del 2015, valori reali, è stato possibile rivedere la stima dei danni prodotti per il 2020, e rivedere quindi alcune quantificazioni di danni che risultavano mal stimate.

**Cambiamenti nella valutazione della vita umana (VOSL o VSL):** le stime sono state riviste per i nuovi valori statistici stimati, nel modo visto nel 2.3.4.

I risultati ottenuti da queste modifiche hanno reso disponibili un set di costi per agente inquinante che poi è stato differenziato per nazione, creando così un cost driver necessario alla quantificazione. La procedura utilizzata dal report è stata basata nel complesso in un adattamento dei risultati ottenuti, senza la produzione di nuovi modelli. La realtà dei fatti è che la creazione di nuovi modelli di dispersione, o di nuovi risultati validi per nuovi parametri su modelli già creati comunque comporta un ingente sforzo, economico e accademico, e che quindi è preferibile rimodulare valori già ottenuti che creare nuove informazioni.

Oltre a creare quindi una differenziazione su base nazionale, il report ha illustrato contestualmente la procedura di differenziazione sulla base del mezzo di trasporto; il report HEATCO [15] del 2006 fornisce i dati sull'impatto delle emissioni di Particolato (PM<sub>2.5</sub>) causate dal trasporto su gomma, calcolato con analoghi CFR sia nel caso di mortalità che nel caso di patologie create da questo fenomeno. I valori sono stati poi ripresi e rimodellati con l'applicazione delle stime di VOSL usate nel report. Dato che nel report HEATCO [15] è presente una differenziazione in base all'area (zone rurali e metropolitane), anche lo studio DELFT ha riportato tali differenziazioni nei suoi risultati.

La natura dei danni causati dalle emissioni alle persone è stata illustrata nella parte precedente del paragrafo; ma essa non è l'unica componente che crea il "danno da emissione". Come visto nel capitolo precedente, vanno incluse nelle valutazioni anche i danni a coltivazioni, danni in termini di perdita di bio-diversità e danni a edifici e materiali. Le valutazioni dei danni ai materiali e edifici, vengono riportate nello studio per la valutazione dei prezzi ambientali [16] del CE DELFT e si dividono in quattro categorie:

1. **Corrosione da acidificazione**, i calcoli vengono basati da dei costi di restauro e di manutenzione di differenti materiali al metro quadro. I numeri sono stati presi dal NEEDS e aggiustati per l'aumento di edifici dal 2000 fino al 2015

2. **Inquinamento da particolato**, i conti si basano sui costi di bonifica da particolato di una serie di edifici in 15 città francesi. Una volta effettuate le correzioni necessarie si è stimato un danno di 0,3€ per un kg di PM<sub>10</sub> e di 0,15€ per un kg di PM<sub>2.5</sub>.
3. **Impatto della corrosione sui simboli culturali**, che sono assimilabili a costi di corrosione ma hanno rilevanza maggiore, e quindi costo più alto
4. **Impatto su vernici e plastiche**, l'impatto stimato è molto basso a causa della progressiva adozione di materiali non corrodibili, ed è valutato 0,1€ al kg.

I costi di perdita di coltivazioni e di biodiversità invece sono stati valutati con un approccio basato sullo studio Kuik et al, 2008, [17] che investigava sul metodo con cui stimare l'EDP (*Environmental Damage Potential*) per le produzioni di energia. Il metodo prevedeva una valutazione della WTP attraverso numerosi questionari, per andare a capire quale fosse il valore di riferimento in termini di "ristorazione del danno", per poi superare questo punto moltiplicando il risultato per 2 al fine di ottenere il vero danno alla biodiversità.

Infine, i danni alle coltivazioni sono stati valutati con un metodo analogo a quello utilizzato per i costi della salute; individuati i costi dei danni, e le varie CFR, sono stati calcolati i danni da emissione alle coltivazioni, e inseriti nel report finali maggiorati dell'imposta sul reddito, che in termini di costo sociale va considerata.

Un esempio può essere dato mostrando l'applicazione della CFR dell'impatto della SO<sub>2</sub>; il NEEDS è riuscito a evidenziare che l'effetto della specifica emissione ha un impatto di forma parabolica sulla coltivazione. Infatti, fino a 6.8 parti per miliardo (a livello molecolare) ha effetti positivi, per poi diventare dannosa. Il che si rappresenta nell'equazione

$$Y = 0.74 \cdot [\text{SO}_2] - 0.055 \cdot [\text{SO}_2]^2 \quad \text{con } 0 < [\text{SO}_2] < 13.6 \text{ ppb}$$

$$Y = -0.69 \cdot [\text{SO}_2] + 9.35 \quad \text{con } [\text{SO}_2] > 13.6 \text{ ppb} \quad (2.8)$$

Dove Y rappresenta la perdita relativa di coltivazione, SO<sub>2</sub> la concentrazione in ppb, e i coefficienti sono i CFR stimati dallo studio. Gli sforzi qui presentati hanno quindi prodotto il driver di costo necessario al percorso valutativo, differenziati sulla base del luogo di emissione (rurale, urbana o, se con più di 500 mila abitanti, metropolitana).

Area	€/ton NO <sub>x</sub>		€/ton NMVOC	€/ton SO <sub>2</sub>	€/ton PM <sub>2,5</sub>		€/ton PM <sub>10</sub>	
	Urbana	Rurale	Ovunque	Ovunque	Metropolitana	Urbana	Rurale	Ovunque
EU-28	21.300	12.600	1.200	10.900	381.000	123.000	70.000	22.300
AT	41.400	24.300	2.300	16.200	466.000	151.000	87.000	30.900
BE	26.100	15.100	3.600	17.100	479.000	155.000	114.000	47.200
BG	10.000	5.900	0	4.200	191.000	61.000	30.000	5.400
HR	18.500	11.400	900	8.000	292.000	95.000	54.000	8.200

CY	8.100	4.500	-400	7.800	0	71.000	17.000	20.100
CZ	24.800	14.800	1.100	11.600	361.000	116.000	72.000	39.600
DK	16.200	9.600	1.500	9.600	470.000	151.000	59.000	15.000
EE	5.400	3.400	300	5.200	0	102.000	35.000	4.900
FI	5.300	3.500	400	4.600	366.000	118.000	32.000	11.900
FR	27.200	16.200	1.500	13.900	407.000	131.000	87.000	5.900
DE	36.800	21.600	1.800	16.500	448.000	144.000	93.000	24.700
EL	5.100	3.100	300	5.900	267.000	86.000	33.000	24.800
HU	26.800	15.800	800	9.900	317.000	102.000	59.000	8.500
IE	17.600	10.100	1.700	11.800	568.000	183.000	68.000	12.200
IT	25.400	15.100	1.100	12.700	409.000	132.000	79.000	19.000
LV	7.200	4.400	400	4.800	251.000	81.000	28.000	17.200
LT	12.100	7.100	600	6.400	300.000	98.000	38.000	27.000
LU	66.800	38.400	6.200	29.300	0	278.000	191.000	8.000
MT	2.300	1.400	400	4.300	0	72.000	18.000	63.900
NL	26.500	15.300	2.800	20.200	458.000	148.000	101.000	5.600
PL	14.700	8.900	700	8.200	282.000	91.000	52.000	5.200
PT	2.800	1.700	500	4.100	292.000	94.000	39.000	47.300
RO	19.400	11.200	500	7.300	272.000	88.000	42.000	16.100
SK	24.800	14.700	700	10.100	328.000	105.000	59.000	12.300
SI	22.300	13.700	1.200	9.200	0	93.000	52.000	12.000
ES	8.500	5.100	700	6.800	348.000	112.000	46.000	10.200
SE	9.500	6.000	700	5.500	374.000	120.000	38.000	15.200
UK	13.600	7.900	1.400	10.000	380.000	122.000	65.000	16.200

Tabella 2.11: Valutazione economica dell'emissione di agenti inquinanti nell'aria [fonte: "Handbook on the external costs of transport", CE DELFT, maggio 2019]

Ottenuto il driver di costi lo step successivo è il calcolo dei volumi di emissioni; questo pone un'ulteriore sfida al processo di stima a causa dell'enorme varietà di categorie di emissioni. Non solo i vari veicoli hanno emissioni diverse infatti, ma anche tra veicoli dello stesso tipo il panorama emissivo è vario. La comunità europea, ha ritenuto conveniente quindi classificare tali differenze creando dei cluster univoci: le classi EURO. La data di inizio per queste classificazioni è l'anno 1992, anno in cui sono state installate le marmitte catalitiche, per poi progredire con classificazioni sempre più stringenti in termini di emissioni.

<b>Euro 0</b>	Auto precedenti al 1992	Alimentate a benzina al piombo e senza filtri dei gas di scarico
<b>Euro 1</b>	1993-1997	Obbligo di marmitta catalitica, o per modelli diesel l'alimentazione a iniezione
<b>Euro 2</b>	1997-2001	Si migliorano le prestazioni tecniche delle innovazioni precedenti
<b>Euro 3</b>	2001-2006	Obbligo di installazione del European On Board Diagnostic, un sistema di spic per il rilevamento di danni ai filtri
<b>Euro 4</b>	2006-2009	Ulteriore obbligo di riduzione di emissioni
<b>Euro 5</b>	2009-2015	Ulteriore obbligo di riduzione di emissioni

<b>Euro 6</b>	<b>2015 in poi</b>	<b>Vetture ibride o elettriche, anche le macchine totalmente a benzina e diesel trattano i gas di scarico per un'emissione meno dannosa possibile</b>
---------------	--------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabella 2.12: Classificazione Classi Euro [Fonte: Home page del sito della società Leaseplan [18]]

Questa classificazione ha reso possibile il calcolo del fattore di emissione per ogni veicolo, così da ottenere il valore di tonnellata di emissione per passeggero-chilometro. I dati di questa valutazione sono stati presi dal database *Copert*, che fornisce tutto il set necessario al calcolo delle emissioni medie di una vettura. Il progetto mette anche a disposizione un software per il calcolo delle emissioni totali, a fronte dei dati necessari sul traffico, ottenuti da Eurostat. Incrociando il driver con i valori di emissioni totali si arriva al calcolo dei costi totali dovuti alle emissioni.

<b>Costi Totali (BN €)</b>									
	<b>TOTAL (BN €)</b>	<b>PASS CAR PETROL</b>	<b>PASS CAR DIESEL</b>	<b>BUS</b>	<b>COACH</b>	<b>MC</b>	<b>LCV PETROL</b>	<b>LCV DIESEL</b>	<b>HGV</b>
EU-28	<b>68,650</b>	8,576	24,786	1,354	2,671	1,843	0,326	15,160	13,934
AT	<b>2,001</b>	0,119	0,828	0,023	0,100	0,033	0,003	0,654	0,241
BE	<b>2,420</b>	0,280	1,136	0,062	0,077	0,051	0,003	0,451	0,361
BG	<b>0,627</b>	0,197	0,145	0,032	0,034	0,001	0,001	0,041	0,175
HR	<b>0,438</b>	0,040	0,152	0,005	0,017	0,012	0,001	0,125	0,086
CY	<b>0,037</b>	0,005	0,003	0,002	0,002	0,000	0,000	0,021	0,003
CZ	<b>2,051</b>	0,218	0,455	0,041	0,122	0,046	0,026	0,436	0,707
DK	<b>0,631</b>	0,104	0,169	0,022	0,013	0,008	0,003	0,185	0,127
EE	<b>0,096</b>	0,029	0,033	0,004	0,004	0,000	0,000	0,011	0,015
FI	<b>0,443</b>	0,109	0,099	0,011	0,008	0,005	0,001	0,124	0,086
FR	<b>13,360</b>	0,832	6,413	0,181	0,505	0,186	0,057	3,676	1,508
DE	<b>13,162</b>	1,972	5,019	0,296	0,399	0,291	0,011	1,801	3,373
EL	<b>0,575</b>	0,083	0,200	0,020	0,040	0,029	0,028	0,075	0,099
HU	<b>1,035</b>	0,102	0,171	0,034	0,102	0,021	0,013	0,237	0,355
IE	<b>0,904</b>	0,079	0,253	0,035	0,034	0,005	0,000	0,444	0,055
IT	<b>10,471</b>	1,306	3,706	0,150	0,625	0,792	0,056	2,584	1,252
LV	<b>0,167</b>	0,025	0,062	0,003	0,003	0,000	0,000	0,011	0,063
LT	<b>0,633</b>	0,069	0,245	0,014	0,002	0,006	0,002	0,086	0,209
LU	<b>0,610</b>	0,011	0,127	0,010	0,010	0,009	0,001	0,315	0,127
MT	<b>0,013</b>	0,002	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,002	0,006
NL	<b>2,687</b>	0,569	0,517	0,018	0,023	0,054	0,006	0,836	0,662
PL	<b>3,581</b>	0,769	0,624	0,163	0,097	0,018	0,023	0,393	1,494
PT	<b>0,741</b>	0,066	0,248	0,004	0,009	0,009	0,001	0,288	0,116
RO	<b>1,287</b>	0,267	0,281	0,077	0,070	0,003	0,057	0,138	0,394
SK	<b>0,673</b>	0,069	0,142	0,030	0,020	0,002	0,007	0,098	0,305
SI	<b>0,375</b>	0,034	0,119	0,003	0,017	0,002	0,001	0,058	0,141
ES	<b>4,102</b>	0,378	1,699	0,029	0,132	0,216	0,008	0,555	1,085
SE	<b>0,722</b>	0,157	0,205	0,014	0,011	0,007	0,007	0,141	0,180

<b>UK</b>	<b>4,808</b>	0,686	1,729	0,070	0,195	0,036	0,008	1,374	0,709
-----------	--------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Tabella 2.13: Costi Totali causati dall'emissione di agenti inquinanti nell'aria. [fonte: "Handbook on the external costs of transport", CE DELFT, maggio 2019]

Costi Medi (€-CENT PER PKM OR TKM)								
	Pass car petrol	Pass car diesel	Bus	Coach	MC	LCV - petrol	LCV - diesel	HGV
<b>EU-28</b>	0,33	1,18	0,76	0,73	1,12	1,72	4,86	0,76
<b>AT</b>	0,355	1,853	1,243	1,187	1,986	1,066	8,248	0,921
<b>BE</b>	0,688	1,711	0,938	0,896	2,318	2,363	4,833	1,169
<b>BG</b>	0,551	0,691	0,544	0,520	0,320	0,421	2,094	0,495
<b>HR</b>	0,272	1,281	0,682	0,651	0,916	0,515	2,522	0,762
<b>CY</b>	0,085	0,452	0,298	0,285	0,154	0,584	3,375	0,477
<b>CZ</b>	0,484	1,841	1,032	0,986	1,325	4,007	8,230	1,404
<b>DK</b>	0,292	0,809	0,513	0,490	0,865	0,561	2,428	0,790
<b>EE</b>	0,363	0,755	0,259	0,248	0,000	0,945	2,166	0,222
<b>FI</b>	0,217	0,617	0,251	0,240	0,408	0,968	3,168	0,321
<b>FR</b>	0,387	1,260	1,010	0,965	0,957	2,787	7,382	0,968
<b>DE</b>	0,316	1,650	1,096	1,047	1,754	1,172	8,969	1,068
<b>EL</b>	0,151	0,465	0,291	0,278	0,268	0,669	3,027	0,405
<b>HU</b>	0,261	1,115	0,789	0,754	1,165	5,274	5,138	0,886
<b>IE</b>	0,276	1,082	0,659	0,630	0,828	0,484	3,188	0,470
<b>IT</b>	0,347	1,224	0,780	0,745	1,352	3,512	6,510	1,111
<b>LV</b>	0,396	0,851	0,275	0,263	0,610	0,377	1,517	0,440
<b>LT</b>	0,771	1,545	0,604	0,577	1,232	1,340	2,974	0,675
<b>LU</b>	0,429	2,630	1,846	1,763	2,134	4,022	23,357	1,361
<b>MT</b>	0,101	0,301	0,169	0,162	0,122	0,489	1,118	0,326
<b>NL</b>	0,496	2,110	0,868	0,829	1,594	2,056	5,668	0,977
<b>PL</b>	0,590	0,890	0,703	0,672	0,584	1,120	3,041	0,514
<b>PT</b>	0,158	0,576	0,229	0,219	0,502	0,598	1,224	0,333
<b>RO</b>	0,472	0,846	0,858	0,820	0,765	6,100	5,484	0,817
<b>SK</b>	0,386	1,456	0,941	0,899	0,803	1,313	4,411	0,845
<b>SI</b>	0,232	1,036	0,586	0,560	0,720	0,327	2,740	0,756
<b>ES</b>	0,274	0,945	0,359	0,343	0,823	3,483	7,109	0,500
<b>SE</b>	0,205	0,582	0,260	0,249	0,603	0,820	1,649	0,422
<b>UK</b>	0,172	0,671	0,673	0,642	0,444	0,340	2,300	0,457

Tabella 2.14: Costi Medi causati dall'emissione di agenti inquinanti nell'aria. [fonte: "Handbook on the external costs of transport", CE DELFT, maggio 2019]

Stimati i costi totali e medi, in linea con il paragrafo precedente, segue la stima dei costi marginali delle emissioni di agenti inquinanti nell'aria. A differenza del caso degli

incidenti il rapporto che lega gli agenti chimici nell'aria e le varie componenti che ne subiscono i danni risulta chiaro e lineare, andando a semplificare quindi il calcolo dei costi marginali che diventano assimilabili a costi medi e quindi già calcolati. La funzione principale di questi calcoli marginali, è la futura applicazione degli stessi in politiche di internalizzazione, come in oneri sui carburanti, o costi aggiuntivi da inserire in tariffe autostradali; per questo motivo è utile riportare qui un esempio di pattern di costi marginali (nel caso in attenzione di macchine passeggeri) con in luce le eventuali differenze.

Fuel	Taglia	Euro Standard	Area Metropolitana			Area Urbana		Area Extraurbana	
			Autostrada	Strada Urbana	Strada Rurale	Autostrada	Strada Urbana	Autostrada	Rural
Petrol	Mini	Euro 4	0,09	0,19	0,10	0,06	0,15	0,03	0,05
Petrol	Mini	Euro 5	0,08	0,13	0,09	0,05	0,09	0,03	0,03
Petrol	Mini	Euro 6	0,09	0,14	0,09	0,05	0,10	0,03	0,04
Petrol	Small	Euro 0	4,58	4,23	4,71	4,53	4,14	2,78	2,86
Petrol	Small	Euro 1	1,29	0,87	0,76	1,25	0,79	0,78	0,46
Petrol	Small	Euro 2	0,57	0,58	0,47	0,52	0,50	0,35	0,28
Petrol	Small	Euro 3	0,27	0,30	0,23	0,23	0,27	0,18	0,15
Petrol	Small	Euro 4	0,19	0,26	0,17	0,16	0,23	0,13	0,12
Petrol	Small	Euro 5	0,18	0,21	0,16	0,14	0,17	0,13	0,10
Petrol	Small	Euro 6	0,18	0,22	0,16	0,15	0,18	0,13	0,11
Petrol	Medium	Euro 0	7,14	4,78	5,99	7,09	4,70	4,29	3,62
Petrol	Medium	Euro 1	1,36	0,87	0,76	1,31	0,79	0,82	0,46
Petrol	Medium	Euro 2	0,57	0,58	0,47	0,52	0,50	0,35	0,28
Petrol	Medium	Euro 3	0,27	0,30	0,23	0,24	0,27	0,18	0,15
Petrol	Medium	Euro 4	0,19	0,26	0,17	0,16	0,23	0,13	0,12
Petrol	Medium	Euro 5	0,19	0,21	0,16	0,15	0,17	0,13	0,10
Petrol	Medium	Euro 6	0,19	0,22	0,16	0,15	0,18	0,13	0,11
Petrol	Large-SUV-Executive	Euro 0	12,84	5,93	8,89	12,79	5,84	7,66	5,34
Petrol	Large-SUV-Executive	Euro 1	1,38	0,87	0,76	1,33	0,79	0,83	0,46
Petrol	Large-SUV-Executive	Euro 2	0,57	0,58	0,47	0,53	0,50	0,35	0,28
Petrol	Large-SUV-Executive	Euro 3	0,27	0,30	0,23	0,24	0,27	0,19	0,15
Petrol	Large-SUV-Executive	Euro 4	0,19	0,26	0,17	0,16	0,23	0,13	0,12
Petrol	Large-SUV-Executive	Euro 5	0,19	0,21	0,16	0,15	0,17	0,13	0,10
Petrol	Large-SUV-Executive	Euro 6	0,19	0,22	0,16	0,15	0,18	0,13	0,11
Diesel	Mini	Euro 4	2,60	2,67	1,90	1,89	1,84	1,15	0,78
Diesel	Mini	Euro 5	1,45	1,63	1,17	1,41	1,56	0,88	0,69
Diesel	Mini	Euro 6	1,20	1,35	0,96	1,18	1,29	0,74	0,58

Diesel	Small	Euro 0	9,14	10,75	6,05	3,88	4,39	2,28	1,55
Diesel	Small	Euro 1	6,57	4,03	3,59	3,23	2,36	1,91	1,21
Diesel	Small	Euro 2	3,93	3,76	2,74	2,42	2,37	1,46	1,05
Diesel	Small	Euro 3	3,86	2,99	2,61	2,51	2,15	1,51	1,12
Diesel	Small	Euro 4	2,60	2,67	1,90	1,89	1,84	1,15	0,78
Diesel	Small	Euro 5	1,45	1,63	1,17	1,41	1,56	0,88	0,69
Diesel	Small	Euro 6	1,20	1,35	0,96	1,18	1,29	0,74	0,58
Diesel	Medium	Euro 0	9,61	11,10	6,35	4,30	4,74	2,53	1,73
Diesel	Medium	Euro 1	6,63	4,03	3,61	3,25	2,36	1,93	1,21
Diesel	Medium	Euro 2	3,96	3,77	2,75	2,44	2,38	1,47	1,05
Diesel	Medium	Euro 3	3,89	2,99	2,62	2,52	2,15	1,52	1,12
Diesel	Medium	Euro 4	2,62	2,67	1,90	1,90	1,84	1,16	0,78
Diesel	Medium	Euro 5	1,46	1,63	1,16	1,42	1,56	0,88	0,69
Diesel	Medium	Euro 6	1,21	1,35	0,96	1,19	1,29	0,74	0,58
Diesel	Large-SUV-Executive	Euro 0	10,09	11,44	6,65	4,72	5,08	2,78	1,92
Diesel	Large-SUV-Executive	Euro 1	6,69	4,03	3,63	3,27	2,36	1,94	1,22
Diesel	Large-SUV-Executive	Euro 2	3,99	3,77	2,75	2,46	2,38	1,48	1,05
Diesel	Large-SUV-Executive	Euro 3	3,92	2,99	2,63	2,54	2,15	1,53	1,12
Diesel	Large-SUV-Executive	Euro 4	2,64	2,67	1,90	1,92	1,84	1,17	0,78
Diesel	Large-SUV-Executive	Euro 5	1,47	1,63	1,16	1,43	1,56	0,89	0,69
Diesel	Large-SUV-Executive	Euro 6	1,22	1,35	0,96	1,19	1,29	0,75	0,58
Petrol Hybrid	Mini	Euro 4	0,13	0,09	0,11	0,13	0,09	0,12	0,09
Petrol Hybrid	Small	Euro 4	0,13	0,09	0,11	0,13	0,09	0,12	0,09
Petrol Hybrid	Large-SUV-Executive	Euro 4	0,13	0,09	0,11	0,13	0,09	0,12	0,09
LPG Bifuel	Small	Euro 1	0,87	1,02	0,75	0,82	0,94	0,53	0,44
LPG Bifuel	Small	Euro 2	0,42	0,49	0,36	0,37	0,41	0,26	0,21
LPG Bifuel	Small	Euro 3	0,27	0,30	0,23	0,24	0,27	0,19	0,15
LPG Bifuel	Small	Euro 4	0,19	0,27	0,17	0,16	0,23	0,13	0,12
LPG Bifuel	Small	Euro 5	0,18	0,23	0,15	0,15	0,20	0,13	0,11
LPG Bifuel	Small	Euro 6	0,18	0,23	0,15	0,15	0,20	0,13	0,11
CNG Bifuel	Small	Euro 4	0,19	0,26	0,17	0,16	0,23	0,13	0,12
CNG Bifuel	Small	Euro 5	0,18	0,23	0,15	0,15	0,19	0,13	0,11
CNG Bifuel	Small	Euro 6	0,18	0,23	0,15	0,15	0,19	0,13	0,11

Tabella 2.15: Costi marginali dell'inquinamento dell'aria. [fonte: "Handbook on the external costs of transport", CE DELFT, maggio 2019]

I risultati così presentati possono quindi suggerire una futura differenziazione nell'applicare delle tariffe per internalizzare i suddetti costi. Ad un ipotetico casello, oltre a differenziare in base alla dimensione del veicolo (o per essere più specifici al numero di assi), ci si potrebbe concentrare sull'appartenenza a classi Euro specifiche e al tipo di carburante che il veicolo richiede; questi provvedimenti aiuterebbero a raggiungere l'applicazione di tariffe in linea con i principi *polluter-pays*. Altra soluzione potrebbe essere quella di applicare una differenziazione nei prezzi dei rifornimenti, anche in quel caso in base alle caratteristiche viste in precedenza. A ostacolare questa soluzione sorge solo il problema del luogo di emissione, poiché un rifornimento di carburante in autostrada, ad esempio, può essere sfruttato anche dopo l'uscita da essa, e quindi l'emissione può essere accompagnata da due tipi di costo marginale differente. Questa obiezione fa dubitare dell'efficacia di questa soluzione di internalizzazione.

## 2.5. Costi per il cambiamento climatico

I costi derivati dal cambiamento climatico sono particolarmente ardui da valutare a causa dell'imprevedibilità degli sviluppi a lungo termine e della natura globale degli effetti. A causare tali costi sono i cosiddetti gas serra, emissione del sistema trasporto su gomma, che si possono definire come:

---

*Qualsiasi gas caratterizzato dalla proprietà di assorbire radiazioni a infrarossi emesse dalla superficie del pianeta e emetterle nuovamente verso il pianeta, intrappolando calore. [fonte: Greenhouse Gas, Michael E. Mann, 2019, Encyclopædia Britannica][19]*

---

L'effetto di questi gas diventa fondamentale per il bilancio di calore della terra pur essendo solo in piccola parte presenti in atmosfera. La principale fonte di emissione di questo tipo di gas è la combustione fossile che sia in ambito industriale sia in ambito di trasporti è responsabile del rapido aumento della concentrazione nell'atmosfera. L'effetto di tali gas è tuttavia ad oggi incerto poiché dipende da fattori delicati come la natura chimica dei gas e la relativa concentrazione nei vari strati dell'atmosfera; alcuni di questi gas infatti hanno alta capacità di assorbimento mentre altri ne hanno bassa, e quindi il loro effetto sarà funzione sia del volume che delle caratteristiche, oltre che in base a potenziali reazioni ad alta quota.

Si procederà ora ad una rapida descrizione dei 3 principali gas serra (GHG) presi in attenzione dal report, poiché ritenuti diretta emissione del trasporto su gomma [19].

**Anidride Carbonica (o Biossido di Carbonio):** Il principale gas serra su cui la narrazione scientifica ha concentrato i propri studi; l'anidride carbonica, in natura, può essere rilasciata in vari modi, come dall'attività vulcanica, dalla combustione e dal naturale decadimento organico, e persino dall'attività aerobica degli organismi che consumano ossigeno. Il punto chiave di questo è che però queste fonti sono incluse in un ciclo bilanciato di emissione/assorbimento, insieme a processi o chimici o fisici o biologici (detti "Sinks") di rimozione di CO<sub>2</sub> dall'atmosfera. Il più famoso, ad esempio, di questi processi è la fotosintesi, ma ne esistono anche altri anche di maggior rilevanza, come alcuni processi oceanici come l'assorbimento di CO<sub>2</sub> della superficie acquatica e la successiva discesa in profondità, o l'assorbimento da parte di vegetazione marina o di fitoplancton.

A sbilanciare tale equilibrio interviene l'attività umana, che ha innalzato l'emissione di CO<sub>2</sub> a livelli insostenibili sia tramite la combustione di fossili, di cui in gran parte per il trasporto sia di merci che di persone, sia tramite la creazione di cemento. Oltre a ciò la deforestazione artificiale, sia tramite roghi che tramite abbattimenti contribuisce a sbilanciare l'equilibrio visto in precedenza. Dal 1959 al 2006 è stata emessa in atmosfera CO<sub>2</sub> ad un tasso di accumulo di 1.4 parti per milione (PPM), per andarsi ad intensificare negli ultimi 12 anni, fino al 2 PPM attuali.

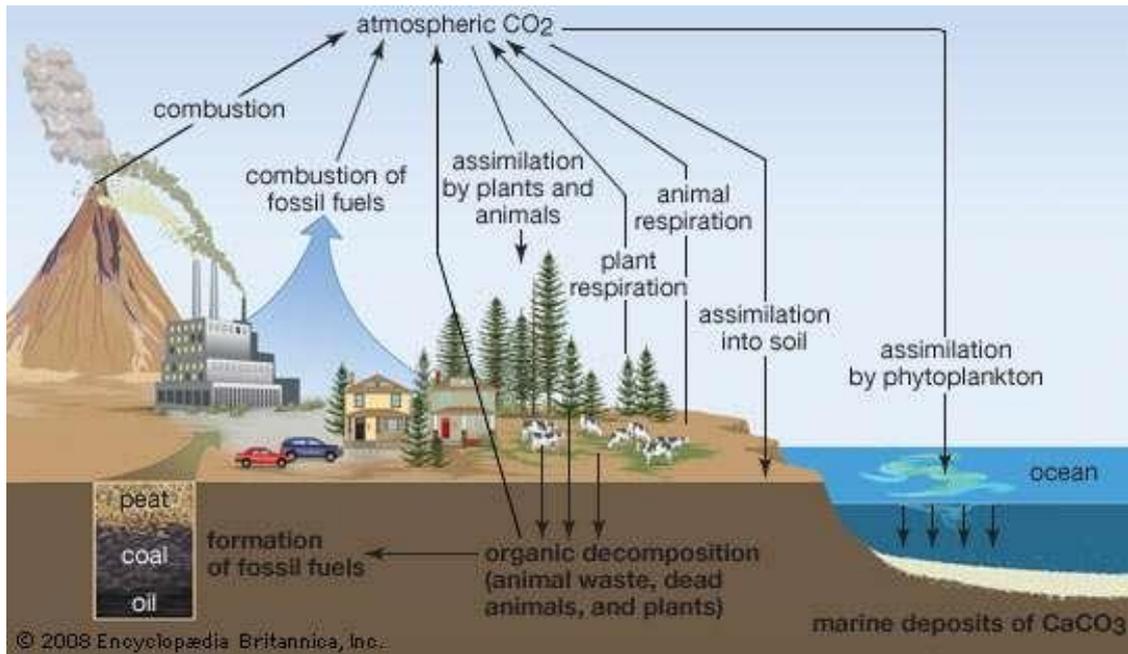


Figura 2.2: Il ciclo della CO<sub>2</sub> [Fonte: Greenhouse Gas, Michael E. Mann, 2019, Encyclopædia Britannica]

**Metano:** per importanza, forse il secondo gas serra, ha un potenziale termico maggiore, essendo in grado di trattenere e rimandare sulla superficie terrestre più calore della CO<sub>2</sub>. Per fortuna la concentrazione è decisamente minore, tanto che l'unità di misura della concentrazione in questo caso è il PPB (parti per miliardo), anche grazie al fatto che il tempo di permanenza in atmosfera rispetto all'anidride è di 10 volte inferiore (10 anni contro un centinaio). Anche il metano è caratterizzato da un circolo naturalmente bilanciato, dove a emetterlo sono ancora una volta attività vulcaniche, zone umide come paludi e acquitrini, e attività legate allo scioglimento del permafrost. A fornire attività di "sink" invece agisce principalmente l'atmosfera stessa, o meglio gli ioni OH<sup>-</sup> (Ione Ossidrile), di cui la troposfera è piena, e che reagendo con il metano libera vapore acqueo e anidride carbonica

Anche in questo caso l'attività umana ha aumentato i livelli di emissione del gas, andando a compromettere l'equilibrio del ciclo, diventando ad oggi responsabile del 70%

d'emissione di metano nell'atmosfera. Il problema con questa particolare emissione (creata tra le altre anche in questo in larga parte dalla combustione fossile) è che gli effetti a lungo termine sono difficilmente stimabili, proprio a causa delle sue reazioni in alta quota e del suo relativamente basso periodo in quota.

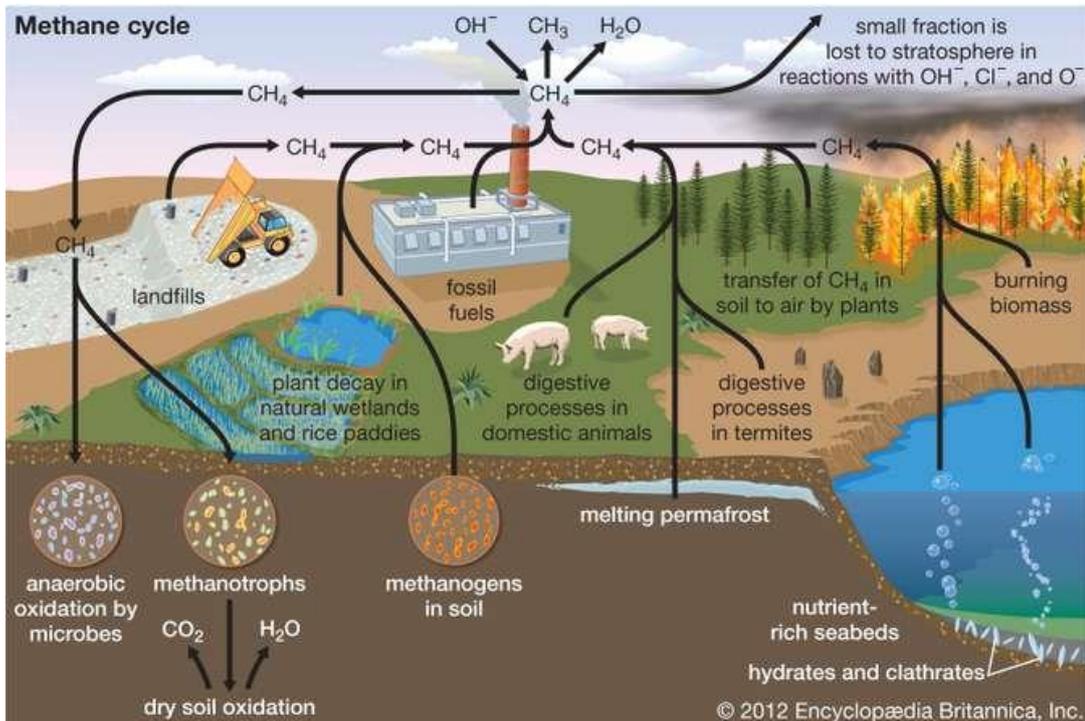


Figura 2.3: Ciclo del metano [Fonte: Greenhouse Gas, Michael E. Mann, 2019, Encyclopædia Britannica]

**Ossidi di Azoto:** considerando prevalentemente l'ossido nitroso N<sub>2</sub>O (anidride iponitrosa) ma anche tutti gli altri ossidi di azoto NO<sub>x</sub>, hanno bassa concentrazione ma altissimo potenziale termico.

A fronte di tre diversi gas serra considerati nel report, è stato necessario trovare un metodo che omogeneizzasse le emissioni, per valutare i costi e i danni.

Il *Global Warming Potential* (GWP) è definibile come il rapporto tra il calore intrappolabile in un intervallo di tempo in due identiche masse di gas differenti; presentato dalla IPCC nel 1990, il suo scopo era quello di semplificare i calcoli per valutare il Global Warming, rendendolo in pratica una misura relativa rispetto alla CO<sub>2</sub> di quanto fosse impattante sui fenomeni di surriscaldamento, o in parole più povere quanto fosse più potente il gas in analisi rispetto alla CO<sub>2</sub> in termini di riscaldamento globale. Il GWP è diventato la metrica principale per l'adattamento di gas quando si trattano le emissioni adottando come standard temporale i 100 anni, ma senza particolari motivazioni scientifiche a giustificare il particolare lasso di tempo.

I valori GWP di riferimento di questo report sono:  $GWP_{CO_2} = 1$ ,  $GWP_{CH_4}=34$ ,  $GWP_{N_2O}=298$  [20]

Per la stima di questa esternalità ci si può affidare all'analogo schema dell'inquinamento dell'aria, anche perché molti studi vedono i due problemi come un unico effetto. Vengono quindi valutate tre componenti, che poi aggregate danno la stima finale, con un classico metodo bottom up, moltiplicando un driver di costo per le emissioni totali. Sono stati necessari al calcolo quindi sia la definizione di un driver di costo che la definizione delle emissioni totali, a loro volta suddivise in emissioni medie per veicolo (*GHG Emission Factors*) e in dati sul traffico, per ottenere il chilometraggio totale di ogni veicolo.

Siccome ci si occupa, come visto, di tre differenti gas le emissioni totali possono essere rappresentate con la formula:

$$\sum_{i=0}^n VKm_i (EF_{CO_2} + GWP_{CH_4} EF_{CH_4} + GWP_{NO_x} EF_{NO_x}) \quad (2.9)$$

Dove  $VKm_i$  sono i Chilometro Veicolo di ogni singola categoria di trasporto e i vari EF sono gli *Emission Factors* della tipologia di vettura (espressi in grammi al VKm). Anche in questo caso conviene differenziare non solamente per tipo di veicolo in senso classico, ma unire anche una differenziazione di taglia e di carburante. Questa differenziazione è possibile anche perché ancora una volta lo studio si appoggia alle valutazioni e ai dati del database Copert in collaborazione con Eurostat.

La vera differenza tra inquinamento dell'aria e *Climate Change*, in termini di stima delle esternalità, sta nella definizione del driver di costo e nell'approccio usato per definirlo. In questo caso infatti sono possibili due approcci alternativi; o si usa il *Damage Cost Approach*, come nei paragrafi precedenti, o si utilizza l'*Avoidance Cost Approach*, basandosi sui livelli di  $CO_2$  e equivalenti stabiliti negli Accordi di Parigi.

Sebbene entrambi siano possibili, il primo approccio è particolarmente difficoltoso da applicare, a causa della incertezza e della natura stessa degli effetti del Riscaldamento globale. Come abbiamo visto prima questo metodo si basa sulla stima dei costi dei danni che la situazione attuale senza interventi di rettifica porterebbe. Molti studi si sono approcciati a queste valutazioni scontrandosi con una serie di parametri che hanno reso i loro risultati troppo sensibili alle assunzioni [21].

L'IPCC definisce tre categorie differenti di "effetti" di cambio climatici, discriminando in base al livello di confidenza [22]; la prima è la categoria "previsioni accurate", cioè effetti che in tutti i modelli climatici vengono stimati comunemente con una alta dose di certezza (un esempio è il rapporto innalzamento del livello del mare in relazione all'aumento della temperatura). Segue "fasce di rischio", che sono previsioni con effetti poco chiare, e che quindi come risultato si affidano a fasce di probabilità, come le percentuali di aumento di siccità nelle varie zone del pianeta. Infine, i "cambi di sistema",

cioè sconvolgimenti di grandi proporzioni che riguardano vaste regioni; al momento questi scenari sono oltre le capacità predittive degli attuali strumenti, quanto nello scopo di ottenere valutazioni precise e non solamente indicative.

Oltre alla difficoltà di stabilire gli effetti con precisione sorge anche il problema di dover valutare economicamente questi impatti, e anche qui la sfida è tutt'altro che banale. Gli effetti sono suddivisibili in “danni valutabili con prezzi di mercato”, quelli “non valutabili a prezzi di mercato” e “danni sociali”, cioè a creazione di situazione che direttamente o indirettamente possono portare problemi all'umanità (è il caso delle stime degli effetti di una guerra o di una carestia causata dal Cambio Climatico). Un tentativo di *Damage Cost Approach* dovrebbe scontrarsi anzitutto con questi elementi di confusione



Figura 2.4: Matrice dei potenziali rischi, rappresentati secondo le dimensioni descritte dall'IPCC. Elaborazione personale su dati di "The Impacts and Costs of Climate Change, Final Report"; Paul Watkiss, Tom Downing, Claire Handley, Ruth Butterfield; 2005; AEA Technology Environment Stockholm Environment Institute, Oxford

Oltre che alla difficoltà di riconoscere e quantificare secondo le corrette dimensioni di costo i vari effetti del CC, ci sono aspetti che aumentano l'incertezza sui risultati ottenuti fino a ora. [23]

Questi aspetti includono: la risposta del clima alle concentrazioni di biossido di carbonio; circuiti di feedback positivi e negativi nel sistema climatico; tassi di crescita delle emissioni per vari scenari socioeconomici; la completezza e l'accuratezza delle stime dei

danni (in particolare per quanto riguarda danni catastrofici, migrazione e conflitti, variabilità meteorologica e feedback sulla crescita economica); la capacità delle generazioni future di adattarsi ai cambiamenti climatici; e il "tasso di sconto" economico utilizzato per tradurre i costi futuri in dollari correnti.

L'analisi di due modelli, ENVISAGE e CRED, ha suggerito che - a seconda delle ipotesi su come i danni futuri saranno valutati nella moneta di oggi - il costo globale atteso di una tonnellata di anidride carbonica emessa nel 2020 è compreso tra \$ 12 e \$ 64 (con \$ 43 come valore centrale).

I costi futuri dei cambiamenti climatici, però, potrebbero essere ancora più elevati, per quattro motivi:

In primo luogo, gli impatti delle variazioni storiche della temperatura suggeriscono che le società e le economie potrebbero essere più vulnerabili al clima di quanto prevedano i modelli attuali e che la variabilità delle condizioni climatiche è più importante della temperatura media nel determinare gli impatti, in particolare per la crescita delle colture e la sicurezza alimentare.

In secondo luogo, i modelli omettono danni alla produttività del lavoro, alla crescita e al valore del capitale sociale, compresi edifici e infrastrutture, come si evidenzia dalla Figura 2.4. Un calo significativo del benessere umano è possibile nel medio e lungo termine a causa degli effetti aggravanti della crescita perduta. Inoltre, non vengono presi in considerazione i rischi di guerre indotte dal clima, colpi di stato o collassi sociali e le conseguenti crisi economiche (o meglio vengono citate come possibilità e riportati come possibili danni, ma al momento della quantifica vengono ignorate).

In terzo luogo, i modelli presuppongono che il valore che le persone attribuiscono agli ecosistemi rimarrà costante, e che quindi la WTP alla base delle stime possa essere costante anch'essa. Tuttavia, man mano che le merci diventano più scarse, il suo valore aumenterà. Nel deserto, l'acqua è estremamente preziosa. Durante un'alluvione, la terraferma è molto apprezzata. Poiché è probabile che i servizi forniti dagli ecosistemi diminuiscano man mano che il riscaldamento li degrada, i costi dei danni futuri dell'ecosistema causati dai cambiamenti climatici aumenteranno più rapidamente di quanto previsto dai modelli.

Infine, le principali valutazioni presuppongono un tasso di sconto costante per tradurre i danni futuri in denaro di oggi. Tuttavia, per gli impatti che sono entrambi altamente incerti e che si verificano in un futuro lontano, gli economisti hanno dimostrato che dovrebbe essere usato un tasso di sconto che decresce nel tempo [24], con tassi di sconto per il lontano futuro significativamente inferiori a quelli che sono stati utilizzati. Questo approccio produrrebbe un valore attuale più elevato agli impatti a lungo termine dei

cambiamenti climatici e quindi un valore più elevato per il costo sociale del carbonio. È vero che i futuri sviluppi tecnologici potrebbero meglio equipaggiare la società per far fronte ai cambiamenti climatici. E ovviamente la distorsione generale non può essere determinata semplicemente aggiungendo distorsioni in ciascuna direzione. Ma la maggior parte della letteratura e degli argomenti indica che i modelli di costo sociale stanno sottovalutando i danni del cambiamento climatico. Ad esempio “UK HM Treasury Green Book” raccomanda un tasso di sconto del 3,5% per progetti fino a 30 anni con un declino da allora in poi.

Period of years	0–30	31–75	76–125	126–200	201–300	301+
Discount rate	3.5%	3.0%	2.5%	2.0%	1.5%	1.0%

Tabella 2.16: Tassi di sconto consigliati per valutazioni di lungo periodo in ambito climatico [fonte: "The Impacts and Costs of Climate Change, Final Report"; Paul Watkiss, Tom Downing, Claire Handley, Ruth Butterfield; 2005; AEA Technology Environment Stockholm Environment Institute, Oxford]

Queste valutazioni portano ad univoca conclusione: l’approccio che richieda stimare i danni del cambiamento climatico si espone a gravi errori di sottostima e imprecisione.

L’approccio alternativo è l’Avoidance Cost, che ruota attorno al concetto di costo marginale per il raggiungimento di un determinato livello di emissioni, e che si basa attorno a delle analisi di *cost/effectiveness*, le quali determinano le opzioni meno costose per giungere a determinati livelli di CO<sub>2</sub>. Questo approccio delinea fin dalle prime battute come non sia alla ricerca del First-Best (in termini di Welfare), poiché non misura direttamente i danni come nel DCA, ma misura i costi per evitare tali danni. Assumendo valori estremi si potrebbe addirittura verificare il caso per cui i costi nel fare marcia indietro siano superiori a quelli causati dai danni. Il ragionamento dietro al ACA è che la volontà popolare possa essere anche il motore dietro al quale i target d’emissioni siano decisi, e che quindi i costi per raggiungerli possono essere una buona proxy del WTP sociale.

Il primo passo è quello di adottare un livello target di emissioni al quale riferirsi. Fortunatamente in UE vigono almeno tre soglie target, differenziate in base all’anno; una riduzione del 20% nei livelli ’90-’20, una riduzione del 40% nel periodo ’90-’30, o, in base agli accordi di Parigi, una riduzione di 80/90% nel periodo ’90-’50. È scontato sottolineare come più ambizioso è il target di riduzione più alto sarà il suo costo marginale, come i settori a cui questo target si riferisce e i paesi. Nel caso in analisi ovviamente ci si riferirà a tutto l’EU28 con attenzione al solo trasporto su gomma. Il fatto di avere un target garantisce un rapido calcolo della CO<sub>2</sub> equivalente da dover ridurre, creando lo spazio per stimare i costi.

Oltre al target, è fondamentale avere una stima attendibile dei progressi futuri in ambito tecnologico, per poter sfruttare i miglioramenti in efficienza nel muoversi nella regione

europea. Si noti che per miglioramenti in efficienza non solo ci si riferisce a miglioramenti in motori progressivamente più green, ma anche, ad esempio, ad un trasporto multimodale più efficiente e sostenibile. Oltretutto queste stime devono tenere conto che l'anidride carbonica non è l'unico gas serra, e che mentre il GWP può essere utile in fase di quantificazione dei costi, in una prima fase di stima sui costi di abbattimento, potrebbe non essere più affidabile in fase di stima di abbattimento. Nulla garantisce che il costo di ridurre le emissioni di metano sia 34 volte più costoso che ridurre lo stesso volume di emissioni di CO<sub>2</sub>.

Infine, altri due elementi devono essere osservati con attenzione nello stimare i valori *Avoidance*:

- *Avversione al rischio e alla perdita*; un'assunzione comune in ambito economico è che le persone siano tutte mediamente avverse al rischio e alla perdita. Per chiarire il concetto si propone un esempio di un prospetto X di pagamento, o di 100€ (60% di probabilità) o di 20€ (40% di probabilità). Il valore atteso è:

$$E(x) = 100 \cdot 0,6 + 20 \cdot 0,4 = 68 \quad (2.10)$$

Definendo una funzione di Utilità dell'individuo

$$U(x) = \sqrt{x} \quad (2.11)$$

Il valore di Utilità attesa sarà di:

$$E(U(x)) = \sqrt{100} \cdot 0,6 + \sqrt{20} \cdot 0,4 = 7,79 \quad (2.12)$$

Mentre l'utilità di un pagamento pari al valore atteso di x, 68, sarebbe pari a

$$U(E(x)) = \sqrt{68} = 8,25 \quad (2.13)$$

L'avversione al rischio del soggetto, evidenziata dall'utilità maggiore nel ricevere un pagamento sicuro dell'importo esatto del valore atteso dell'opzione rischiosa, è data dalla curva U di forma concava, cioè una funzione crescente ma a tassi decrescenti all'aumentare del payoff. La funzione  $\sqrt{x}$  è un chiaro esempio di questo tipo di funzione [25]. Analogo il concetto di avversione alla perdita, fenomeno che porta il soggetto a valutare in maniera più marcata il payoff negativo in una situazione di equilibrio (ad esempio in un lancio di una moneta, con in caso di vittoria/sconfitta un payoff di +/- 20€, un soggetto avverso alla perdita, nel calcolare la sua utilità avrà un parametro maggiore che moltiplica il payoff negativo rispetto al caso vittorioso). Trasponendo i temi all'economia climatica, i soggetti preferiranno percorsi di riduzione delle emissioni, anche più costosi, ma che garantiscano un successo, a programmi meno costosi ma associati a rischi più alti.

- *Il valore economico in relazione alla ricchezza del paese*; il cambiamento climatico è un problema di natura globale, ma porterà danni differenti in termini di impatto economico ai vari paesi, andando a creare più criticità per i paesi già di loro molto poveri. Per tenerne conto i costi devono essere rapportati ai livelli di ricchezza dei vari paesi, andando a bilanciare gli impatti economici a secondo delle regioni considerate. Con questo approccio di Equity Weighting, il valore monetario nominale è pesato sul reddito medio di ogni nazione in analisi. Se il Climate Change causasse danni per 1€ in un paese con un reddito pro capite di 100€ il danno ammonterebbe all' 1%. Ma se lo stesso danno avvenisse in un paese con un reddito pro-capite di 50 volte tanto, l'impatto sarebbe del 0,02%. Se il danno quindi avviene in una nazione povera, esso avrà un impatto di gran lunga più grave e di conseguentemente deve avere un valore nominale più alto.

Il rapporto per la stima dei costi ha fatto una review dei principali studi che applicano l'ACA nella stima dei costi di *Climate Change*, in tre diversi scenari di breve-medio e lungo periodo (basse, medie e alte emissioni), estrapolando i valori medi a cui rifarsi. La base dei ragionamenti è stata la metanalisi di Kuik ("MARGINAL ABATEMENT COSTS OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS: A META-ANALYSIS.") [26] che ha revisionato 26 studi con 31 stime ACA.

Si è quindi giunti alla conclusione che a seconda dell'ottica (breve-medio periodo, entro il 2030, o lungo periodo, 2040-2060) i valori da adottare siano:

	Basse emissioni	Medie emissioni	Alte emissioni
Breve-medio Periodo	60€	100€	189€
Lungo Periodo	156€	269€	498€

Tabella 2.17: Costo di una tonnellata di CO2 equivalente [fonte: "Handbook on the external costs of transport", CE DELFT, maggio 2019]

Per mostrare i risultati di costi totali, medi e marginali, nel report sono riportati solamente i calcoli per il valore di medie emissioni nel breve periodo, 100€ per tonnellata, dando possibilità di ricalcolare i valori nell'ottica e nello scenario che si preferisce. La scelta comunque è ricaduta sullo scenario di un abbattimento del livello di emissioni del 40% rispetto al livello del 1990. In caso si fosse voluta verificare la quota di costo nel lungo periodo, ci si sarebbe messi nell'ottica di rispettare gli accordi di Parigi, con un taglio dell'80% nel periodo '90-'50.

Costi Totali (bn €)									
	Pass car petrol	Pass car diesel	Bus	Coach	MC	LCV petrol	LCV diesel	HGV	
<b>EU-28</b>	32,02	23,54	0,84	1,61	1,47	0,71	12,45	9,63	<b>82,279</b>
<b>AT</b>	0,427	0,517	0,008	0,036	0,016	0,009	0,316	0,110	<b>1,439</b>
<b>BE</b>	0,608	0,892	0,031	0,038	0,024	0,004	0,308	0,182	<b>2,089</b>
<b>BG</b>	0,513	0,267	0,031	0,033	0,003	0,004	0,070	0,193	<b>1,113</b>
<b>HR</b>	0,197	0,153	0,003	0,011	0,010	0,003	0,126	0,049	<b>0,551</b>
<b>CY</b>	0,075	0,011	0,003	0,003	0,002	0,002	0,050	0,005	<b>0,151</b>
<b>CZ</b>	0,552	0,280	0,019	0,056	0,032	0,025	0,214	0,363	<b>1,541</b>
<b>DK</b>	0,416	0,221	0,018	0,011	0,009	0,013	0,241	0,125	<b>1,053</b>
<b>EE</b>	0,117	0,058	0,008	0,007	0,000	0,001	0,019	0,030	<b>0,241</b>
<b>FI</b>	0,755	0,225	0,018	0,013	0,011	0,004	0,165	0,175	<b>1,365</b>
<b>FR</b>	2,417	5,574	0,093	0,260	0,171	0,109	2,912	0,826	<b>12,362</b>
<b>DE</b>	7,930	3,518	0,122	0,164	0,158	0,043	0,976	1,796	<b>14,707</b>
<b>EL</b>	0,721	0,542	0,028	0,056	0,092	0,171	0,133	0,112	<b>1,854</b>
<b>HU</b>	0,349	0,133	0,019	0,057	0,013	0,009	0,177	0,228	<b>0,986</b>
<b>IE</b>	0,365	0,281	0,026	0,026	0,006	0,001	0,485	0,048	<b>1,239</b>
<b>IT</b>	4,311	3,354	0,079	0,327	0,485	0,067	1,948	0,547	<b>11,118</b>
<b>LV</b>	0,082	0,084	0,005	0,004	0,000	0,002	0,024	0,082	<b>0,283</b>
<b>LT</b>	0,120	0,191	0,012	0,002	0,004	0,003	0,067	0,164	<b>0,562</b>
<b>LU</b>	0,035	0,058	0,003	0,003	0,004	0,003	0,100	0,039	<b>0,243</b>
<b>MT</b>	0,019	0,009	0,002	0,001	0,001	0,000	0,005	0,016	<b>0,053</b>
<b>NL</b>	1,819	0,362	0,009	0,012	0,040	0,011	0,592	0,410	<b>3,255</b>
<b>PL</b>	1,444	0,711	0,116	0,069	0,029	0,053	0,408	1,182	<b>4,013</b>
<b>PT</b>	0,481	0,496	0,008	0,017	0,015	0,004	0,445	0,155	<b>1,621</b>
<b>RO</b>	0,527	0,291	0,048	0,044	0,003	0,046	0,154	0,209	<b>1,322</b>
<b>SK</b>	0,209	0,108	0,015	0,010	0,003	0,015	0,075	0,162	<b>0,596</b>
<b>SI</b>	0,176	0,133	0,002	0,012	0,002	0,005	0,071	0,091	<b>0,494</b>
<b>ES</b>	1,797	1,996	0,034	0,154	0,244	0,017	0,576	1,026	<b>5,845</b>
<b>SE</b>	0,987	0,374	0,022	0,019	0,012	0,022	0,280	0,288	<b>2,004</b>
<b>UK</b>	4,571	2,699	0,061	0,170	0,082	0,065	1,517	1,015	<b>10,180</b>

Tabella 2.18: Costi totali delle emissioni di Gas Serra nell'atmosfera dovute al trasporto stradale [fonte: "Handbook on the external costs of transport", CE DELFT, maggio 2019]

Per questa particolare esternalità, i costi medi e marginali coincidono, a causa del fatto che l'emissione media e marginale di un veicolo coincidono. Questo significa che un kg di CO<sub>2</sub> "ulteriore" immesso nell'atmosfera abbia un costo marginale pari al costo medio d'emissione, per una relazione di costo lineare. Oltretutto proprio l'approccio Avoidance

Cost utilizzato in questo caso è riferito all'economia globale; il dover raggiungere un certo target di emissioni fa sì che ogni kg di CO<sub>2</sub> emessa abbia lo stesso peso, che essa sia in prossimità del traguardo o no. Le differenziazioni mostrate di seguito sono ancora una volta frutto dell'accuratezza del database COPERT, che analogamente al caso precedente fornisce classificazioni in base alla dimensione, al carburante, alla classe EURO del motore e alla zona in cui l'emissione avviene. Di seguito viene presentata una stima dei costi marginali- medi per automobili nell'eurozona; lo scopo è quello di mostrare i gradi di differenziazione da riapplicare in future normative.

Fuel	Taglia	Euro Standard	Autostrada	Strada Urbana	Strada Rurale
			[ €-cent/vkm ]		
Petrol	Mini	Euro 4	1,37	1,32	1,13
	Mini	Euro 5	1,37	1,32	1,13
	Mini	Euro 6	1,37	1,32	1,13
	Small	Euro 0	1,97	2,41	1,68
	Small	Euro 1	1,48	1,67	1,31
	Small	Euro 2	1,41	1,65	1,22
	Small	Euro 3	1,43	1,65	1,28
	Small	Euro 4	1,50	1,72	1,34
	Small	Euro 5	1,51	1,72	1,34
	Small	Euro 6	1,51	1,72	1,34
	Medium	Euro 0	2,43	2,84	1,98
	Medium	Euro 1	1,69	2,04	1,51
	Medium	Euro 2	1,54	1,96	1,46
	Medium	Euro 3	1,69	1,98	1,51
	Medium	Euro 4	1,75	2,03	1,60
	Medium	Euro 5	1,75	2,03	1,60
	Medium	Euro 6	1,75	2,03	1,60
	Large-SUV-Executive	Euro 0	2,82	3,48	2,36
	Large-SUV-Executive	Euro 1	2,14	2,62	1,91
	Large-SUV-Executive	Euro 2	2,11	2,67	2,00
Large-SUV-Executive	Euro 3	1,79	2,43	1,74	
Large-SUV-Executive	Euro 4	2,07	2,97	2,06	
Large-SUV-Executive	Euro 5	2,07	2,97	2,06	
Large-SUV-Executive	Euro 6	2,07	2,97	2,06	
Diesel	Mini	Euro 4	1,23	1,09	1,04
	Mini	Euro 5	1,23	1,09	1,04
	Mini	Euro 6	1,23	1,09	1,04
	Small	Euro 1	1,66	1,73	1,37
	Small	Euro 2	1,66	1,85	1,41
	Small	Euro 3	1,53	1,75	1,39
	Small	Euro 4	1,53	1,75	1,39
	Small	Euro 5	1,53	1,75	1,39

	Small	Euro 6	1,53	1,75	1,39
	Medium	Euro 1	1,93	2,04	1,61
	Medium	Euro 2	1,93	2,10	1,64
	Medium	Euro 3	1,86	2,06	1,62
	Medium	Euro 4	1,86	2,06	1,62
	Medium	Euro 5	1,86	2,05	1,62
	Medium	Euro 6	1,86	2,06	1,62
	Large-SUV-Executive	Euro 1	2,20	2,34	1,86
	Large-SUV-Executive	Euro 2	2,20	2,35	1,86
	Large-SUV-Executive	Euro 3	2,20	2,36	1,86
	Large-SUV-Executive	Euro 4	2,20	2,36	1,86
	Large-SUV-Executive	Euro 5	2,20	2,36	1,86
	Large-SUV-Executive	Euro 6	2,20	2,37	1,86
	<b>Petrol Hybrid</b>	Mini	Euro 4	0,90	0,69
Small		Euro 4	0,90	0,69	0,69
Large-SUV-Executive		Euro 4	0,90	0,69	0,69
<b>LPG Bifuel</b>	Small	Euro 1	n.a.	n.a.	n.a.
	Small	Euro 2	n.a.	n.a.	n.a.
	Small	Euro 3	n.a.	n.a.	n.a.
	Small	Euro 4	1,47	1,62	1,27
	Small	Euro 5	1,41	1,54	1,21
	Small	Euro 6	1,34	1,47	1,15
<b>CNG Bifuel</b>	Small	Euro 4	1,27	1,39	1,09
	Small	Euro 5	1,22	1,34	1,05
	Small	Euro 6	1,16	1,27	1,00

Tabella 2.19: Costi Medi/Marginali dell'emissione di gas serra per un'automobile nella zona EU28 [fonte: "Handbook on the external costs of transport", CE DELFT, maggio 2019]

## 2.6. Costi di danno ambientale

Come danno ambientale si intendono tutta una serie di danni che il creare un'infrastruttura stradale arreca all'ambiente circostante, intesi come paesaggi, habitat e biodiversità. Va specificato che gli elementi di paesaggio e habitat sono sottoposti a cicli di modifiche naturali. Paesaggi montuosi sono sottoposti a erosione, altri tipi di paesaggi possono subire altri danni dal clima (un fulmine che colpisce un albero in un bosco) o da intemperie naturali, come alluvioni e inondazioni. Contemporaneamente a questi fenomeni poi, la specie umana ha modificato sempre il suo habitat di residenza, in modo estremamente aggressivo dalla rivoluzione industriale in poi. Cambiare l'ambiente in cui vivono ha un forte effetto sulle popolazioni di animali e piante, che subiscono danni più che proporzionali a causa di tutto ciò; effetti di "invasione" e "aggressione di specie non autoctone" sono la principale causa di questi effetti non direttamente proporzionali negli ecosistemi delicati.

La quantificazione di tali perdite risulta per questo motivo molto complessa, poiché la relazione causa-effetto nel danno ambientale è molto difficile da descrivere.

Un breve elenco di queste cause può essere il seguente [27]:

- Immissioni di luce e rumore
- Sale su strada
- Neofiti invasivi
- *Impairment Landscape*; le infrastrutture di trasporto possono cambiare il panorama e quindi subire una compromissione della vista, ad esempio una riduzione del valore paesaggistico.

A valle delle cause, gli effetti principali sono 3:

- Distruzione dell'habitat
- Distruzione dell'habitat a causa di emissioni
- Segmentazione dell'habitat

Mentre il secondo spetto è stato ampiamente dissertato nei due paragrafi precedenti, in questo si approfondiscono la distruzione dell'habitat non causata da emissioni e la segmentazione dello stesso.

Alla base della metodologia di stima che il report presenta è sempre presente un incrocio tra un driver di costo che quantifichi i danni e un driver dimensionale che dia l'ambito al problema. Nel caso dei costi di danno ambientale è necessaria una piccola modifica al solito pattern; nei paragrafi precedenti, e nei futuri, si è andata a verificare la dimensione di traffico sul tratto stradale, o direttamente sul piano nazionale, poiché sia nel caso d'incidente che nei casi di danni da emissioni, l'assunzione voleva che fosse proprio il

transito di automobili a creare un danno al sistema, e non la sola esistenza dell'infrastruttura. Nel caso dei danni ambientale avviene proprio questo, e cioè è la creazione e la gestione dell'infrastruttura a comportare danni all'habitat circostante e non il transito di veicoli. E proprio questa assunzione porta un cambio importante nel processo di stima, poiché il vettore dimensionale è dato dall'area totale dell'infrastruttura, e conseguentemente il cost driver sarà in base all'€/Km o Km<sup>2</sup>.

Il cost driver in questa sezione viene costruito applicando il *Replacement Cost Approach*, cioè valutando quanto costerebbe ripristinare il biotopo perduto o le aree ecosistemiche altrove. I costi per l'acquisto, la manutenzione e la cura del terreno sono stati calcolati e convertiti in costi annuali. Nella frammentazione dell'habitat, lo studio di base, al quale il report si riferisce [28], ha calcolato i costi necessari per costruire strutture di deframmentazione (cavalcavia, sottopasso, canale sotterraneo). Lo studio ha poi proceduto nel valutare i valori chiave:

- area delle perdite di habitat per lunghezza dell'infrastruttura (differenziata per tipo di biotopo, tipo di infrastruttura e regione)
- Numero di frammentazioni per lunghezza dell'infrastruttura (differenziata per tipo di infrastruttura, regione e gruppo di animali)
- Costo per frammentazione o struttura di deframmentazione (secondo il gruppo di animali)
- Costi di sostituzione per area (in base al tipo di biotopo)

Questi dati costituiscono la base sia per la perdita di habitat che per la frammentazione.

Il tutto ha portato alla stima dei valori medi in Europa, discriminati in base a dimensione della strada (se autostrada o strada urbana/rurale) e in base al danno, se di perdita di habitat o di frammentazione, come mostrato in tabella:

Costo in € <sub>2016</sub> /Km*anno	Autostrada	Altra strada
<b>Perdita di habitat</b>	78 900	1 900
<b>Frammentazione di habitat</b>	14 600	2 200
<b>Danno ambientale totale</b>	93 500	4 100

Tabella 2.20: Costo medio al km annuo per danni ambientali EU28. [fonte: "Handbook on the external costs of transport", CE DELFT, maggio 2019]

Che poi è stata adattata per gli scenari nazionali con il metodo di GDP pro capite PPP adjusted, per creare il cost driver a livello dei singoli stati membri:

	Autostrada	Strada extra-urbana		Autostrada	Strada extra-urbana
€/((km*a)					
EU-28	93.500	4.100	IT	74.700	3.300
AT	99.700	4.400	LV	66.000	2.900
BE	93.900	4.100	LT	66.400	2.900
BG	52.900	2.300	LU	98.600	4.300
HR	56.100	2.500	MT	76.900	3.400
CY	69.500	3.100	NL	103.000	4.500
CZ	65.400	2.900	PL	64.200	2.800
DK	125.300	5.500	PT	55.000	2.400
EE	74.900	3.300	RO	48.000	2.100
FI	125.100	5.500	SK	69.400	3.000
FR	111.100	4.900	SI	66.900	2.900
DE	120.500	5.300	ES	72.100	3.200
EL	67.500	3.000	SE	142.100	6.200
HU	55.400	2.400	UK	99.000	4.300
IE	88.600	3.900			

Tabella 2.21: Costi medi per paesi membri dell'Unione Europea. [fonte: "Handbook on the external costs of transport", CE DELFT, maggio 2019]

Questi valori poi sono stati moltiplicati per le relative estensioni delle reti stradali delle singole nazioni, ottenendo un valore di costo totale per i singoli paesi. Inoltre, il report, avendo i dati di traffico utilizzati nelle stime precedenti, ha ripartito i costi in base alle percentuali di utilizzo delle infrastrutture in termini di traffico, ottenendo i risultati seguenti:

	Pass car petrol	Pass car diesel	Bus	Coach	MC	LCV petrol	LCV diesel	HGV	Total (bn €)
EU28	14,1	11,8	0,2	0,4	0,5	0,2	4,2	3,6	<b>35,1</b>
AT	0,24	0,32	0,00	0,01	0,01	0,00	0,14	0,05	<b>0,8</b>
BE	0,24	0,39	0,01	0,01	0,01	0,00	0,09	0,05	<b>0,8</b>
BG	0,12	0,07	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,05	<b>0,3</b>
HR	0,05	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	<b>0,1</b>
CY	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	<b>0,0</b>
CZ	0,17	0,09	0,00	0,01	0,01	0,01	0,05	0,09	<b>0,4</b>
DK	0,25	0,15	0,01	0,00	0,00	0,01	0,10	0,05	<b>0,6</b>
EE	0,10	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	<b>0,2</b>
FI	0,64	0,21	0,01	0,01	0,01	0,00	0,10	0,10	<b>1,1</b>
FR	1,42	3,35	0,03	0,07	0,09	0,05	1,23	0,31	<b>6,5</b>
DE	4,20	2,05	0,03	0,05	0,05	0,02	0,39	0,80	<b>7,6</b>
EL	0,18	0,14	0,00	0,01	0,02	0,04	0,02	0,03	<b>0,5</b>

HU	0,25	0,10	0,01	0,02	0,01	0,00	0,09	0,12	<b>0,6</b>
IE	0,16	0,13	0,01	0,01	0,00	0,00	0,14	0,02	<b>0,5</b>
IT	1,49	1,30	0,01	0,08	0,14	0,02	0,46	0,16	<b>3,7</b>
LV	0,06	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05	<b>0,2</b>
LT	0,06	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,07	<b>0,3</b>
LU	0,02	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,03	<b>0,2</b>
MT	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,0</b>
NL	0,54	0,11	0,00	0,00	0,01	0,00	0,13	0,10	<b>0,9</b>
PL	0,34	0,18	0,01	0,01	0,01	0,01	0,06	0,25	<b>0,9</b>
PT	0,36	0,37	0,00	0,01	0,01	0,00	0,22	0,21	<b>1,2</b>
RO	0,22	0,13	0,01	0,01	0,00	0,02	0,04	0,08	<b>0,5</b>
SK	0,08	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,05	<b>0,2</b>
SI	0,06	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	<b>0,2</b>
ES	0,98	1,27	0,01	0,05	0,12	0,01	0,25	0,48	<b>3,2</b>
SE	0,82	0,38	0,01	0,01	0,01	0,02	0,20	0,19	<b>1,6</b>
UK	1,02	0,66	0,01	0,02	0,01	0,01	0,30	0,17	<b>2,2</b>

Tabella 2.22: Costi Totali di danno ambientale in miliardi di Euro<sub>2016</sub>. [fonte: “Handbook on the external costs of transport”, CE DELFT, maggio 2019]

Riguardo al calcolo dei costi marginali va aperta una parentesi; per il concetto stesso di costo marginale approfondito nel capitolo, la definizione di danno ambientale, per come è stata fornita, è insensibile al traffico sull’infrastruttura. A supportare questa tesi sono sia il report CE DELFT alla base di questo lavoro che i principali lavori citati in precedenza che hanno affrontato il tema. Il danno all’ambiente è causato dalla creazione e dal mantenimento dell’infrastruttura sulla quale il traffico si sviluppa; ragionando di lungo periodo è osservabile una marginalità del danno al traffico, ponendosi nell’ottica che il traffico indirizzi la necessità di ampliamento di certe infrastrutture, o la creazione di nuove.

Il solo aspetto di marginalità rilevante è il caso delle strade intraboschive, che bloccano il transito della fauna se molto frequentate. Normalmente il danno è ridotto a causa della bassa casistica dell’evenienza; il traffico intraboschivo è normalmente molto basso, e di conseguenza poco danneggiante per le specie che hanno il coraggio di superare il tratto asfaltato. Data proprio il basso numero non è possibile quantificare i casi, che però ricadranno nell’intervallo tra 0, laddove il traffico non abbia luogo affatto, e il costo medio al km a secondo del paese.

## 2.7. Costi dovuti all'inquinamento Acustico

Altra importante esternalità nel trasporto su gomma, ma anche del trasporto in generale, è la gestione del rumore prodotto dai mezzi in transito sui principali canali. Al fine di stimare questi effetti il metodo utilizzato si è concentrato sull'individuazione delle persone "colpite" da rumore, su quante esse siano, quanto rumore subiscano e quanto sia il costo di una certa dose di rumore sopportata da una persona. Il tutto perché, come messo in luce nel primo capitolo, tra le principali conseguenze dell'inquinamento acustico, sono presenti malattie cardiovascolari e in generale grandi quantità di stress.

Moltiplicando il numero di persone che subiscono rumore a causa dei mezzi su gomma (suddivisi in "noise bins", ovvero fasce di decibel che variano di 5 in 5) per il cost driver adeguato si arriva alla stima dei costi totali, per poi ottenere dei dati medi applicando i giusti vettori di peso ai vari veicoli. La metodologia per ottenere i costi marginali invece, sarà approfondita in seguito.

Il primo elemento necessario a questa procedura è l'ottenimento del numero di persone esposte; come evidenziato in precedenza, per fare ciò il report ha sfruttato le Noise Maps EEA [29], un progetto sviluppato dall' European Environment Agency, che ha prodotto vere e proprie mappe evidenzianti le zone più colpite da inquinamento acustico. Per "mappatura del rumore" si intende la presentazione di dati su una situazione di rumore esistente o prevista in termini di un indicatore di rumore, indicando violazioni di qualsiasi valore limite pertinente in vigore, il numero di persone colpite in una determinata area o il numero di abitazioni esposte a determinati valori di un indicatore di rumore in una determinata area.

In aggiunta a questo elemento dal comodo impatto visivo, il progetto noise map fornisce anche un Database (nel report per scelta di anno base viene utilizzato il database 2015) completo dei dati relativi alle persone influenzate dal rumore. Le informazioni che se ne ricavano sono organizzate seguendo due filoni di rilevazioni: Rumore nei principali agglomerati urbani (aree con più di 100 000 persone al km<sup>2</sup>) e rumore sulle principali arterie stradali (più di 3 000 000 di transiti all'anno).



Figura 2.5: Esempio di Mappa del rumore, con relativa leggenda, di una parte della città di Dublino nel 2012. [Fonte: Noise in Europe 2014; Núria Blanes, Jaume Fons, Miquel Sáinz de la Maza, Maria José Ramos, Francisco Domingues, Annemarie van Beek and Danny Houthuijs; 2014; Report EEA]

In base a queste due osservazioni vengono poi espresse il numero di persone influenzate dal rumore suddivise in 5 fasce (le succitate Noise Bins) che, ampie 5 decibel, variano da 55 a 75 e in poi. Queste fasce vengono ulteriormente differenziate poi in base al periodo della giornata, giorno e notte, poiché è riconosciuto come esso sia un elemento fortemente discriminante.

<i>NOISE BINS</i>	<i>55-59</i>	<i>60-64</i>	<i>65-69</i>	<i>70-74</i>	<i>&gt;75</i>
<i>GIORNO</i>	2253400	2146100	1797800	810000	253700
<i>NOTTE</i>	1989000	1992800	1189900	339800	94000
<i>VARIAZIONE</i>	11,73%	7,14%	33,81%	58,05%	62,95%

Tabella 2.23: Estrapolazione dei dati riguardanti le persone affette da rumore relative alle principali strade italiane. [fonte: Population exposure to noise from different sources in Europe, 2018, Núria Blanes e Maria José Ramos, ETC/ACM dataset]

Il progetto fonda tutta la sua attendibilità sulle rilevazioni fatte dai singoli stati membri sulle proprie emissioni acustiche; queste sono state imposte nella direttiva europea sull'inquinamento acustico (Environmental Noise Directive, CE, 2002), preposta allo scopo di ridurre e prevenire i danni causati dal rumore. L'implementazione della direttiva prevede alcuni passi fondamentali per la determinazione del problema, anzitutto quantitativamente, per cui richiede ai singoli stati membri delle rilevazioni accurate sui

propri livelli sonori. Questi poi vengono raccolti dall' EEA che li elabora a formare il database in questione. Il problema che si viene a creare, e una delle principali problematiche legate alla stima effettuata nel report è il fatto che sebbene, siano basate su dl comune buonsenso, i vari metodi di rilevazione hanno delle leggere differenze su base nazionale.

Rifacendosi al report dell'EEA 2014 [29], i vari stati membri hanno adottato dei sistemi di rilevazione, che in base alla scelta di alcuni parametri (come la scelta del tasso di assorbimento del rumore da parte del suolo sotto determinate condizioni atmosferiche) possa aver fatto variare i risultati fino a 5-10 decibel. Per ovviare a ciò la stessa END ha presentato una metodologia uniforme per la rilevazione del rumore, che però è diventata obbligatoria per tutti i paesi dell'Unione solo a fine 2017 (fornendo dati al database solo nel 2022), non fornendo quindi la possibilità di tenerne conto nel report, che come detto in precedenza ha come anno base il 2016.

Oltre a ciò lo stesso database, anche nell'edizione più aggiornata del 2018 evidenzia come non tutte le aree siano state valutate, ma di come esistano ancora centri urbani e strade principali da valutare. Per questo motivo in fase di scrittura del report sono state applicate una serie di correzioni specifiche sui numeri "to be reported" presentati dall'EEA. Per questi dati la principale assunzione che è stata fatta è che tutte le persone in città (fonte del dato Eurostat) avessero lo stesso livello di rumore proporzionale a quello descritto nei centri agglomerati EEA (cioè che fossero distribuiti in percentuali identiche alle percentuali EEA). Un calcolo analogo poi è stato effettuato per completare i "to be reported" in ambito stradale, andando a delineare per quelle persone che non vivono in agglomerati urbani una soglia del rumore più bassa di 3 decibel, per sottolineare che non vivere in zone altamente popolate porti benefici sul piano dell'inquinamento acustico.

Stabilito il numero di persone sottoposte a rumore e la relativa soglia di rumore, è necessario, per le operazioni di stima, andare a creare l'ormai solito Cost Driver, che permetta il dimensionamento economico del danno.

Esso è composto da due componenti separate, una che contabilizza i costi dovuti al fastidio generato dal rumore del traffico, e un'altra che valorizza i costi medici delle malattie causate dall'alto tasso di frastuono subito; per entrambi è stato quindi utilizzato il *Damage Cost Approach*, cioè l'approccio che quantifica in modo più o meno diretto il danno creato.

Riguardo la stima del fastidio vanno fatte alcune precisazioni; poiché non esiste un mercato per la quiete, l'approccio classico per la valutazione del fastidio da rumore è stata quello di cercare un mercato in cui il rumore sia implicitamente valutato. Se gli individui hanno un valore per il silenzio, quindi intuitivamente questo si manifesterebbe, ad esempio, disponibilità a pagare di più (WTP) per case in zone più tranquille. Di solito

viene fatto uso del mercato immobiliare in cui il prezzo è una funzione di un insieme di caratteristiche della casa e il quartiere incluso il rumore. Sebbene questo metodo sembri ragionevole si è proceduto nell'utilizzare un le Stated Preference, e quindi appoggiarsi a valutazioni svolgibili a valle di un processo di indagine tramite questionari. Questo perché rispetto al Revelead Preference, in questo caso presentavo alcuni vantaggi rispetto alle tecniche HP. In primo luogo, un controllo sulle condizioni sperimentali che assicura l'elusione della correlazione tra variabili indipendenti, una variazione sufficiente in livelli di attributi, evitare errori di misurazione nelle variabili indipendenti e la capacità di "progettare" variabili confondenti. In secondo luogo, tale analisi disaggregata consente approfondimenti più dettagliati su come le preferenze variano in base alle caratteristiche e alle circostanze dei decisori. Alla base della definizione dei costi di fastidio è stato preso lo studio "INTERNATIONAL META-ANALYSIS OF STATED PREFERENCE STUDIES OF TRANSPORTATION NOISE NUISANCE." [30] che riporta la prima meta-analisi degli studi SP di disturbo causato da trasporto. La meta-analisi si basa su un set di dati composto di 258 valori provenienti da 49 studi e 23 paesi in un periodo di 40 anni.

In particolare, questo studio affronta la questione riguardo al modo in cui le valutazioni ambientali variano nel tempo. Fornisce per la prima volta una stima dell'elasticità del reddito intertemporale per il rumore proveniente da fonti di trasporto di 0,986, con un intervallo di confidenza ristretto di  $\pm 18\%$  della stima centrale. Questo è un tema interessante nell'ottica di una possibile regolamentazione, poiché apre la strada ad un quesito complesso: È necessario differenziare anche in base al reddito dell'agglomerato urbano che si inquina acusticamente? Questa elasticità è superiore alle stime degli studi trasversali antecedenti che danno un'elasticità media del reddito di 0,5. Lo studio stesso raccomanda ciò, cioè che le valutazioni del disturbo da rumore da trasporto siano sensibili ad un aumento in linea con i redditi reali. Una conferma che si può trovare nelle osservazioni offerte dallo studio è che le analisi precedenti sembrano conferire valori più alti nel tempo indipendentemente da qualsiasi effetto di reddito; essi assumono progressivamente valori più alti di Fastidio per soglia di decibel, che suggerisce che i valori non stanno aumentando nel tempo per motivi diversi dal reddito.

Oltre a queste considerazioni sulla quantificazione del disturbo da inquinamento acustico, è importante concentrarsi anche sulla quantificazione dei danni alla salute delle persone causati dallo stesso; come nel caso dei danni da incidenti conviene dividerli in due componenti: costi per la persona e costi medici.

Lo studio a cui rifarsi nella stima della persona è "ENVIRONMENTAL NOISE: VALUING IMPACTS ON: SLEEP DISTURBANCE, ANNOYANCE, HYPERTENSION, PRODUCTIVITY AND QUIET." [31] del 2014. Qui è stata effettuata una stima dei costi per la persona e della produttività persa secondo metodologie comuni a quelle già viste in precedenza. Il punto di questa valutazione era di fornire un valore alla condizione di malattia provocata

dall'inquinamento acustico, escludendone i costi legati alle cure vere e proprie. Per la valutazione di questi ultimi è stato preso anche il report HEATCO citato nel precedente capitolo [32], dove è stata fornita un'esauritiva stima.

Il costo marginale di un extra-decibel in un determinato “noise bin” viene quindi definito nella seguente tabella, formata con l'apporto dei tre studi citati e aggiornata all'ambito europeo:

Noise Bin (dB(A))	Trasporto stradale (€ <sub>2016</sub> /dB/persona/anno)		
	Fastidio da Rumore	Danni alla salute	Totale
50-54	14	3	17
55-59	28	3	31
60-64	28	6	34
65-69	54	9	63
70-74	54	13	67
≥ 75	54	18	72

Tabella 2.24: Costi causati da inquinamento acustico, EU28. [fonte: “Handbook on the external costs of transport”, CE DELFT, maggio 2019]

Calcolato questo passaggio, il report ha proceduto nell'ottenere dei valori di costo medi, per poterli moltiplicare per le persone esposte al noise bin di riferimento; l'utilizzo della tabella 2.24 è facile in questo senso. Volendo stabilire i costi per 56 decibel, basterà sommare i costi di 5 decibel nella fascia 50-54 e uno nella fascia 55. Questo perché il livello di partenza è 50 decibel e quindi si sommano i costi marginali di “aumento del rumore”. La somma deve essere pesata sulle persone appartenenti al noise bin di riferimento, e dato che il numero di persone esposte è inversamente proporzionale all'aumentare dei dB(A) i valori risulteranno inferiori alla pura media aritmetica.

Una volta ottenuti i due valori (cost driver e Persone nei noise bins) è possibile procedere al calcolo dei costi totali, andando a moltiplicare i valori ottenuti tra loro. Ma questo fornisce solamente una visione globale del problema, senza dare un'informazione riguardante i mezzi che più inquinano acusticamente o affini.

Rimane quindi la domanda su come il disturbo debba essere attribuito alle varie categorie di veicoli; gli studi precedentemente citati e il report stesso indicano esistano degli effetti diversi di inquinamento acustico a seconda del mezzo che lo produce, una motocicletta o un camion pesante possono comportare danni maggiori del transito di automobili a benzina, e quindi costi in elazione più alti.

Questo a causa della notevole differenza nella frequenza del rumore prodotto da un veicolo pesante e una motocicletta, e del fatto che nel traffico a bassa velocità con poca possibilità di accelerazione (ad es. traffico urbano) la proporzione di automobili rispetto

ai veicoli pesanti è diversa da quella nel traffico che viaggia a velocità costante e costante (ad es. traffico rurale).

Dato che la letteratura internazionale fornisce poca chiarezza su questo tema, il report “THE PRICE OF TRANSPORT - OVERVIEW OF THE SOCIAL COSTS OF TRANSPORT” [33] ha stimato dei valori per uniformare queste differenze; anzitutto viene preso come punto di partenza il protocollo per il calcolo e la misurazione del traffico stradale rumore emesso dal ministero dell'Ambiente olandese nel 2002, che comprende valori di riferimento (in dB (A)) per le emissioni sonore a varie velocità per tre categorie di veicoli: leggeri, medi e pesanti. Convertendo questi riferimenti valori in termini decimali - poiché il rumore è, per definizione, espresso sulla scala logaritmica di decibel - il rapporto tra le emissioni di rumore dei vari veicoli può essere espresso in categorie a velocità diverse. Nel caso del traffico urbano vengono confrontati i veicoli che viaggiano a 50 km / h. Per le zone rurali viene ipotizzato un flusso con auto a una velocità media di 100 km/h, merci pesanti a 85 km/h e autobus 90 km/h. Il tutto ha prodotto il seguente complesso di valori per il peso del chilometraggio delle differenti categorie di veicoli:

	Zone Urbane	Zone Rurali
Auto a benzina	1.0	1.0
Auto diesel	1.2	1.0
Motociclette	13.2	4.2
LCV	1.5	1.2
Pullman	9.8	3.3
HGV 3.5-7.5 tonn	9.8	3.0
HGV 7.5-16 tonn	13.2	4.2
HGV 16-32 tonn	14.9	4.8
HGV > 32 tonn	16.6	5.5

Tabella 2.25: Valori per il peso delle differenti categorie di veicoli. [fonte: “Handbook on the external costs of transport”, CE DELFT, maggio 2019]

Applicando questo metodo si ottengono i risultati riportati nel report:

	Costi Totali (bn €)										Total (bn €)
	Pass car petrol	Pass car diesel	Bus	Coach	MC	LCV	HGV 3.5-7.5 t	HGV 7.5-16 t	HGV 16-32 t	HGV > 32 t	
EU-28	13,8	12,4	0,8	0,9	14,8	5,4	1,0	1,8	3,0	3,2	57,1
AT	0,2	0,3	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,8
BE	0,6	1,0	0,0	0,1	0,3	0,3	0,0	0,0	0,1	0,1	2,5
BG	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,6
HR	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
CY	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
CZ	0,2	0,1	0,0	0,0	0,2	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	1,1
DK	0,2	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7

EE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
FI	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3
FR	0,8	1,9	0,0	0,1	0,8	0,8	0,0	0,1	0,2	0,2	4,9
DE	2,0	1,0	0,1	0,0	0,6	0,3	0,1	0,3	0,3	0,4	5,0
EL *	0,3	0,3	0,0	0,0	1,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	1,8
HU	0,2	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,7
IE	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7
IT	3,3	2,8	0,1	0,3	7,6	1,3	0,1	0,1	0,2	0,4	16,2
LV	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
LT	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3
LU	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
MT	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
NL	0,6	0,1	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,1	0,1	0,1	1,4
PL	0,7	0,4	0,1	0,0	0,2	0,2	0,2	0,3	0,5	0,6	3,2
PT	0,2	0,2	0,0	0,0	0,1	0,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,9
RO	0,5	0,3	0,1	0,0	0,1	0,2	0,0	0,1	0,2	0,3	1,8
SK	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4
SI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
ES	1,3	1,8	0,1	0,1	2,9	0,4	0,1	0,5	0,6	0,3	8,2
SE	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,5
UK	1,5	1,0	0,0	0,1	0,4	0,6	0,1	0,1	0,2	0,3	4,2

Tabella 2.26: Costi totali del danno da inquinamento acustico [fonte: “Handbook on the external costs of transport”, CE DELFT, maggio 2019]

Costi Medi (€-cent per pkm or tkm)										
	Pass car petrol	Pass car diesel	Bus	Coach	MC	LCV	HGV 3.5 - 7.5 t	HGV 7.5 - 16 t	HGV 16 - 32 t	HGV > 32 t
EU-28	0,5	0,6	0,4	0,2	9,0	1,6	1,2	0,8	0,4	0,4
AT	0,56	0,59	0,24	0,23	4,69	1,65	1,09	0,75	0,39	0,41
BE	1,45	1,52	0,66	0,63	12,59	2,77	2,32	1,17	1,08	0,73
BG	0,61	0,67	0,51	0,18	9,37	1,23	1,08	0,80	0,46	0,47
HR	0,25	0,26	0,09	0,09	1,81	0,37	0,51	0,30	0,15	0,17
CY	0,75	0,81	0,62	0,22	11,41	3,71	2,11	1,91	0,66	0,70
CZ	0,55	0,59	0,35	0,22	6,18	1,61	1,37	0,90	0,60	0,49
DK	0,60	0,64	0,34	0,26	7,70	1,39	1,81	1,33	0,68	0,48
EE	0,61	0,66	0,27	0,25	7,18	1,36	1,24	0,87	0,47	0,45
FI	0,25	0,27	0,17	0,07	2,31	0,64	0,67	0,38	0,17	0,10
FR	0,36	0,38	0,28	0,15	3,96	1,64	0,79	0,40	0,28	0,29
DE	0,32	0,34	0,19	0,11	3,43	1,20	0,82	0,52	0,27	0,27
EL *	0,53	0,59	0,43	0,24	8,97	1,74	0,93	0,63	0,34	0,45
HU	0,44	0,47	0,41	0,20	5,88	1,62	1,17	0,77	0,43	0,46
IE	0,70	0,74	0,54	0,24	6,75	1,54	1,11	1,17	0,44	0,37
IT	0,89	0,92	0,69	0,31	12,99	3,11	1,67	0,85	0,60	0,63
LV	0,68	0,73	0,32	0,31	8,73	1,66	1,87	1,30	0,52	0,61

LT	0,38	0,41	0,22	0,21	3,60	0,58	0,69	0,49	0,33	0,35
LU	0,52	0,54	0,28	0,26	5,28	2,85	0,55	0,42	0,32	0,32
MT	0,24	0,27	0,14	0,13	3,25	0,59	0,65	0,66	0,27	0,18
NL	0,54	0,55	0,22	0,21	5,72	1,20	0,87	0,62	0,34	0,33
PL	0,56	0,59	0,38	0,27	6,56	1,32	1,49	0,86	0,44	0,41
PT	0,50	0,53	0,41	0,16	5,74	0,81	1,18	0,70	0,30	0,32
RO	0,94	1,02	1,15	0,41	21,07	5,26	2,22	1,73	1,07	1,15
SK	0,47	0,50	0,29	0,19	5,22	1,13	1,11	0,68	0,37	0,40
SI	0,26	0,28	0,12	0,11	2,22	0,66	0,53	0,36	0,20	0,20
ES	0,96	1,02	0,80	0,32	11,15	5,57	1,99	1,21	0,54	0,46
SE	0,23	0,25	0,19	0,08	2,57	0,60	0,64	0,54	0,28	0,14
UK	0,37	0,40	0,24	0,23	5,03	0,89	1,00	0,82	0,32	0,34

Tabella 2.27: Costi medi del danno da inquinamento acustico [fonte: “Handbook on the external costs of transport”, CE DELFT, maggio 2019]

I costi marginali differiscono dai costi medi per molteplici ragioni, ma principalmente a causa del fatto che il luogo d'emissione, e alcuni fattori specifici, influenzano sia il livello di emissione sonora che i danni per fastidio e medici. I tre input principali che influenzano il costo marginale sono:

- **Densità della Popolazione:** Il valore di densità abitativa e lavorativa attorno ai punti d'emissione sonora è fortemente influenzante il numero di persone che “subiscono” il rumore. Più si è vicini alle fonti, o più si lavora vicini, maggiori saranno i costi marginali, poiché più persone saranno interessate e quindi le componenti di costo aumenteranno
- **Livelli di rumore preesistenti:** il concetto di costo marginale riguarda l'ulteriore auto che si immette nel flusso di traffico, quindi l'ingresso di una vettura in un ambiente già ampiamente rumoroso avrà un impatto assai ridotto se confrontato con un ingresso in un traffico rurale più silenzioso. Il livello di rumore deriva da tre fattori relativi al traffico, e cioè il volume, da quali vetture è composto e dalla velocità di percorrenza. Nell'ottica di ottenere una stima vengono creati ad hoc tre differenti aree di traffico e due situazioni di traffico (traffico alto o basso in ambienti urbani, sub-urbani e rurali
- **Il momento della giornata:** Molti studi medici riportati dalla *World Health Organization* riportano che il danno che il rumore infligge all'organismo non sia costante nel tempo, ma che al contrario vari a secondo della giornata. Il fatto è soprattutto legato al livello di stanchezza e al disturbo del sonno, motivi per cui progredendo con la giornata i danni al fisico diventano maggiori, e quindi i costi associati. Per questo motivo il report suggerisce la discriminazione di stima in base alle fasce della giornata, giorno/notte. Sebbene sembri più corretto fornire una suddivisione più accurata la letteratura sul tema è scarna e non propone suddivisioni più rigide.

Il report in analisi non riporta la completa metodologia di stima, ma si limita a riportare i risultati ottenuti. Con un lavoro di ricerca tra le precedenti versioni e fonti dei vari report in ambito di stima delle esternalità è stato possibile risalire fino a quello che dovrebbe essere lo studio che ha adottato per primo questa procedura

Il rumore è un fenomeno estremamente locale e quindi l'indagine degli effetti causati da un singolo veicolo richiede un'attenta valutazione delle caratteristiche fisiche del rumore. Una delle caratteristiche più decisive del rumore del traffico per quanto riguarda i costi marginali è l'interdipendenza tra il numero di fonti sonore, l'energia sonora emessa, la sua dispersione spaziale e la sua percezione da parte dell'orecchio umano. Sul lato dell'esposizione è di grande importanza il numero di abitanti colpiti e la loro sensibilità ai disturbi del rumore, determinata dagli scenari di ambiente e fase del giorno descritti prima. A causa di questa grande quantità di parametri che influenzano il fenomeno tutti i report adottano sofisticati modelli di dispersione delle emissioni in particolari scenari per poter presentare valori concreti di costi marginali del rumore.

<b>Scenario</b>	<b>Rurale</b>		<b>Suburbana</b>		<b>Urbana</b>	
<b>Zona del Giorno</b>	Giorno	Notte	Giorno	Notte	Giorno	Notte
<b>Livello sonoro medio dB(A)</b>	50	40	60	50	70	60
<b>Distanza dalla strada</b>	100m		20m		10m	
<b>Densità abitativa</b>	10%		50%		80%	
<b>Abitante per km<sup>2</sup></b>	500		500		2000	
<b>Abitanti interessati da suono</b>	50		250		3000	

Tabella 2.28: parametri fisici per la stima dei costi marginali [fonte: "External cost of transport: Accident, Environmental and Congestion Costs in Western Europe"; Silvia Banfi, Claus Doll, Markus Maibach, Prof. W. Rothengatter, Philippe Schenkel, Niklas Sieber, Jean Zuber; 2000, INFRAS & IWW]

Il tipo di scenari ambientali in combinazione con il periodo di tempo determina il livello obiettivo di accettazione dell'esposizione al rumore inoltre, il tipo di ambiente descritto determina anche lo stile di insediamento e la densità abitativa, che alla fine si traduce nel numero di abitanti esposti al rumore e la loro distanza media dalla fonte di rumore. Per ciascun tipo di area viene selezionato un tipo adeguato di infrastruttura stradale che è autostrada / strada ad alta velocità per le zone rurali, una strada rurale per le aree suburbane e una strada principale urbana in termini di aree urbane. Rispettivamente viene selezionato il carico di traffico di ciascuna infrastruttura (bassa / alta). Il mix di veicoli pesanti che sono coinvolti nel trasporto su strada e infine gli additivi specifici, che si riferiscono al fenomeno di rifrazione sul manto stradale del traffico nelle aree urbane.

La determinazione di questi parametri conferisce la possibilità di utilizzare i modelli di simulazione di emissioni, nel caso del report [34] il modello suggerito dal manuale EWS Road Investments, e di ottenere dei valori utili.

			EUR-cent <sub>2016</sub> /pkm o tkm			€-cent <sub>2016</sub> /vkm		
			Metropolitana	Urbana	Rurale	Metropolitana	Urbana	Rurale
Automobili	Day	Dense	0,5	0,03	0,004	0,7	0,04	0,01
		Thin	1,1	0,07	0,009	1,8	0,12	0,01
	Night	Dense	0,9	0,05	0,007	1,4	0,08	0,01
		Thin	2,1	0,13	0,015	3,3	0,21	0,02
Motocicli	Day	Dense	7,4	0,4	0,06	8,1	0,5	0,07
		Thin	18,0	1,2	0,14	19,8	1,3	0,15
	Night	Dense	13,5	0,8	0,11	14,8	0,8	0,12
		Thin	32,7	2,1	0,24	36,0	2,3	0,27
LCV	Day	Dense	2,4	0,1	0,02	1,7	0,1	0,01
		Thin	5,9	0,4	0,04	4,1	0,3	0,03
	Night	Dense	4,4	0,2	0,04	3,0	0,2	0,03
		Thin	10,7	0,7	0,08	7,4	0,5	0,06
HGV 3.5 - 7.5 t	Day	Dense	1,5	0,08	0,01	5,5	0,3	0,0
		Thin	3,6	0,23	0,03	13,3	0,9	0,1
	Night	Dense	2,7	0,15	0,02	10,0	0,6	0,1
		Thin	6,5	0,42	0,05	24,2	1,6	0,2
HGV 7.5 - 16 t	Day	Dense	0,7	0,04	0,01	7,8	0,4	0,1
		Thin	1,8	0,11	0,01	19,0	1,2	0,1
	Night	Dense	1,3	0,07	0,01	14,3	0,8	0,1
		Thin	3,2	0,21	0,02	34,6	2,2	0,3
HGV 16 - 32 t	Day	Dense	0,6	0,03	0,005	8,8	0,5	0,1
		Thin	1,3	0,09	0,01	21,3	1,4	0,2
	Night	Dense	1,0	0,06	0,01	16,0	0,9	0,1
		Thin	2,4	0,16	0,02	38,8	2,5	0,3
HGV > 32 t	Day	Dense	0,6	0,03	0,005	9,9	0,6	0,1
		Thin	1,4	0,09	0,01	23,9	1,5	0,2
	Night	Dense	1,1	0,06	0,01	18,0	1,0	0,1
		Thin	2,6	0,17	0,02	43,5	2,8	0,3
Bus	Day	Dense	0,5	0,03	0,004	9,0	0,5	0,08
		Thin	1,3	0,08	0,010	21,9	1,4	0,16
	Night	Dense	1,0	0,05	0,008	16,4	0,9	0,14
		Thin	2,4	0,15	0,018	39,8	2,6	0,30
Coach	Day	Dense	0,3	0,02	0,002	5,3	0,3	0,04
		Thin	0,7	0,04	0,005	12,8	0,8	0,10
	Night	Dense	0,5	0,03	0,004	9,6	0,5	0,08
		Thin	1,2	0,08	0,009	23,3	1,5	0,17

Tabella 2.29: Costi marginali in zona EU28 del danno da inquinamento acustico [fonte: "Handbook on the external costs of transport", CE DELFT, maggio 2019]

Data la complessità del tema trattato è necessario esporre alcune osservazioni sulla robustezza della stima, soprattutto quella dei costi marginali:

Anzitutto i risultati relativi alle motociclette devono essere interpretati con cautela. Questo a causa dell'influenza che i dati di trasporto hanno sul processo di stima; paesi come il nostro e la Spagna hanno valori di traffico legato a motociclette molto alti rispetto alla media europea e hanno una altissima concentrazione nelle zone di traffico urbano (quasi la metà del traffico nazionale avviene negli agglomerati urbani definiti dall' EEA). Anche i dati relativi ai camion pesanti devono essere presi con attenzione, perché sono i primi a subire una distorsione a causa dell'applicazione del principio di attribuzione territoriale. Come spiegato in precedenza la maggior parte dei database sul traffico europeo utilizza questo sistema per allocare il traffico di mezzi di trasporto in base alla loro nazionalità e non all'effettivo transito nei vari paesi. Il problema è sentito in nazioni centrali come l'Austria e altre zone del centro Europa, ma dovrebbe essere meno importante. In Italia, data la composizione del traffico merci su gomma del nostro paese.

Un secondo punto d'osservazione è il fatto che i dati di traffico su cui e le stime si basano non sono i più recenti, ma si riferiscono all'anno 2012. Non essendo stato possibile lavorare con dati più moderni è stato ipotizzato che il traffico nella sua composizione e dimensione non sia aumentato nei 4 anni successivi, ma sicuramente le analisi potrebbero essere più attendibili laddove fosse possibile utilizzare dati più aggiornati.

Infine, un'ultima osservazione può essere portata avanti sull'applicazione delle Noise Map; lo strumento è risultato assai utile nei processi di stima ma non permette la differenziazione in merito alle persone che subiscono gli effetti dell'inquinamento acustico. Sarebbe stato importante e interessante andare a verificare i costi in base alle fasce d'età di chi era affetto da rumore. Oltretutto come specificato nel primo capitolo esse partono da un valore di 55 decibel, mentre i principali studi riferiscono come sarebbe stato utile creare una fascia inferiore 50-54.

## 2.8. Costi dovuti alla congestione stradale

Nel primo capitolo è stato introdotto il tema della congestione stradale e di come essa causi rallentamenti lungo la rete del trasporto su gomma e conseguentemente ritardi, causando danni economici e non; quindi la quantificazione dell'impatto economico legato a questo tema è incentrata sulla relazione di Velocità/Flusso mostrata in precedenza. La nozione più immediata che si coglie dalla relazione è che un flusso di veicoli transita a una velocità massima (velocità a flusso libero) sino a che la concentrazione di mezzi non supera un punto critico, e da lì in poi, all'aumentare della concentrazione diminuirà la velocità. Se come detto al tempo di percorrenza di un tratto stradale si associano dei costi, la situazione che si definisce è descritta da grafico successivo:

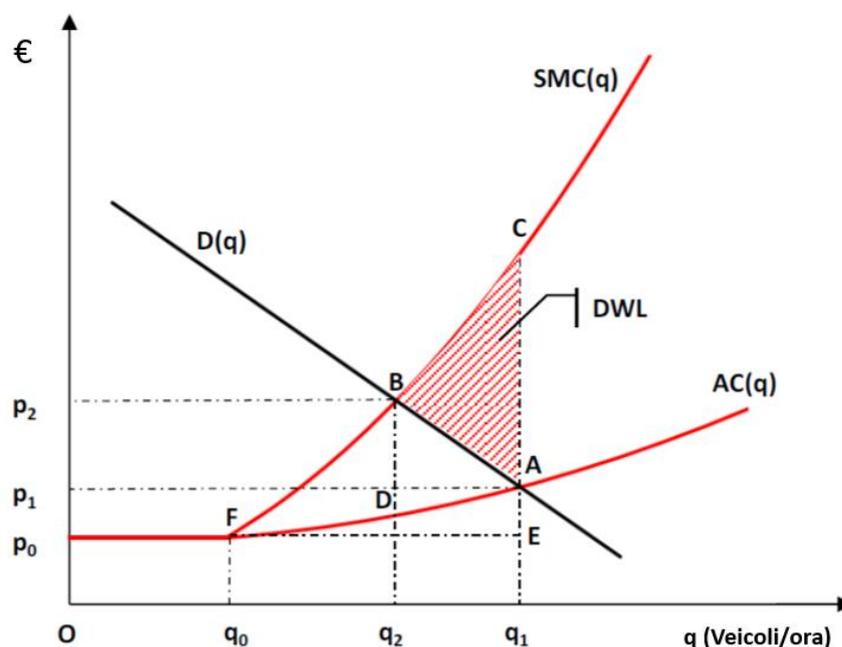


Figura 2.6: Grafico dei costi legati alla congestione stradale. [fonte: "Handbook on the external costs of transport", CE DELFT, maggio 2019]

La situazione migliore per il guidatore è di trovarsi su un tratto stradale con  $q < q_0$  poiché gli permetterebbe di muoversi alla velocità massima consentita nel tratto, e quindi di non avere costi legati a ritardo.

Nel grafico, la curva  $AC(q)$  rappresenta i costi privati associati al transito stradale, cioè il costo minimo associato a  $T_0$  (tempo di percorrenza in condizioni di  $q < q_0$ ) in aggiunta ai possibili costi che sorgono in condizioni di traffico rallentato. La quantificazione di questi costi si basa sulle tabelle 3 e 4 del primo capitolo, dove veniva esplicitato il costo tempo nei vari paesi a seconda degli scenari. Quest'applicazione è possibile dato che questi parametri di costo vengono intesi come costanti durante il periodo di transito, stabilendo

così una relazione lineare tempo/costo. La curva  $AC(q)$  in figura 2.6 però non ha forma lineare, e questo è dato dalla funzione associata tempo/traffico che descrive un flusso stradale; se è possibile definire i costi privati come:

$$AC(q) = c_{tempo} \cdot T(q) \quad (2.14)$$

allora è necessaria la definizione di una funzione che descriva il *travel time*; questa funzione dovrebbe essere non lineare, con valori crescenti man mano che la velocità media del flusso diminuisce:

$$T = T_0 \cdot (1 + Par_a \cdot r(q)^{Par_b}) \quad (2.15)$$

Dove

- $T$  è il *travel time*
- $T_0$  è il travel time in condizioni ottimali ( $q < q_0$ )
- $r$  è il rapporto tra la velocità del flusso,  $V(q)$ , e capacità della strada
- $Par_a$  e  $Par_b$  sono due parametri che descrivono alcune caratteristiche della strada e del flusso

Facendo variare di volta in volta i parametri il report ha ottenuto diversi tipi di funzioni di travel time, a seconda degli scenari indagati.

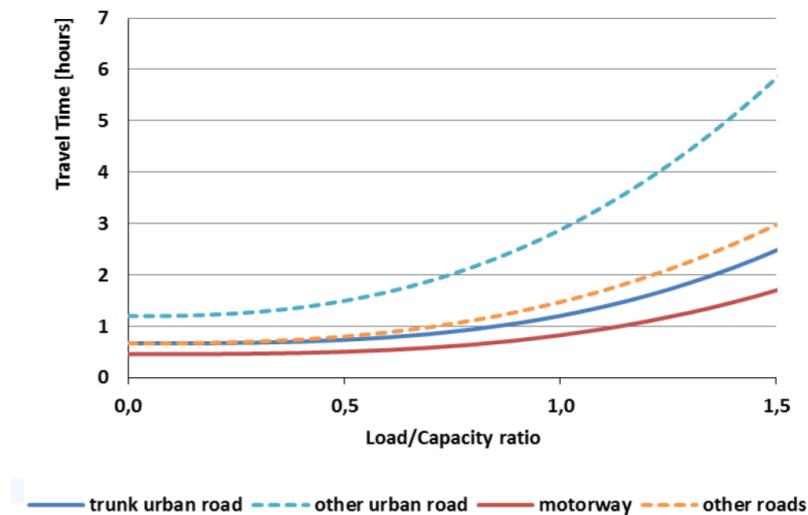


Figura 2.7: Vari esempi di funzioni  $T$ , espresse su un piano  $T/r$  [fonte: "Handbook on the external costs of transport", CE DELFT, maggio 2019]

La seconda funzione in figura 2.6 è la  $SMC$ , *Social Marginal Cost Function*, che rappresenta non solo i costi privati sopportati dal singolo guidatori, ma anche la variazione di questi costi in relazione agli altri veicoli presenti nel tratto autostradale. Come specificato in precedenza il flusso autostradale rallenta la propria velocità

all'aumentare del numero di mezzi presenti su strada; il che significa che un ulteriore mezzo nel traffico ha un effetto di rallentamento della marcia sui veicoli già presenti. Conforme a questo ragionamento logico, la SMC è definibile come:

$$\frac{d(SC)}{dq} = AC(q) + q \cdot \frac{d(AC(q))}{dq} \quad (2.16)$$

Laddove, il primo termine del secondo membro è il costo privato sostenuto dall'ulteriore mezzo nel flusso, mentre il secondo rappresenta il costo sopportato dai mezzi già presenti causato dal rallentamento.

Infine, l'ultima funzione definita nella figura 2.6 è la funzione di Domanda  $D(q)$ ; per effettuare la stima per i vari scenari nazionali, di veicoli e di tipo di strada, la decisione del report è stata quella di rappresentare la curva partendo da condizioni di "domanda iniziale", ovvero dei livelli di domanda dati certi valori di occupazione della capacità stradale  $r$ ). Basandosi poi sulle funzioni di flusso stradale, e soprattutto sulla relazione inversamente proporzionale tra tasso di auto in strada e velocità del flusso, il report ha stabilito una relazione:

$$r = m \cdot WTP + k \quad (2.17)$$

Dove i termini  $m$  e  $k$  rappresentano rispettivamente elasticità e costante per la definizione della posizione della curva di domanda. La funzione così rappresenta la domanda di utilizzo del tratto stradale al variare dei costi necessari, o valore disponibile per i guidatori,  $WTP$  (inteso come tempo di guida nel tratto). Il valore delle costanti  $m$  sono stati ricavati dalle varie letterature, e differenziati in base al tratto di strada a cui si riferivano, urbano o extra-urbano.

A questo punto i metodi per stimare i costi dati dalla congestione stradale sono due; o ci si basa su un approccio di "ritardo", e quindi si vanno a stimare quei costi che sono dati dalla deviazione dalla condizione di free-flow, oppure si va a valutare la DWL che una situazione di non ottimo equilibrio comporta.

Il primo approccio risulta abbastanza semplice da applicare, poiché il costo del ritardo si può associare all'area  $p_0EAp_1$ , e di conseguenza descrivibile con la formula

$$IC = (T - T_0) \cdot VOT \cdot OF \quad (2.18)$$

Con  $OF$  che descrive l'*occupancy factor* del mezzo in ritardo. Basandosi sui vari momenti di picco/non picco di traffico, e quindi sui relativi ritardi medi, è possibile effettuare il calcolo di questo valore; il valore di ritardo stimato  $T$  viene calcolato ipotizzando gli  $r$  in tre situazioni di traffico differenti (quasi congestionato, congestionato e più che congestionato) con i valori rispettivamente di 0.8, 1 e 1.2, come letteratura suggerisce.

Il calcolo della *Dead Weight Loss*, DWL, richiede invece il calcolo della posizione ottima sul grafico in figura 2.6, ovvero il calcolo della posizione di B; il valore si ottiene ponendo a sistema la curva di domanda con la curva dei costi marginali SMC, ottenendo come output principale il valore  $r^*$ , ovvero il rapporto flusso/capacità in grado di poter ottenere la soluzione socialmente migliore. Ottenuto ciò si può procedere al calcolo della DWL, che è rappresentata dall'area tratteggiata.

$$DWL = (r - r^*) \cdot \frac{SC_1 - AC_1}{2} \quad (2.19)$$

Nella 2.19 i valori  $SC_1$  e  $AC_1$  sono le rispettive aree sottostanti le curve di SMC e AC, declinate nella condizione di traffico e scenario stradale scelta, necessarie al calcolo del "triangolo" ABC. Il calcolo permette di definire la DWL associata ad un veicolo che guida un km in condizione di congestione; il tutto poi va moltiplicato per il rapporto tra la capacità della strada e il flusso di auto che lo attraversa, ovvero per l'inverso del valore  $r$  (nella condizione di traffico scelta), al fine di ottenere il valore di DWL in base ai VKm del tratto studiato.

Entrambi i metodi permettono quindi di calcolare il livello di esternalità associata al traffico, ed entrambi permettono di calcolare efficacemente costi medi e totali. La principale differenza tra i due approcci è il fatto che il la stima del solo ritardo risulta più semplice al calcolo, richiedendo minori passaggi matematici, ma il DWL, anche se più difficile, permette anche l'ulteriore conto del costo marginale, fondamentale in abito di regolamentazione. Comunque, in quanto alla stima dei costi medi/totali, il report riporta entrambe le metodologie e i risultati dei calcoli. È importante notare inoltre che a differenza delle precedenti esternalità, il calcolo dei costi totali in questo caso è da valutare in maniera leggermente diversa. Se nelle precedenti esternalità il conto delle esternalità aveva un reale significato economico, che fosse per la quantificazione del danno causato, o per la stima del costo di riduzione del livello di emissioni di gas serra, il significato economico dei costi da congestione è più simile a una conversione monetaria del tempo extra di viaggio, piuttosto che relativo a reali significati finanziari. Sebbene alcuni costi finanziari possano effettivamente sorgere all'aumentare del ritardo di transito, la stima effettuata non ne ha incluso i valori nei risultati ottenuti, ipotizzando che non fossero variazioni significative. Oltretutto è necessaria un'ulteriore precisazione sulla valutazione economica del Travel Time, poiché l'impressione che tale valore potrebbe essere quello di un teorico benefit che gli utenti della rete percepirebbero dalla situazione ottimale di traffico. Tale ipotesi in realtà è una finzione poiché è assumibile che quasi certamente, in una ipotetica situazione di free-flow permanente, il tempo guadagnato dalle inesistenti code verrebbe speso in macchina per percorrere ulteriori distanze [35].

Per quanto riguarda le stime di costo totale e medio, il report ha poi fatto un'ulteriore distinzione nella stima dei tratti urbani e extra-urbani, applicando due approcci leggermente diversi.

Per i tratti urbani ci si basa sull'informazione di Quota di rete congestionata, differenziata per tipo di strada e per periodo del giorno; l'informazione, congiunta con i valori di costo del ritardo e DWL, permette la costruzione del "congestion Cost" per veicolo. Utilizzando poi le informazioni su popolazione urbana, quota di abitanti motorizzati è possibile considerare i costi totali. A favorire il calcolo provvedono i dati forniti da TOM-TOM su 212 città in Europa, sulla congestione stradale differenziata nei modi detti prima. La differenziazione è fondamentale nel processo di calcolo del tempo di ritardo che è alla base di entrambi i metodi, e che assume "forme" diverse a seconda del tipo di strada. I dati forniti non forniscono direttamente informazione sulla quota di rete stradale congestionata che è necessaria al conto, per cui il calore si è ottenuto rapportando, per tratti stradali e per periodo del giorno, il ritardo complessivo giornaliero al ritardo netto in condizioni di congestione.

Il conto del costo annuo invece si è rispecchiato nell'applicazione della formula:

$$IC = P \cdot shTP \cdot shCar \cdot \sum_{pr} IC_{pr} \cdot 230 \quad (2.20)$$

$$DWL = P \cdot shTP \cdot shCar \cdot \sum_{pr} DWL_{pr} \cdot 230 \quad (2.21)$$

Dove P sta per la popolazione della città in analisi, shTP sta per la quota di individui che si spostano con veicoli (attorno al 73%), e la quota di utilizzatori di veicoli (tra auto, mezzi pubblici, motociclette etc etc). Infine, si suppongono 230 giorni lavorativi all'anno.

Lo studio dei tratti extra urbani richiede, come detto, un approccio leggermente differente; la stima di questo tipo di congestione richiede anzitutto l'identificazione di cosiddetti "hot spot", cioè zone sensibili dove il traffico stradale tende ad accumularsi. Per la definizione dell'evoluzione della velocità del flusso in base al grado di auto è stato utilizzato il TRUST Network Model, per cui ogni strada è classificata con una specifica definizione ed ha associate alcune caratteristiche descrittive, tra cui quelle necessarie alla stima in questione. Utilizzando il ritardo dei vari mezzi e il rapporto velocità/flusso (speed-flow function) diventa definibile il numero di "occupanti" del tratto stradale congestionato nei periodi di picco. A differenza del traffico urbano, il traffico autostradale gode di una maggiore diversità di veicoli, quindi è necessario compiere delle assunzioni in termine di quote traffico. Laddove il rapporto veicolo/capacità su un tratto stradale supera uno viene considerata l'iper-congestione, mentre per valori inferiori al 0.75 si è stimata una condizione di quasi-congestione. Con l'ausilio di tutti questi dati è possibile calcolare il costo giornaliero del ritardo, per poi moltiplicarlo per 230, per avere una visione annua.

L'output di queste metodologie è stato calcolato su base nazionale e per i vari scenari, in modo da ottenere un variegato set di valori. Per comodità di seguito verranno riportati di seguito solo i valori relativi alle automobili, ma nel report sono stati calcolati valori relativi anche a camion, autobus/pullman e veicoli commerciali leggeri.

Costi totali di congestione (Automobili)						
	DWL	Delay	DWL	Delay	DWL	Delay
	Area Urbana		Area Inter-urbana		Autostrada	
<b>EU28</b>	30,006	172,574	5,547	33,584	0,670	2,913
<b>AT</b>	0,371	2,059	0,104	0,612	0,013	0,051
<b>BE</b>	0,762	4,854	0,423	2,414	0,060	0,244
<b>BG</b>	0,237	1,361	0,008	0,077	0,000	0,002
<b>HR</b>	0,155	0,875	0,009	0,064	0,001	0,004
<b>CY</b>	0,057	0,322	0,000	0,000	-	-
<b>CZ</b>	0,453	2,540	0,038	0,314	0,005	0,020
<b>DK</b>	0,262	1,490	0,133	0,655	0,011	0,046
<b>EE</b>	0,043	0,238	0,006	0,055	-	-
<b>FI</b>	0,327	1,832	0,021	0,106	0,003	0,014
<b>FR</b>	3,078	17,417	1,538	8,446	0,162	0,658
<b>DE</b>	5,555	31,339	0,675	4,285	0,104	0,424
<b>EL</b>	0,630	3,499	0,091	0,422	0,012	0,049
<b>HU</b>	0,280	1,592	0,038	0,288	0,009	0,037
<b>IE</b>	0,648	5,022	0,121	1,052	0,015	0,062
<b>IT</b>	3,549	19,831	0,680	3,803	0,072	0,295
<b>LV</b>	0,078	0,443	0,003	0,024	-	-
<b>LT</b>	0,126	0,722	0,005	0,042	0,004	0,015
<b>LU</b>	0,079	0,464	0,051	0,309	0,015	0,062
<b>MT</b>	0,010	0,063	0,000	0,000	-	-
<b>NL</b>	1,223	6,969	0,235	1,307	0,052	0,211
<b>PL</b>	1,353	7,650	0,271	2,373	0,008	0,032
<b>PT</b>	0,718	4,043	0,142	0,891	0,025	0,102
<b>RO</b>	0,755	5,189	0,057	0,594	0,002	0,010
<b>SK</b>	0,128	0,736	0,026	0,210	0,002	0,008
<b>SI</b>	0,044	0,255	0,018	0,102	0,005	0,023
<b>ES</b>	2,631	14,530	0,370	2,187	0,042	0,165
<b>SE</b>	0,883	5,007	0,043	0,224	0,009	0,038
<b>UK</b>	5,572	32,232	0,440	2,728	0,037	0,150

Tabella 2.30: Costi Totali per la congestione stradale in miliardi di euro relative alle sole automobili [fonte: "Handbook on the external costs of transport", CE DELFT, maggio 2019]

Automobili: deadweight loss per vkm (on congested network)												
	Area urbana						Area inter-urbana					
	Strada Scorrimento veloce			Altre Strade Urbane			Autostrada			Altre strade		
	PC	C	QC	PC	C	QC	PC	C	QC	PC	C	QC
EU28	3,76	2,61	1,47	7,65	6,54	4,72	3,66	2,54	1,45	5,73	4,67	3,21
AT	4,18	2,90	1,64	8,49	7,26	5,24	4,06	2,82	1,61	6,36	5,19	3,56
BE	4,35	3,01	1,70	8,84	7,55	5,45	4,26	2,96	1,68	6,67	5,44	3,73
BG	2,41	1,67	0,94	4,90	4,19	3,02	2,31	1,61	0,91	3,62	2,95	2,03
HR	2,90	2,01	1,14	5,90	5,04	3,64	2,78	1,93	1,10	4,35	3,55	2,44
CY	3,11	2,16	1,22	6,32	5,41	3,90	2,98	2,07	1,18	4,67	3,81	2,61
CZ	4,13	2,86	1,62	8,39	7,17	5,17	4,03	2,80	1,59	6,31	5,15	3,53
DK	3,90	2,70	1,52	7,92	6,77	4,88	3,74	2,60	1,48	5,86	4,78	3,28
EE	3,24	2,24	1,27	6,58	5,63	4,06	3,19	2,22	1,26	5,00	4,08	2,80
FI	3,74	2,59	1,46	7,61	6,50	4,69	3,64	2,53	1,44	5,70	4,65	3,19
FR	3,58	2,48	1,40	7,28	6,22	4,49	3,45	2,40	1,36	5,40	4,41	3,02
DE	3,77	2,61	1,47	7,66	6,55	4,72	3,68	2,56	1,46	5,77	4,70	3,23
EL	2,99	2,07	1,17	6,08	5,20	3,75	2,94	2,04	1,16	4,61	3,76	2,58
HU	3,26	2,26	1,28	6,63	5,67	4,09	3,09	2,15	1,22	4,84	3,95	2,71
IE	7,39	5,12	2,89	15,01	12,83	9,26	7,51	5,22	2,97	11,77	9,60	6,59
IT	3,59	2,48	1,40	7,29	6,23	4,49	3,47	2,41	1,37	5,44	4,43	3,04
LV	3,29	2,28	1,29	6,69	5,72	4,13	3,09	2,15	1,22	4,84	3,95	2,71
LT	3,58	2,48	1,40	7,27	6,22	4,49	3,36	2,33	1,33	5,26	4,29	2,94
LU	8,21	5,69	3,21	16,68	14,26	10,29	7,93	5,51	3,13	12,42	10,13	6,95
MT	3,41	2,36	1,33	6,92	5,92	4,27	3,26	2,27	1,29	5,11	4,17	2,86
NL	4,47	3,10	1,75	9,08	7,76	5,60	4,24	2,95	1,68	6,65	5,42	3,72
PL	3,34	2,31	1,31	6,79	5,80	4,18	3,28	2,28	1,30	5,13	4,19	2,87
PT	3,28	2,27	1,28	6,66	5,69	4,11	3,16	2,20	1,25	4,95	4,04	2,77
RO	2,99	2,07	1,17	6,08	5,20	3,75	3,44	2,39	1,36	5,39	4,39	3,01
SK	4,09	2,83	1,60	8,31	7,11	5,13	3,89	2,71	1,54	6,10	4,98	3,41
SI	3,16	2,19	1,24	6,43	5,50	3,97	3,02	2,10	1,19	4,73	3,86	2,65
ES	3,66	2,54	1,43	7,44	6,36	4,59	3,59	2,50	1,42	5,63	4,59	3,15
SE	4,08	2,82	1,60	8,29	7,08	5,11	3,98	2,76	1,57	6,23	5,08	3,49
UK	3,66	2,54	1,43	7,44	6,36	4,59	3,58	2,49	1,41	5,61	4,57	3,14

Tabella 2.31: Costi per vkm in situazioni di congestione (€-cent per vkm). Le sigle PC, C e QC rappresentano gli stati di traffico, rispettivamente "Più che congestionato", "congestionato" e "Quasi Congestionato" [fonte: "Handbook on the external costs of transport", CE DELFT, maggio 2019]

Cars: delay cost per vehicle-km (on congested network)												
	Area urbana						Area inter-urbana					
	Strada Scorrimento Veloce			Altre Strade Urbane			Autostrada			Altre strade		
	PC	C	QC	PC	C	QC	PC	C	QC	PC	C	QC
EU28	25,66	12,38	5,07	73,43	38,79	17,77	23,48	11,32	4,64	47,70	24,74	11,08
AT	28,51	13,75	5,63	81,57	43,09	19,73	26,08	12,58	5,15	52,98	27,48	12,31
BE	29,66	14,30	5,86	84,87	44,83	20,53	27,33	13,18	5,40	55,52	28,80	12,90
BG	16,45	7,93	3,25	47,07	24,87	11,39	14,83	7,15	2,93	30,12	15,63	7,00
HR	19,81	9,55	3,91	56,67	29,94	13,71	17,84	8,61	3,52	36,24	18,80	8,42
CY	21,23	10,24	4,19	60,74	32,09	14,69	19,12	9,22	3,78	38,84	20,15	9,02
CZ	28,16	13,58	5,56	80,58	42,57	19,49	25,87	12,48	5,11	52,54	27,26	12,21
DK	26,57	12,81	5,25	76,03	40,17	18,39	24,00	11,57	4,74	48,75	25,29	11,32
EE	22,10	10,66	4,37	63,24	33,41	15,30	20,50	9,88	4,05	41,63	21,60	9,67
FI	25,53	12,31	5,04	73,04	38,59	17,67	23,35	11,26	4,61	47,42	24,60	11,02
FR	24,43	11,78	4,83	69,91	36,93	16,91	22,14	10,68	4,37	44,97	23,33	10,45
DE	25,71	12,40	5,08	73,55	38,86	17,79	23,63	11,40	4,67	48,00	24,90	11,15
EL	20,42	9,85	4,03	58,42	30,86	14,13	18,89	9,11	3,73	38,36	19,90	8,91
HU	22,24	10,73	4,39	63,64	33,62	15,40	19,85	9,57	3,92	40,32	20,92	9,37
IE	50,38	24,30	9,95	144,15	76,15	34,87	48,23	23,26	9,53	97,96	50,82	22,76
IT	24,46	11,80	4,83	69,99	36,98	16,93	22,27	10,74	4,40	45,24	23,47	10,51
LV	22,46	10,83	4,44	64,27	33,96	15,55	19,85	9,57	3,92	40,31	20,91	9,37
LT	24,41	11,77	4,82	69,85	36,90	16,90	21,56	10,40	4,26	43,79	22,72	10,17
LU	55,99	27,00	11,06	160,21	84,64	38,76	50,91	24,55	10,06	103,39	53,63	24,02
MT	23,23	11,20	4,59	66,46	35,11	16,08	20,92	10,09	4,13	42,50	22,05	9,87
NL	30,48	14,70	6,02	87,21	46,07	21,10	27,25	13,14	5,38	55,34	28,71	12,86
PL	22,78	10,98	4,50	65,17	34,43	15,77	21,04	10,15	4,16	42,73	22,17	9,93
PT	22,35	10,78	4,41	63,94	33,78	15,47	20,28	9,78	4,01	41,19	21,37	9,57
RO	20,40	9,84	4,03	58,37	30,84	14,12	22,07	10,64	4,36	44,82	23,25	10,41
SK	27,91	13,46	5,51	79,84	42,18	19,32	25,00	12,05	4,94	50,77	26,34	11,79
SI	21,58	10,41	4,26	61,75	32,62	14,94	19,37	9,34	3,83	39,35	20,41	9,14
ES	24,97	12,04	4,93	71,43	37,74	17,28	23,07	11,13	4,56	46,87	24,31	10,89
SE	27,81	13,41	5,49	79,57	42,04	19,25	25,54	12,32	5,05	51,88	26,91	12,05
UK	24,99	12,05	4,94	71,50	37,77	17,30	22,97	11,08	4,54	46,66	24,21	10,84

Tabella 2.32: Costi per vkm in situazioni di congestione (€-cent per vkm). Le sigle PC, C e QC rappresentano gli stati di traffico, rispettivamente "Più che congestionato", "congestionato" e "Quasi Congestionato" [fonte: "Handbook on the external costs of transport", CE DELFT, maggio 2019]

Analogamente ai precedenti paragrafi anche in questo caso vengono approfondite le modalità per la stima del costo marginale; come detto in precedenza per la stima di questi valori è possibile utilizzare solo l’approccio DWL, poiché è l’unico dei due metodi che utilizza la SMC, necessaria al calcolo marginale. La congestione stradale è altamente dipendente dal contesto, e principalmente dal grado di traffico (le tre precedenti condizioni identificate in tabella 2.31 e 2.32) e tipo di strada. La stima del costo marginale consta nel sottrarre al valore SMC il costo privato sostenuto da guidatore (AC), ottenendo graficamente il valore del segmento che unisce A e C in Figura 2.6.

Il procedimento di stima risulta molto difficoltoso in realtà, e per alcuni stime di valori complessi è necessaria una semplificazione. Anzitutto per i tratti urbani il conto è stato circoscritto alle sole automobili, mentre nei tratti interurbani si estende anche a pullman e camion. Altra semplificazione è sia nella stima della curva SMC che della AC, che rappresentano una sorta di valore mediano dell’effetto marginale di un ulteriore veicolo su un complesso mix di veicoli e che rispondono a parametri di volta in volta differenti. Queste forti semplificazioni richiedono quindi un cambio di prospettiva, considerando non più il costo di chi entra nel traffico, ma il costo marginale di chi lo subisce, permettendo una più corretta identificazione sia dell’elasticità che della monetizzazione del tempo perso in coda. Il solo problema con questo cambio di prospettiva, formalmente molto indicativo, è che non può essere sommato alle altre esternalità, e quindi ai fini regolamentatori ha poca rilevanza, ma resta comunque un interessante panoramica sul metodo applicato. Per semplicità di seguito verranno riportati solo gli scenari relativi alle macchine passeggeri in Italia e in EU28.

Social Marginal Congestion Costs per traffico generato per vkm (€-cent per vkm)												
	Area Urbana						Area Inter-urbana					
	Strada Scorrimento Veloce			Altre Strade Urbane			Autostrada			Altre strade		
	PC	C	QC	PC	C	QC	PC	C	QC	PC	C	QC
<b>EU-28</b>	32,1	24,8	17,4	66,3	58,2	47,2	29,4	22,6	15,9	46,4	39,6	31,2
<b>IT</b>	30,6	23,6	16,6	63,2	55,5	45,0	27,8	21,5	15,1	44,0	37,5	29,6
Social Marginal Congestion Costs per traffico generato per vkm (€-cent per pkm / tkm)												
	Area Urbana						Area Inter-urbana					
	Strada Scorrimento Veloce			Altre Strade Urbane			Autostrada			Altre strade		
	PC	C	QC	PC	C	QC	PC	C	QC	PC	C	QC
<b>EU-28</b>	19,9	15,4	10,8	41,2	36,1	29,3	18,2	14,1	9,9	28,8	24,6	19,4
<b>IT</b>	19,1	14,8	10,4	39,6	34,7	28,2	17,4	13,4	9,5	27,5	23,5	18,5

Tabella 2.33: Costi Marginali per la congestione stradale in centesimi di € relativi alle sole automobili [fonte: “Handbook on the external costs of transport”, CE DELFT, maggio 2019]

## 2.9. Panoramica per l'Italia e il contesto Europeo

Dalle valutazioni di questo capitolo emerge quindi un panorama di esternalità di dimensioni rilevanti, che sia nel caso europeo che in quello italiano è un elemento da non sottovalutare in fase di regolamentazione.

		Automobili	Bus	Motociclette	LCV	HGV
<b>Incidenti</b>	<b>EU-28</b>	210,24	5,32	20,97	19,79	22,99
<b>Inquinamento dell'aria</b>		33,36	4,03	1,84	15,49	13,93
<b>Cambiamento climatico</b>		55,56	2,46	1,47	13,17	9,63
<b>Inquinamento acustico</b>		26,17	1,63	14,80	5,43	9,11
<b>Congestione</b>		196,05	4,47	/	55,48	14,60
<b>Danno ambientale</b>		25,93	0,59	0,54	4,44	3,56
<b>IT</b>						
<b>Incidenti</b>	<b>IT</b>	29,59	0,49	3,44	2,15	2,24
<b>Inquinamento dell'aria</b>		5,01	0,77	0,79	2,64	1,25
<b>Cambiamento climatico</b>		7,67	0,41	0,48	2,02	0,55
<b>Inquinamento acustico</b>		6,12	0,40	7,61	1,29	0,76
<b>Congestione</b>		23,04	0,74	/	6,78	1,13
<b>Danno ambientale</b>		2,79	0,10	0,14	0,48	0,16

Tabella 2.34: Costi totali delle esternalità in miliardi di euro nei casi italiani e europei. [fonte: "Handbook on the external costs of transport", CE DELFT, maggio 2019]

È evidente come la dimensione di queste esternalità sia principalmente dettata dall'enorme volume di chilometri percorsi da parte delle automobili, che nel contesto italiano sono alla base del 67% del valore complessivo. Per un'analisi più realistica sull'impatto complessivo dei singoli veicoli però è necessario un focus su quelli marginali che, svincolati da volume di traffico complessivo, riescono a formare uno scenario più chiaro riguardante l'impatto nel traffico.

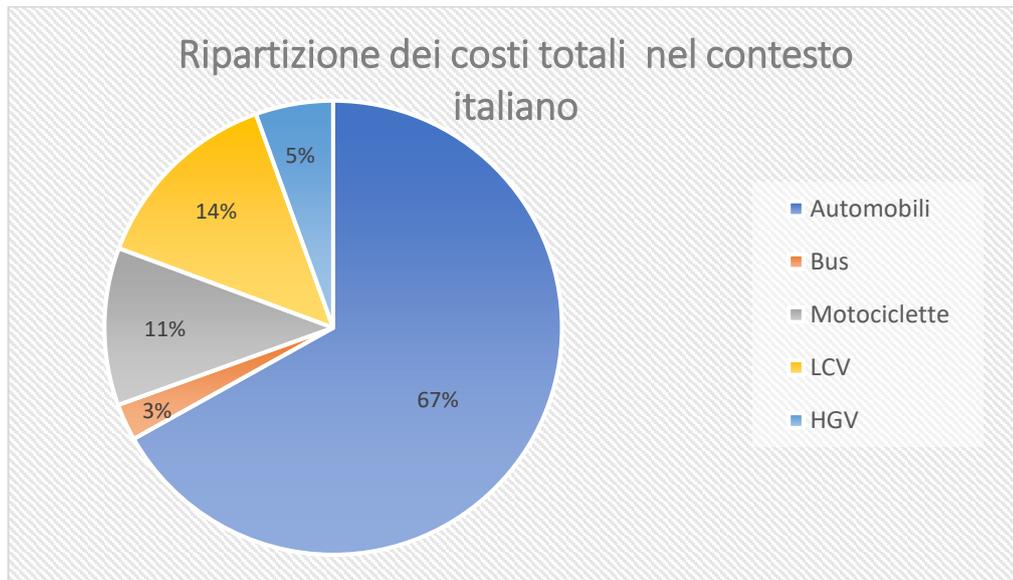


Figura 2.8: Valori percentuali delle esternalità ripartite per mezzo. [fonte: "Handbook on the external costs of transport", CE DELFT, maggio 2019]

Vale la pena anche andare a indagare sulle dimensioni relative delle esternalità a seconda della tipologia, per avere un'indicazione su quale siano le più dannose dal punto di vista economico. Prendendo in esame il caso italiano si evidenzia come le esternalità riguardanti gli incidenti e la congestione stradale siano le più rilevanti, seguite dalle emissioni dei motori, sia in termini di CO<sub>2</sub> che di agenti inquinanti.

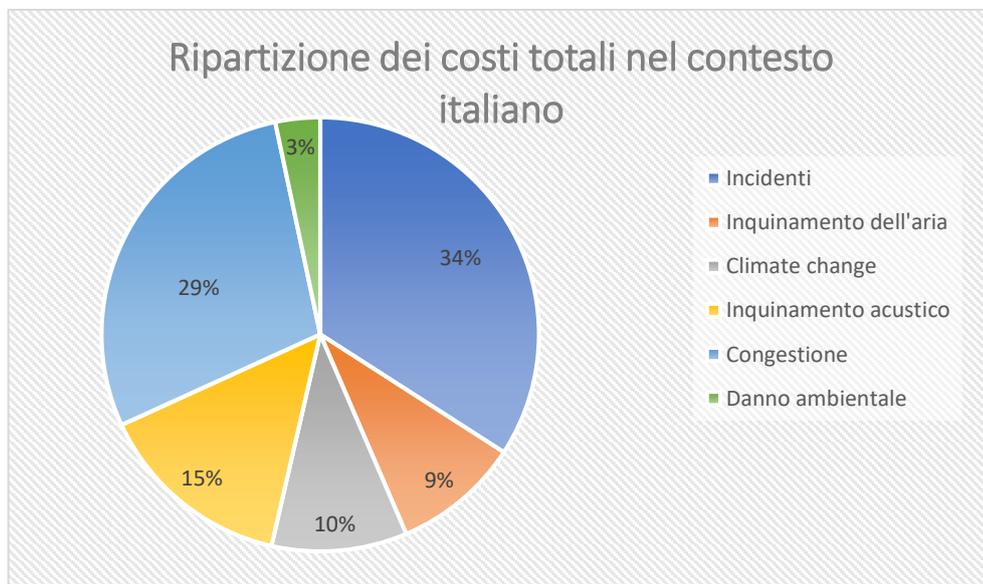


Figura 2.9: Valori percentuali delle esternalità ripartite per causa. [fonte: "Handbook on the external costs of transport", CE DELFT, maggio 2019]

### 3. Calcolo e analisi dei valori marginali nel contesto autostradale italiano

#### 3.1. I percorsi di internalizzazione

In questo ultimo capitolo verrà offerta una panoramica dell'adattamento dei vari costi marginali riguardanti l'Italia in ambito autostradale. Questo lavoro ha come obiettivo quello di fornire una stima preliminare degli elementi, necessari alla stipula di nuovi accordi in fase di concessione autostradale. La determinazione del complessivo ammontare di queste esternalità infatti è il primo passo di un processo di internalizzazione, parziale o completa, di tali elementi. I metodi per la quantificazione, sia totale che marginale, analizzati in precedenza sono i più recenti sul panorama scientifico in questo momento, ma necessitano di elevate quantità di dati, metodi di rilevazione peculiari e, quindi affrontano il problema di viaggiare con anni di ritardo rispetto alla stipula di contratti di concessione. Lo studio di riferimento "*SUSTAINABLE TRANSPORT INFRASTRUCTURE CHARGING AND INTERNALISATION OF TRANSPORT EXTERNALITIES*" [ARNO SCHROTEN (CE DELFT), HUIB VAN ESSEN, LISANNE VAN WIJNGAARDEN (CE DELFT), DANIEL SUTTER (INFRAS) E ELLA ANDREW (RICARDO)], il più recente in circolazione, è del maggio 2019, ma nonostante ciò, per il calcolo è stato scelto il 2016 come anno base, essendo l'anno più recente, con dati completi. Da qui si presentano per l'ente regolatore, due differenti strade, per proseguire il percorso di internalizzazione:

1. Diminuire le complessità; ovvero scegliere metodi meno completi o meno recenti che però in cambio offrano un'immediatezza di risultato.
2. Adattare i risultati di un anno base all'anno di riferimento; ovvero applicare una serie di misure atte alla trasposizione temporale di un risultato da un anno  $X$  in un anno  $X+n$ .

Sebbene entrambe valide scelte, esporranno l'ente ad una serie di rischi di imprecisione, che dovranno essere compresi e tenuti in conto per le future implementazioni. Nel corso del capitolo si approfondirà la seconda via, la trasposizione trans-temporale dei valori di costo marginale; verranno riportate una serie di valutazioni e risultati in quest'ottica, con osservazioni in merito ai vari limiti incontrati e suggerimenti per il percorso di internalizzazione.

#### 3.2. L'adattamento temporale

Prima di iniziare le analisi delle singole esternalità è necessario approfondire meglio la metodologia di *value transfer* applicata nello studio. Come accennato nel secondo capitolo, la principale metodologia applicata in quest'operazione è la "*unit transfer with income adjustments*", ovvero un adattamento dei valori di quantificazione economica delle esternalità (i vari cost driver incontrati finora) in base al rapporto tra GDP pro capite PPP

corrected dei due paesi interessati. Nel contesto di trasposizione geografica lo studio ha principalmente valutato i costi a livello di EU28 per poi “declinarli” in base ai vari paesi.

Laddove però ci fosse l’interesse alla trasposizione non solo nazionale ma anche tra periodi temporali differenti, il report stesso suggerisce due elementi da tenere in considerazione, il livello dei prezzi e il livello dei redditi differenti. Per fare ciò nel ricalcolare i costi marginali, è stato previsto un doppio metodo di adattamento, uno in base al CPI (*Consumer Price Index*) e uno che tenesse conto della variazione dei redditi.

Il CPI è un indice che misura la media pesata dei prezzi di un determinato paniere di beni di consumo e servizi, calcolato prendendo in considerazione le variazioni di prezzo di ogni singolo elemento. Lo scopo principale di questo indicatore è mostrare ad un livello aggregato il livello dei prezzi di un paese, ed è per questo che è stato preso in considerazione [1]. In Italia, per adeguare periodicamente i valori monetari, ad esempio il canone di affitto o l’assegno dovuto al coniuge separato, si utilizza l’indice dei prezzi al consumo per le famiglie di operai e impiegati (FOI) al netto dei tabacchi, che nell’adattare i prezzi dal 2016 al 2018 suggerisce un valore di 1,022 [2].

Analogamente, per tenere in conto il differente livello dei redditi, la strada metodologica utilizzata è stata la ripresa dei valori di GDP pro capite, la correzione per PPP, e la sostanziale ripetizione della metodologia già applicata, come a considerare l’Italia del 2018 un paese differente nel contesto europeo rispetto al 2016. La scelta è stata fatta in base alla natura rappresentata dai cost driver; viene ipotizzato come in un ambiente nazionale che nel giro di due anni abbia aumentato o diminuito il proprio “reddito” reale (motivo della correzione PPP) e che anche la WTP possa aumentare/diminuire di conseguenza. Il calcolo richiede inoltre l’adozione di un fattore di elasticità al reddito già previsto nella trasposizione geografica, che in assenza di valori più accurati, è stato confermato di 0,8. La formula applicata è la seguente

$$CostDr_{2018} = CostDr_{2016} \cdot \left( \frac{I_{2018}}{I_{2016}} \right)^{\epsilon} \quad (3.1)$$

con  $I_{2018}$  e  $I_{2016}$  a rappresentare i GDP pro capite PPP corrected dei rispettivi anni e a rappresentare l’elasticità. A fronte di questi due approcci sono stati applicati quindi due fattori di conversione differenti; per il FOI, come già visto, i costi vengono aumentati del 2,2%, mentre l’approccio basato sull’aumento del GDP porta ad un fattore del 3,1%. Nel corso del capitolo precedente è stata applicata una simile formula (2.3), per l’adattamento dei valori di costo per l’uomo; quello quindi proposto è un adattamento analogo a quanto presentato in quel frangente e riproposto dal report in chiave geografica.

Successivamente alla conversione dei driver di costo, per ogni esternalità è stato fatto un tentativo per reperire quelli che sono i valori di “volume” da unire per il calcolo

marginale, che verrà approfondito nei seguenti paragrafi. Verranno approfondite le esternalità relative a incidenti, a emissioni inquinanti e gas serra (in modo congiunto), al rumore e alla congestione. La scelta di tralasciare il danno ambientale è stata fatta in seguito alla decisione di improntare il capitolo all'analisi dei costi marginali, che come scritto in precedenza, sono praticamente nulli nel caso in questione.

Inoltre, per far sì che esse siano un effettivo primo passo verso la nuova regolamentazione autostradale, si è scelto di restringere la stima di questi valori alla sola rete autostradale italiana, che rappresenta solo una percentuale della totale rete viaria asfaltata italiana. Essa infatti si estende per 184.297 km, di cui, stando al documento AISCAT [4] 6.943 km di autostrade e trafori, tra quelle in gestione ANAS e quelle in concessione ad altre società.

### 3.3. Costi marginali dovuti ad incidenti

La prima delle esternalità interessata dal processo di adattamento è stata quella dovuta al rischio di essere coinvolti in un sinistro. Come spiegato nel secondo capitolo, per i costi marginali ci si è affidati alla (2.4), ovvero

$$MC_i^v = r_i^v (a + b + c) (1 + E_i^v) - \theta^v r_i^v (a + b)$$

Con i valori spiegati in precedenza; nel voler riproporre quindi un analogo calcolo per i valori del 2018, è stato necessario focalizzarsi sulle due principali direttive, Cost Driver (i valori  $a$ ,  $b$  e  $c$ ) e  $r$  (ovvero la percentuale di rischio di prendere parte a un sinistro).

Anzitutto sono stati ricalcolati i valori relativi ai costi di un singolo incidente dato il suo esito, se mortale, grave o lieve; nel fare ciò si è proceduto alla valutazione dei precedenti valori alla luce dei due tassi di “aggiornamento” visti in precedenza, ottenendo i risultati di seguito mostrati.

Costi per l'uomo			
	Incidenti mortali (€)	Incidenti seri (€)	Incidenti lievi (€)
IT 2016	2.888.866	468.373	36.029
IT 2018 CPI	2.952.421	478.677	36.822
IT 2018GDPPC	2.978.039	482.831	37.141

	Production loss			Costi medici			Costi amministrativi		
	Inciden ti mortali (€)	Inciden ti seri (€)	Inciden ti lievi (€)	Inciden ti mortali (€)	Inciden ti seri (€)	Inciden ti lievi (€)	Inciden ti mortali (€)	Inciden ti seri (€)	Inciden ti lievi (€)
IT 2016	354.695	23.611	1.444	2.672	8.226	708	1.873	1.288	554
IT 2018 CPI	362.498	24.130	1.476	2.731	8.407	724	1.914	1.316	566
IT 2018 GDPPC	365.644	24.340	1.489	2.754	8.480	730	1.931	1.328	571

Tabella 3.1: Valori di costo relativi al singolo incidente; rielaborazione personale su dati CE DELFT

Nella formula espressa in precedenza, i valori  $a + b$  vengono rappresentati dai costi per l'uomo, mentre i restanti costi vengono inclusi nel parametro  $c$ . La prima riga di entrambe le tabelle mostra i valori stimati nel 2016, secondo i metodi precedentemente illustrati, mentre le righe successive sono state corrette per i fattori rispettivamente di CPI e GDP pro capite corretto PPP. Nonostante questi fattori di correzione, la variazione è stata minima, dato che ci si è spostati di un periodo temporale relativamente breve e confrontando due situazioni economiche che nel giro di due anni non hanno affrontato

cambiamenti rilevanti. Questo fa propendere per l'adozione di questo approccio di rivalutazione per brevi periodi temporali, procedendo poi ad un ricalcolo complessivo dei valori. Il principale oggetto di ricalcolo dovrebbe essere il valore statistico della vita (VOSL), alla base della maggior parte dei cost driver affrontati, e i vari costi relativi alla production loss, influenzati dallo stato economico del paese.

Affiancata alla rivalutazione del Cost Driver è stato necessario andare a ricercare quelle informazioni relative sia al parco circolante su autostrada, sia a VKM percorsi sulla rete dalle singole categorie di mezzi; inoltre, sono stati rintracciati i dati anche relativi ai vari incidenti sulle reti autostradali. Per i volumi di sinistri su autostrada e sui chilometri percorsi dalle varie tipologie di vettura ci si è riferiti al report semestrale AISCAT [4] come base dati. Sul documento infatti, oltre alle informazioni riguardanti gli ultimi due trimestri in ambito autostradale, vengono riportati anche gli aggregati annuali di osservazioni come il numero di incidenti e il numero di VKm percorsi. Il problema di rivolgersi a questa fonte però è stata la differenziazione delle informazioni presentate; per il calcolo marginale, ma soprattutto per il calcolo del valore  $r$ , i dati devono clusterizzati in automobili, motocicli, mezzi di trasporto per molte persone (pullman o bus) e veicoli di trasporto merci, leggeri e pesanti. Il report AISCAT al contrario, presenta i dati relativi agli incidenti solamente divisi tra mezzi leggeri e pesanti, mentre suddivide i chilometri percorsi in base alle 5 classi tariffarie, ovvero:

- Classe A, motocicli e autoveicoli a 2 assi con altezza al primo asse fino a mt. 1,30
- Classe B, motocarri e autoveicoli a 2 assi con altezza al primo asse superiore a mt. 1,30.
- Classe 3, autoveicoli a 3 assi.
- Classe 4, autoveicoli a 4 assi.
- Classe 5, Autoveicoli a 5 o più assi.

Questo ha richiesto alcune ipotesi, soprattutto legate alle classi non numerate; la presenza, infatti, di più di tre assi ha portato all'ipotesi che i mezzi potessero venire considerati mezzi pesanti HGV. Questo tipo di suddivisione è richiesta principalmente per l'applicazione dei valori  $\theta$ , che sono stati suddivisi in base al tipo di veicolo. Per superare tale limite sono stati portati avanti due assunti importanti; la prima è che la classe B, formata da mezzi sostanzialmente a metà tra l'ingombro di un'automobile e un camion pesante abbia il valore  $\theta$  proprio dei veicoli di trasporto merci leggeri (LCV), ossia il 28%. La seconda assunzione ha riguardato la classe A, principalmente interessata da trasporto persone, e quindi composta da motocicli e automobili. Dato che la fonte di dati non ha fornito una suddivisione in percentuale delle percorrenze dei due tipi di veicolo, necessario procedere con un adattamento dei dati. Attraverso i dati dell'ACI [5], aggiornati al 2018, si è proceduto a valutare quale potesse essere il rapporto tra

motociclette e automobili sulle reti italiane. Non è stato ritenuto corretto infatti applicare la proporzione diretta tra i due parchi veicolari, perché alcuni veicoli non sono ammessi al transito autostradale. Anzitutto la legislazione corrente impedisce esclusivamente ai ciclomotori sotto i 125 centimetri cubici di cilindrata, ma nel 2018 era ancora in vigore la preclusione a tali veicoli, autorizzando solo i motori oltre i 150. Per questo nel parco veicoli motociclistico sono stati esclusi i mezzi nella categoria “fino a 125”. Per le automobili non vige alcun tipo di vincolo, ma è stata ritenuta necessaria una piccola restrizione al parco, ovvero quella di escludere dai conteggi i veicoli Euro 1 e Euro 0. In precedenza, è stato spiegato velocemente il significato di queste classi, legate principalmente al tema delle emissioni, ma le stesse possono essere usate per avere una classificazione “temporale” abbastanza accurata. Escludere dal conteggio le auto Euro 0 e Euro 1 è fatto con lo scopo di eliminare dal parco auto con più di 30 anni, che quindi difficilmente percorrono lunghe tratte autostradali frequentemente. Questo tipo di vetture infatti, ancora presenti in buona percentuale in circolazione, sono per lo più destinate a tratti urbani, sia per questioni di sicurezza che di consumi. A sostegno di queste ipotesi è riportato di seguito un grafico tratto dal documento “*STUDIO DEL PARCO CIRCOLANTE SULL’AUTOSTRADA A22 E CALCOLO DELLE EMISSIONI PRODOTTE*” [6], che evidenzia proprio questo elemento; a seconda delle fonti prese i risultati sono molto diversi, soprattutto tra le rilevazioni ACI e le osservazioni fatte dalla stessa società in 4 giorni su punti dell’A22. Come ipotizzato, il flusso di automobili si caratterizza con una bassa presenza di auto Euro 1 e Euro 0, in percentuali pressoché trascurabili.

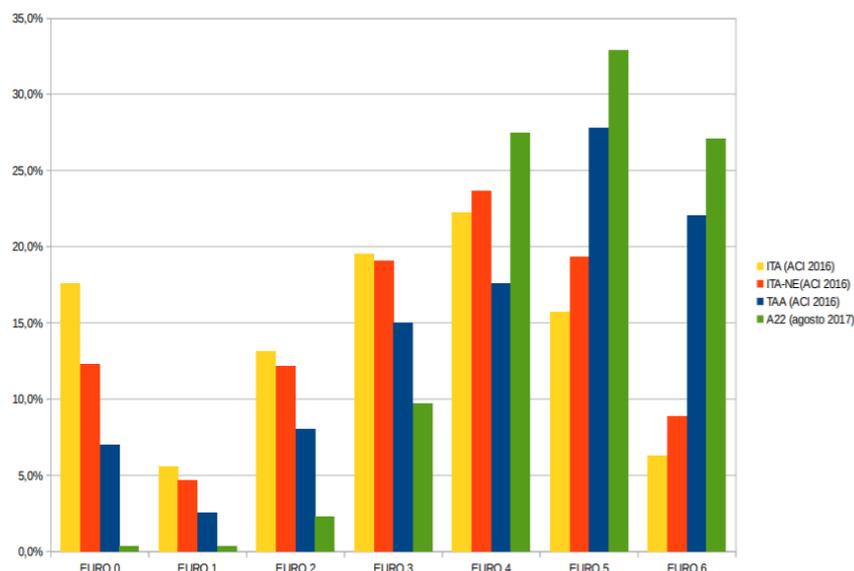


Figura 3.1: Distribuzione in classi EURO del parco circolante derivato da diversi database: ACI Italia 2016, ACI Italia Nord-Est 2016, ACI Italia Trentino-Alto Adige 2016, A22 2017. [Fonte: STUDIO DEL PARCO CIRCOLANTE SULL’AUTOSTRADA A22 E CALCOLO DELLE EMISSIONI PRODOTTE]

Queste due restrizioni hanno prodotto i seguenti valori:

Valori Classe A	
Moto circolanti su Autostrada	4 944 913
Auto circolanti su Autostrada	34 288 952
Percentuale moto	12,6%
Percentuale Auto	87,4%
Milioni di Vkm Anni totali	63 440,9
Milioni di Vkm annui motocicli	7 995,9
Milioni di Vkm annui automobili	55 445,1

Tabella 3.2: Valutazione mezzi classe A circolanti su autostrada. Rielaborazione personale su dati AISCAT e ACI

Per una definizione complessiva di Vkm di:

Vkm annui suddivisi per Classi tariffarie						
	Classe A (mezzi leggeri)		Classe B	Classe 3	Classe 4	Classe 5
	Automobili	Motocicli	LCV	HGV	HGV	HGV
VKM (mln)	55 445,0	7 995,9	7 675,6	1 358,8	939,9	9 570,1
TOT	63 440,9		19 544,5			
	Mezzi leggeri		Mezzi Pesanti			
Percentuale	87%	13%	39%	7%	5%	49%

Tabella 3.3: Vkm per tipologia di mezzo, rielaborazione dati AISCAT

Per l'analisi degli incidenti, sempre il report AISCAT riporta informazioni abbastanza scarse, per lo più il numero di incidenti, il numero di quelli con almeno un morto, il complessivo dei feriti e il complessivo dei morti, differenziato solamente tra mezzi leggeri e pesanti. Queste difficoltà hanno fatto sì che il calcolo necessario per il rischio di essere coinvolti in incidente dovesse essere fatto prima a seconda del mezzo (leggero/pesante) e successivamente ripartito secondo proporzione nei vari mezzi.

Per fare un esempio chiarificatore, il numero di morti per incidente su veicoli leggeri è 161, che viene diviso per 63 440,9 milioni di Vkm. Una volta fatto ciò si moltiplica la percentuale relativa al numero di automobili tra i mezzi leggeri (dove sono presenti anche le motociclette), 87%, così da ottenere il valore  $r$  ricercato. Calcoli analoghi sono stati svolti per i restanti mezzi e per i feriti su autostrada. Infine, per procedere al calcolo, è stata necessaria un'ultima assunzione; come si può leggere nei report dell'AISCAT, viene conteggiato come "ferito" esclusivamente chi viene portato via con un'ambulanza. Questo criterio ha complicato il calcolo, in quanto non è stato possibile effettuare una valutazione su quali di essi fossero feriti gravi e chi altro fosse un ferito lieve. È stato però ritenuto plausibile che chiunque avesse bisogno di una ambulanza per lasciare il luogo di

un incidente sia plausibilmente rimasto coinvolto in un incidente “grave”. Migliorare in questo senso la rilevazione, può permettere un livello di precisione maggiore.

Una volta svolti tutti i passaggi si ha la possibilità di effettuare i conti dei costi marginali, sia per gli incidenti fatali che per gli incidenti gravi, che poi si sommano nel valore finale:

	Incidenti mortali	Incidenti con feriti	totale
<b>MC(AUTO)</b>	0,15	1,07	1,22
<b>MC(MOTO)</b>	- 0,01	- 0,10	- 0,11
<b>MC(CLASSE B)</b>	0,32	1,00	1,32
<b>MC(CLASSE 3)</b>	0,07	0,22	0,29
<b>MC(CLASSE 4)</b>	0,05	0,16	0,20
<b>MC(CLASSE 5)</b>	0,49	1,58	2,08

Tabella 3.4: Valori di costo marginale calcolati secondo GDP PPP adjusted pro capita. Elaborazione personale su dati CE DELFT, AISCAT e ACI

Vengono riportati esclusivamente i valori GDP pro capite in quanto il conto effettuato con la correzione per Consumer Price Index non varia i valori marginali a questo livello di approssimazione. Come nel caso calcolato dal report DELFT illustrato nel secondo capitolo, le motociclette sembrano avere un effetto positivo sulla sicurezza del traffico autostradale. Ciò si spiega matematicamente dal fatto che il valore dell’elasticità E (elasticità del rischio di incidente all’aumento del traffico, che è negativa, dato che aumentando il traffico diminuisce la velocità) sommato (in valori assoluti) al grado di internalizzazione superano l’1 ( 0.93 + 0.25); dal punto di vista logico significa che l’ingresso di una motocicletta aumenta l’attenzione del traffico, abbassandone il rischio di fare incidenti, e che quindi abbassa il rischio di fare incidenti, ergo un ingresso di una motocicletta non solo non arreca danni al resto dei guidatori, ma permette a tutti di migliorare la propria “utilità” con un effetto positivo. Anche se in questo caso l’indicazione è da cogliere con le dovute riserve metodologiche. La rilevazione inclusiva di incidenti di mezzi leggeri, ovvero accorpando automobili e motociclette, in autostrada soprattutto, comporta un limite procedurale da non sottovalutare. Un sinistro in ambito autostradale, quindi con velocità di marcia elevate, per un mezzo scoperto come la motocicletta, ha sicuramente esito fatale più probabile, dando vita quindi ad un rapporto Morti/VKM percorsi elevato, che deve essere tenuto in considerazione. La possibilità di avere questo rapporto in future osservazioni potrebbe essere fondamentale per il corretto importo della quantificazione monetaria dell’esternalità.

### 3.4. Costi marginali dell'inquinamento dell'aria e di cambiamento climatico

Il calcolo dell'esternalità di costo relativa all'emissione di gas serra e sostanze inquinanti si è dimostrato uno dei più difficili da affrontare. Ciononostante, il presupposto di base è abbastanza favorevole; infatti, come illustrato nel capitolo precedente i costi marginali sono uguali ai costi medi, sia nel Climate Change, sia nell'inquinamento dell'aria. Il problema sorge nella quantificazione dell'emissione.

Nel secondo capitolo non è stato volutamente approfondito l'algoritmo alla base delle stime effettuate, ovvero il COPERT, ma si è principalmente affrontato il tema della quantificazione economica dei vari effetti. Questo perché si è ritenuto che la descrizione tecnica dell'algoritmo e del software fossero fuori focus rispetto al tema trattato. Nel proporre soluzioni di costo marginali calcolate in maniera autonoma ci si è però scontrati con la enorme quantità di dati necessari all'implementazione.

Senza dilungarsi in analisi fin troppo tecniche vale la pena introdurre quindi una spiegazione di questa procedura e di evidenziare quali siano questi dati, e dove sia possibile tracciarli. L'obiettivo dell'algoritmo è il calcolo dell'emissione delle varie sostanze durante il tragitto su gomma, e per fare ciò si parte da parametri trasportistici di base come: numero e tipo dei veicoli, velocità media di tragitto e chilometri percorsi. Successivamente viene calcolato per i singoli tratti (suddivisi a monte del calcolo) il fattore di emissione specifico per ogni sostanza, secondo la formula:

$$EF = \frac{[A \cdot v^2 + B \cdot v + C + \frac{D}{v}]}{[E \cdot v + F]} \quad (3.2)$$

- $v$  è la velocità del mezzo in chilometri orari
- $A, B, C, D, E, F$  sono i coefficienti che variano in base a classe e sostanza inquinante
- $EF$  è il fattore di emissione calcolato in  $g / km$  (g di emissione per chilometro percorso)

Non solo, perché poi, a seconda del grado di dettaglio prescelto nell'algoritmo tutta una serie di informazioni aggiuntive saranno necessarie; nel caso di massima accuratezza, descritta dalle linee guida EEA [7], denominata TIER 3, il calcolo si articola attorno alla somma dei valori di emissioni le situazioni differenti, come ad esempio in accensione del motore (a freddo), in regime di marcia (a caldo). Esempificativa è un'infografica del progetto BRENNERLEC citato in precedenza [6].

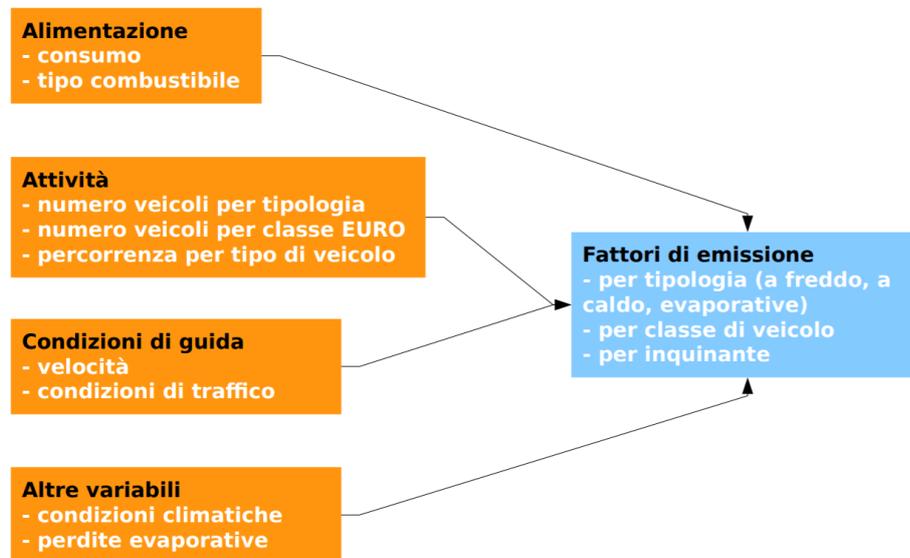


Figura 3.2: Informazioni necessarie all'applicazione della procedura COPERT V per il calcolo delle emissioni. [fonte: STUDIO DEL PARCO CIRCOLANTE SULL'AUTOSTRADA A22 E CALCOLO DELLE EMISSIONI PRODOTTE]

L'ottenimento questa grossa mole di dati può svilupparsi in diversi modi; in Italia sono già stati effettuati alcuni studi su queste emissioni, e di conseguenza sono state sperimentate varie metodologie di raccolta dati, sia con misurazioni direttamente sul campo che attraverso il ricorso a molteplici database. La differenza di questi due approcci è ovvia, poiché misurazioni dirette sul campo, seppur a campione, permettono di procedere con set di valori accurati, con parametri di ricerca predefiniti e senza assunzioni da tenere in considerazione. Oltretutto permettono, soprattutto grazie alla moderna tecnologia una misurazione quasi in tempo reale delle varie emissioni (aprendo ad uno scenario quasi di determinazione "puntuale" del valore, implementabile attraverso opportune norme nel processo tariffario autostradale). Il problema principale di questo approccio, e anche il motivo del ricorso a database come quelli dell'ACI, è che i sistemi di rilevazione sono difficili da sviluppare e, soprattutto, molto costosi. Motivo per cui la maggioranza degli studi consultati si è rivolta ad un sistema di rilevazione ibrido, che permettesse sì la rilevazione sul campo, ma solo laddove il dato non fosse già ottenibile tramite database.

Per prima cosa viene illustrato proprio l'approccio applicato al caso del'a22 dal documento BRENNERLEC [6].

Al fine di avere dati realistici la procedura ha richiesto l'unione di due diverse data base: la prima, relativa all'osservazione di 4 giornate di traffico specifiche in maggio 2017 (che rappresentassero al meglio diverse condizioni di traffico), è stata ottenuta mediante delle rilevazioni al momento del pedaggio ed è relativa a dimensioni del veicolo e km percorsi,

classe euro e tipo di alimentazione (ricavabili dalla targa). La seconda base è stata ottenuta anch'essa con delle osservazioni del traffico, in precisi punti del tratto, al fine di determinare caratteristiche descrittive del flusso. Le due basi sono state poi unite e integrate con le restanti informazioni da inserire nel software ed è stato effettuato il calcolo.

Un metodo, alternativo e “ibrido” sarebbe quello di utilizzare una simulazione attraverso un software apposito, come nel caso del 2003 dell'ARPAV [8]. In questo studio, effettuato in area veneta, le informazioni relative al flusso di traffico sulla rete stradale complessiva sono state ricavate mediante una simulazione impostata con parametri reali. Questo ha permesso di bypassare il monitoraggio sul territorio e di ottenere comunque un output realistico. Affiancato a questo approccio, la stima delle emissioni, ha usufruito dei dati ACI sul parco circolante, non avendo il “vincolo” di osservazione del solo panorama autostradale.

Un ultimo approccio utilizzato è quello del report del 2001 “*Sviluppo ed uso di metodologie per la stima delle emissioni atmosferiche da trasporto stradale in Italia su scala provinciale*” [9], che si è rivolto esclusivamente a database preesistenti (ACI, Associazione Italiana fra Industrie automobilistiche ANFIA, Unione Nazionale Distributori di Automotoveicoli UNRAE, Ministero dei trasporti e Confederazione generale italiana del traffico e dei trasporti CONFETRA), ottenendo i dati richiesti tramite incroci.

Sebbene tutti validi approcci, in sede di analisi, non si può non sottolineare la superiorità del metodo di rilevazione diretto, che aumenta notevolmente il grado di affidabilità del valore di output emissivo che si ottiene dall'algoritmo Copert. Un sistema a livello nazionale che implementi tali soluzioni e approcci è raccomandato, al fine di un inserimento nelle tariffe autostradali di una componente legata alle emissioni dei mezzi. Tale soluzione potrà essere basata su valori stimati di traffico futuro, basati sulle suddette osservazioni, o basata sull'effettivo traffico con la definizione di nuovi valori ogni breve periodo.

A fronte di queste osservazioni non è stato però possibile effettuare un calcolo per le emissioni nazionali sulla rete autostradale, ma per completezza comunque è stato calcolato un “aggiornamento” dei valori precedentemente esposti nel secondo capitolo. Questo è stato fatto attraverso i dati di costo marginale calcolati nel report DELFT, che però sono stati ottenuti con riferimento all'ambito europeo complessivo. Il passaggio successivo quindi è stato di trasporre tali costi in ambito italiano aggiornato al 2018. I valori presentati sono poi stati elaborati in modo di presentare una soluzione compatta, non differenziata in classi Euro. Nonostante infatti, la miglior soluzione sarebbe quella di tariffare in base a classi euro e combustibile utilizzato, la scelta di mostrare una visione

meno complessa è stata presa per semplificare l'output del calcolo, essendo comunque i dati marginali calcolati per classe parzialmente affidabili, perché non derivanti da osservazioni dirette. Per far sì che venissero proposti quindi valori medi ma plausibili, ci si è riferiti ancora una volta al database ACI per i veicoli circolanti. Mantenendo alcune osservazioni precedenti, di riduzione del numero di vetture circolanti in caso autostradale (no EURO 1 e Euro 0, motociclette non presenti fino ai motori 125 e presenza non significativa di mezzi di trasporto come pullman e autobus), si è effettuata una media ponderata sui veicoli circolanti. Il risultato ottenuto è stato il seguente:

Veicolo	Carburanti	Motore	TOT (€cent/Vkm)
Auto Passeggeri	Benzina	Fino a 1400	1,66
		1401 - 2000	1,89
		Oltre 2000	2,23
	Gasolio	Fino a 1400	2,62
		1401 - 2000	2,94
		Oltre 2000	3,39
	Ibrido Benzina Elettrico	Fino a 1400	1,02
		1401 - 2000	1,02
		Oltre 2000	1,02
		Benzina e Gas Liquido	Fino a 1400
	Benzina e Metano	Fino a 1400	1,37
LCV	Benzina		2,41
	Gasolio		4,87
MOTOCICLI	Benzina	125-250	1,89
		250-750	2,03
		> 750	2,25
HGV	Diesel	CLASSE 3	9,50
	Diesel	CLASSE 4	11,49
	Diesel	CLASSE 5	12,36

Tabella 3.5: Costi marginali dei veicoli in transito in autostrada relativi a cambiamento climatico e inquinamento dell'aria. Elaborazione personale su dati CE DELF, AISCAT E ACI

Il procedimento si espone, come già affermato, ad alcune fonti imprecisione:

- *Calibro dei parametri economici*: essendo i valori marginali del report calcolati con il software Copert sul caso europeo, questi sarebbero ovviamente più precisi una volta calibrati sul caso italiano. Tanto più in riferimento alla misurazione del traffico reale sul circuito autostradale della penisola.

- *Media ponderata*: i valori riportati sono il risultato di una media ponderata in base al database ACI; pur essendo molto dettagliato e approfondito, esso rappresenta il parco circolante sul territorio e non sulla rete, “diluendo” così l’affidabilità del valore.

Nonostante ciò restano da osservare alcune indicazioni interessanti, come ad esempio l’altissima componente inquinante dei camion pesanti, interessati infatti dalla regolamentazione europea delle *Eurovignette*, e, tra le automobili, il danno prodotto da automobili a gasolio, che inquinano a parità di distanza, come una volta e mezzo una macchina a benzina di pari cilindrata.

### 3.5. Costi marginali d'inquinamento acustico

Per lo sviluppo di costi marginali, nel secondo capitolo si è specificato come lo studio più recente si sia appoggiato a dataset poco recenti, come i valori delle Noise Map, sia a software ad hoc. Questo perché calcolare l'impatto marginale di una vettura in un flusso, dal punto di vista dell'inquinamento acustico, è complesso. L'ingresso di una vettura può avvenire, ad esempio, in condizioni di traffico molto diverse tra loro, in un momento di punta con una grossa mole di motori accesi contemporaneamente, o in un momento in cui non sono presenti altri veicoli. Va da sé che il rumore "marginale" creato nel secondo caso sarà maggiore del primo. Così come può essere diverso l'impatto a seconda dell'orario della giornata, del clima presente, del tipo di pavimentazione e di barriere sonore presenti; tutti queste variazioni agiscono direttamente sul numero di soggetti udenti, che a seconda delle condizioni possono essere più o meno numerosi, o quantomeno più o meno esposti. Ad esempio, uno stesso numero di persone può essere più o meno esposto a seconda del vento e della sua direzione.

Formalmente il costo marginale, variabile a seconda del tratto stradale, ora del giorno e tipo di veicolo, si può esprimere tramite la formula:

$$MC_{ikv} = \frac{\Delta N_{ikv} \cdot HC_k}{D_i} + \frac{\Delta N_{ikv} \cdot DC_k}{D_i} \quad (3.3)$$

Dove:

- I pedici "ikv" rappresentano rispettivamente il tratto stradale, il periodo del giorno e il tipo di veicolo
- $\Delta N_{ikv}$  rappresenta la variazione di persone interessate da determinate fasce di rumore all'ingresso del nuovo veicolo nel flusso
- $HC_h$  e  $DC_k$  rappresentano i danni alla salute e i danni da disturbo causato dal rumore
- $D_i$  è invece la lunghezza dei tratti stradali.

Uno dei problemi che sorge però è la valutazione di come questo impatto marginale danneggi la persona, poiché i valori presentati nel precedente capitolo si rifanno a stime annuale, e misurano la variazione per l'appunto, della media annua e non del singolo periodo di percorrenza.

Questa estrema variabilità perciò spiega la necessità di rivolgersi ad un modello come quello suggerito dal manuale EWS Road investments del 1997 (*Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V.*), che però aveva come ambito principale lo studio di costi/benefici dello sviluppare nuove infrastrutture. La metodologia ha tuttavia fornito dei risultati credibili per l'ambito europeo, ossia i valori calcolati mostrano i costi marginali di immissione in una rete stradale europea (EU28). Nel tentativo di rifarsi al

panorama italiano, ancora una volta si è proceduto con l'adattare i valori europei, trasportandoli nel contesto italiano del 2016, per poi riproporli adattandoli allo scenario italiano del 2018. Come per i costi derivanti dalle emissioni i mezzi pesanti vengono proposti in funzione delle classi AISCAT, nonostante il numero di assi non sia rilevante ai fini del calcolo.

Tipologia di veicoli	Momento della giornata	Situazione di traffico	Valore in €-cent/Vkm
Passenger car	Day	Dense	0,01
		Thin	0,01
	Night	Dense	0,01
		Thin	0,02
Motorcycle	Day	Dense	0,07
		Thin	0,15
	Night	Dense	0,12
		Thin	0,27
LCV	Day	Dense	0,01
		Thin	0,03
	Night	Dense	0,03
		Thin	0,06
<b>Veicoli pesanti in Classi AISCAT</b>			
CLASSE 3	Day	Dense	0,06
		Thin	0,14
	Night	Dense	0,11
		Thin	0,25
CLASSE 4	Day	Dense	0,06
		Thin	0,13
	Night	Dense	0,11
		Thin	0,23
CLASSE 5	Day	Dense	0,07
		Thin	0,16
	Night	Dense	0,13
		Thin	0,29

Tabella 3.6: Costi marginali relativi all'inquinamento acustico causato dal transito autostradale. Elaborazione personale su dati CE DELFT

I limiti di tale metodologia sono vari, ma mettono in seria discussione l'affidabilità dei valori ottenuti. Sebbene infatti i valori siano stati calcolati attraverso l'approccio suggerito dal report DELFT, come già detto il più recente in materia, l'approccio per il calcolo marginale del inquinamento sonoro applica metodi del 1997, richiede una grande mole di dati, e si appoggia ad un database, quello delle Noise Map, che è sia incompleto

(molte nazioni, tra cui l'Italia non hanno fornito dati recenti, rendendo doverosa una correzione) che non aggiornato (i valori calcolati viaggiano con circa 3 anni di ritardo). Con l'applicazione della nuova normativa sulla rilevazione acustica (Environmental Noise Directive, CE, 2002), il problema della non rilevazione verrà superato, ma per inserire questa componente sui tratti autostradali, sarà necessario che le varie società di gestione rilevino autonomamente la maggioranza di queste informazioni. Il procedimento già avviene, come testimoniato dai vari report di ASPI e delle altre società concessionarie [10], e non potrà che giovare di questa metodologia comune.

Nonostante questo, è interessante segnalare un progetto ANAS che potrebbe semplificare queste valutazioni, oltre che permettere una definizione dei valori marginali in tempo reale [11]; il progetto, chiamato Dynamap, mira a sviluppare un sistema di mapping dell'inquinamento acustico in tempo reale. L'obiettivo è quindi quello di sviluppare un Sistema che sia in grado, in autonomia, di rilevare sia i livelli sonori che calcolare gli impatti sulle zone circostanti. Per fare ciò si necessita di sensori non troppo costosi e di una rete collegata ad un software che elabori i dati raccolti e produca i risultati, in termini di persone nelle Noise Band. Il progetto è attualmente in fase di testing lungo l'anello tangenziale di Milano e il Grande Raccordo Anulare di Roma.

### 3.6. Costi marginali di congestione stradale

Il fenomeno della congestione stradale è caratterizzato da alcune differenze sistemiche rispetto alle altre esternalità viste in precedenza. Come effetto negativo è probabilmente assimilabile esclusivamente con l'esternalità legata ai sinistri stradali, poiché, a differenza delle altre, entrambe riflettono i propri costi su le utenze che compongono il traffico, e non sulla collettività tutta. Questa specifica peculiarità è utile a capire perché nel precedente capitolo si è andato a differenziare il concetto di costo marginale per la congestione stradale. Una vettura può infatti incorrere in due ruoli differenti all'interno della rete, ovvero può essere l'ennesima vettura che entra nella situazione di traffico, e di conseguenza ne sopporta il costo "imprevisto" ma può essere interpretata analogamente come uno dei mezzi che sta "congestionando" il tratto stesso, creando un danno ai mezzi attorno a sé.

Nella metodologia vista in precedenza, nello stimare i costi totali e medi di congestione si è andati a ragionare su curve di Domanda e Costo (privato e sociale) che riflettevano i valori medi di calcolo, con questa assunzione necessaria per la semplificazione della procedura. In questa situazione è ovvio come i valori di queste curve però vadano a delinearsi come rappresentativi della componente di traffico principale, ovvero le automobili. In Italia ad esempio rappresentano oltre il 75% del traffico autostradale [4], e questo implica che laddove si vada l'impatto dei mezzi che trasportano merce si avrà una componente di errore laddove non lo si tenga in conto. Il problema interpretativo quindi si rivolge al trasporto merci, che con queste approssimazioni viene ad essere gravemente ignorato; il considerare uniforme in tutti i casi la curva di SMC, deriva dalla decisione di non poter discriminare i mezzi presenti nel flusso, e di conseguenza non poter calcolare i relativi impatti marginali uno ad uno. Moltiplicare quindi l'impatto marginale di un singolo mezzo aggiuntivo per il valore  $q$  (veicoli all'ora) rende chiaro come il traffico sia considerato un blocco unico.

Le soluzioni adottabili allora sono due, ossia o di immedesimarsi non nel veicolo che genera traffico, ma nel veicolo che entra in una situazione congestionata, oppure rimanere nell'ottica del veicolo generante.

Scegliere la prima soluzione, come evidenziato nel secondo capitolo, permette di differenziare i vari mezzi in termini di elasticità e valore del tempo, poiché si vanno ad utilizzare la curva di domanda che caratterizza il singolo mezzo (inteso come tipologia), eliminando un elemento di approssimazione. Nonostante la soluzione sia valida e interessante nei risultati che ottiene, il valore ottenuto non rappresenta il valore marginale del costo da congestione creato nell'immettersi in un flusso di veicoli. Mettendosi infatti nell'ottica pigouviana alla base di questi ragionamenti di *Road Charging*, solo l'inserimento di una corretta quota rappresentante il danno marginale creato può portare al corretto segnale di prezzo, e quindi all'internalizzazione nel processo decisionale.

Al fine di quantificare questo valore quindi è necessario “ricavare” questo valore, andando a considerare i valori delle curve come valori generali, e, per identificare i costi marginali degli altri mezzi pesanti, moltiplicarli per un parametro PCE (Passenger Car Equivalent); in pratica moltiplicando l’impatto marginale per un coefficiente rappresentativo dell’ingombro su strada. Questo approccio produce quindi un analogo valore riferito alle vetture private per passeggeri, mentre aumenta in modo rilevante i costi marginali relativi agli altri mezzi sul tratto. Di seguito vengono mostrati i costi marginali generati (ovvero calcolati secondo questo approccio) nel 2016, adattati al contesto italiano del 2018, secondo il classico procedimento. Tale adattamento in questo caso non comporta una perdita di robustezza come nei casi precedenti, poiché il valore di queste esternalità dipende fortemente dalla funzione di Velocità del Flusso (*Speed-flow function*). Questa relazione, formalmente l’inverso della (2.15), lega i concetti di velocità e densità su strada, che sono abbastanza costanti nel tempo. Per avere infatti una variazione rilevante nella densità di traffico su uno specifico tratto, deve avvenire o un sostanzioso calo del volume di mezzi che lo percorrono oppure devono essere aperte ulteriori infrastrutture, come un nuovo tratto o una nuova corsia. In Italia, negli ultimi 10 anni il volume di traffico sulle autostrade è variato dell’1% circa, mentre i km totali della rete di autostrade è aumentata del 4% [4]. Se è vero che questi dati sono aggregati e che quindi non rappresentano puntualmente tutte le realtà stradali italiane, danno comunque un suggerimento sul fatto che non siano avvenuti cambiamenti rilevanti nel panorama del trasporto su gomma.

Costo marginale causato da un ulteriore veicolo nel traffico (€-cent/Vkm)									
	Automobili			HGV			LCV		
	PC	C	QC	PC	C	QC	PC	C	QC
Anno	2016	2016	2016	2016	2016	2016	2016	2016	2016
	27,8	21,5	15,1	55,7	43,0	30,2	41,8	32,2	22,7
Anno	2018	2018	2018	2018	2018	2018	2018	2018	2018
con GDP-ppp	28,70	22,15	15,59	57,40	44,29	31,18	43,05	33,22	23,39
con CPI	29,59	22,83	16,07	59,17	45,66	32,14	44,38	34,24	24,11

Tabella 3.7: Costo marginale causato da un ulteriore veicolo nel traffico Elaborazione personale su dati CE DELF

Stimato questo valore si devono prendere in considerazione suggerimenti per l’internalizzazione, ovvero su cosa fare affinché questi valori siano presi in considerazione nelle scelte di viaggio dei singoli mezzi. Con riferimento alla figura 2.6 infatti, va sottolineato come questi valori siano relativi al segmento AC, ma che nell’ottica della corretta definizione di un prezzo socialmente ottimo, il valore da stabilire come quota di road charge sia il segmento BD. Esso infatti fornisce al guidatore il corretto

segnale di prezzo, e gli permette di effettuare quella che è la scelta socialmente migliore. Per giungere a quel valore, stabilendo inizialmente i valori proposti nella tabella precedente, si dovrebbe andare a valutare l'impatto sul traffico di questi sovrapprezzi, grazie all'elasticità, ricalcolare nuovamente i valori e riapplicarli, in un processo iterativo che abbia porterebbe alla definizione della tariffa ottima da applicare.

Considerato che ogni singolo tratto è caratterizzato da proprie funzioni di velocità del flusso e da proprie elasticità, servirà un'indagine accurata su questi valori. Fortunatamente a supporto si possono prendere i parametri applicati nel TRUST model, un modello di indagine sulla rete di trasporto che come output principale produce il traffico sulle strade in termini veicoli al giorno. Per produrre tali output il modello richiede la valutazione e la definizione di diversi parametri, tra i quali le Speed-flow Functions e le varie elasticità sui singoli tratti.

### 3.7. Conclusione

Il capitolo si è concentrato sul mostrare i valori di costo marginale derivanti da esternalità nel trasporto autostradale. Ci si è focalizzati sui danni prodotti da incidenti, inquinamento dell'aria, emissione di gas serra, inquinamento acustico e congestione stradale.

Auto Passeggeri										
<b>INCIDENTI</b>										
1,22										
<b>INQUINAMENTO DELL'ARIA E EMISSIONI D GAS SERRA</b>										
Benzina			Gasolio			Ibrido Benzina Elettrico			Benzina e Gas Liquido	Benzina e Metano
Fino a 1400	1401 - 2000	Oltre 2000	Fino a 1400	1401 - 2000	Oltre 2000	Fino a 1400	1401 - 2000	Oltre 2000	Fino a 1400	Fino a 1400
1,66	1,89	2,23	2,62	2,94	3,39	1,02	1,02	1,02	1,45	1,37
<b>INQUINAMENTO ACUSTICO</b>										
Day					Night					
Dense			Thin		Dense			Thin		
0,01			0,01		0,01			0,02		
<b>CONGESTIONE STRADALE</b>										
PC			C				QC			
28,7			22,15				15,59			

## Motocicli

### INCIDENTI

-0,11

### INQUINAMENTO DELL'ARIA E EMISSIONI D GAS SERRA

#### Benzina

125-250

250-750

> 750

1,89

2,03

2,25

### INQUINAMENTO ACUSTICO

Day		Night	
Dense	Thin	Dense	Thin
0,07	0,15	0,12	0,27

## LCV

### INCIDENTI

1,32

### INQUINAMENTO DELL'ARIA E EMISSIONI D GAS SERRA

#### Benzina

#### Gasolio

2,41

4,87

### INQUINAMENTO ACUSTICO

Day		Night	
Dense	Thin	Dense	Thin
0,01	0,03	0,03	0,06

### CONGESTIONE STRADALE

PC	C	QC
43,05	33,22	23,39

CLASSE 3		CLASSE 4		CLASSE 5							
<b>INCIDENTI</b>											
0,29		0,2		2,08							
<b>INQUINAMENTO DELL'ARIA E EMISSIONI D GAS SERRA</b>											
9,5		11,49		12,36							
<b>INQUINAMENTO ACUSTICO</b>											
Day		Night		Day		Night		Day		Night	
Dense	Thin	Dense	Thin	Dense	Thin	Dense	Thin	Dense	Thin	Dense	Thin
0,06	0,14	0,11	0,25	0,06	0,13	0,11	0,23	0,07	0,16	0,13	0,29
<b>CONGESTIONE STRADALE</b>											
PC	C	QC	PC	C	QC	PC	C	QC			
57,4	44,29	31,18	57,4	44,29	31,18	57,4	44,29	31,18			

Tabella 3.8: Sintesi dei valori marginali delle esternalità del trasporto su gomma, in €-cent<sub>2018</sub>. Le sigle PC, QC e C rappresentano le condizioni di traffico, rispettivamente “Più che congestionato”, “Quasi congestionato” e “Congestionato”.

I valori ottenuti rappresentano la quantificazione di una situazione non regolata, e non sono quindi da intendersi come effettivi valori da innestare sulle attuali tariffe autostradali. Ossia, sono i danni che un determinato mezzo, in determinate condizioni, produce nell’inserirsi in un flusso di traffico nella situazione in cui queste esternalità non vengano tenute da conto. Inserire questi valori nelle tariffe sarebbe corretto dal punto di vista dei principi di User-Pays e Polluter-Pays, ma non condurrebbe ad un equilibrio socialmente ottimo. Come specificato in precedenza la stima di questi valori è il primo passo, fondamentale, da intraprendere se si vuole iniziare un percorso di internalizzazione.

Oltretutto va considerato che i valori calcolati non sono influenzati da eventuali correzioni avvenute sulle altre esternalità; è probabile che ad esempio inserire un nuovo parametro per l’internalizzazione del danno marginale da inquinamento e emissione abbia un effetto sul volume del traffico, e che di conseguenza vada a variare i valori delle altre esternalità. Meno traffico comporterà ovviamente minori congestioni, minore inquinamento acustico e sicuramente meno incidenti, e quindi una correzione su un parametro avrà effetti sugli altri.

Questo fenomeno si può definire mutua influenza degli strumenti di correzione [12] e porta alla definizione di un problema di programmazione lineare. Aumentare le tariffe può sembrare la soluzione migliore, in tutti i casi, ma comporta una grossa variabilità nell'ambito dei volumi specifici di traffico. Ma non esiste solo questa come soluzione, molti altri strumenti possono essere applicati. Strumenti specifici potrebbero essere altamente efficaci per un obiettivo e controproducenti per altri obiettivi. Queste interdipendenze comportano il problema che non può essere ottimale introdurre  $m$  strumenti per  $m$  obiettivi e attivarli separatamente per ogni obiettivo. È possibile che più di uno strumento debba essere utilizzato per un obiettivo o che esistano iniziative "di base" (come l'aumentare i prezzi) che possono essere applicati a più obiettivi e che devono essere perfezionati da soluzioni supplementari

Questo conduce alla definizione di un problema di programmazione lineare, laddove si dovrà scegliere tra un determinato numero di alternative, caratterizzate da una specifica efficacia e da uno specifico costo, oltre che da un'intensità di applicazione (ad esempio si può definire una tariffa specifica inferiore al valore ottimo, nell'ottica di unirli ad altri provvedimenti).

$$\begin{aligned} \min \sum_{i=1}^j \sum_{j=1}^n c_{ij} m_{ij} \\ \text{s. t.} \qquad \qquad \qquad (3.4) \\ \sum_{j=1}^n e_{ij} m_{ij} \geq R_i^* ; \forall i \end{aligned}$$

Dove  $m_{ij}$  è l'intensità dello strumento adottato  $j$  rispetto all'esternalità  $i$ ,  $c_{ij}$  è il costo di tale strumento,  $e_{ij}$  è l'efficacia di tale strumento e  $R$  è il vettore di obiettivi dati per ogni esternalità (ad esempio il livello di emissioni inquinanti, oppure una diminuzione delle persone affette da inquinamento acustico).

L'idea alla base (3.1) è quella di massimizzare il rapporto costo-efficacia componendo il miglior pacchetto di strumenti. Ciò si ottiene minimizzando la somma dei costi associati all'impiego di strumenti per mantenere gli obiettivi minimi sicuri. I costi comprendono i costi di transazione degli strumenti (ad es. Costi dei sistemi di pagamento) nonché i costi delle attività economiche sopresse o dirottate (ad esempio: ritardi temporali utilizzando modalità di trasporto più rispettose dell'ambiente). L'efficacia di uno strumento è misurata dal volume di riduzione per unità dello strumento.

Questo bundle di strumenti può essere classificato in base ai costi di applicazione:

- Soluzioni a basso costo: Migliori informazioni e guida/Standard per auto e camion più stringenti/Standard ISO per qualità ambientale da imporre alle autostrade.
- Soluzioni a costo medio: Tariffe autostradali maggiorate/ Tassazione su veicoli che causano esternalità maggiori/ Scambio di emissioni/ Limitazione dell'accesso di auto o camion alle aree della città
- Soluzioni ad alto costo: Prezzi del cordone di città/ Divieti di auto in città/ Divieti di camion o regolamentazione del trasporto merci correlato alle merci

Scegliere l'efficace allocazione di queste soluzioni, con la corretta intensità, è lo step successivo del processo di internalizzazione, e apre il campo ad ulteriori ricerche nel campo.

## Riferimenti bibliografici

### CAPITOLO 1

- [1] Ragazzi, *I signori delle autostrade*, il Mulino, 2008
- [2] Rosen H.S., *Scienza delle Finanze*, McGraw-Hill, 2007
- [3] LIBRO BIANCO Tabella di marcia verso uno spazio unico europeo dei trasporti - Per una politica dei trasporti competitiva e sostenibile /\* COM/2011/0144 def. \*/ (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:52011DC0144>)
- [4]<https://stats.oecd.org/glossary/detail.asp?ID=2074>
- [5] Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.), *Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*, IPCC, 2018
- [6]<https://www.eea.europa.eu/themes/human/noise>
- [7]<http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/noise/environmental-noise-guidelines-for-the-european-region>
- [8][https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/470229/vtts-phase-2-report-non-technical-summary-issue-august-2015.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/470229/vtts-phase-2-report-non-technical-summary-issue-august-2015.pdf)
- [9] *Programma Di Azione Europeo Per La Sicurezza Stradale Bilancio Intermedio*, 2006, Commissione Europea
- [10] *Le politiche dell'Unione europea: Trasporti*, 2014, Commissione europea
- [11] Susanne Pillath, *Road charges for private vehicles in the EU*, EPRS Maggio 2016, European Parliamentary Research Service  
<http://www.europarl.europa.eu/news/it/headlines/society/20181018STO16586/tariffe-stradali-in-europa-un-sistema-piu-equo-ed-ecologico>
- [12] *Study on Impacts of Application of the Vignette Systems to Private Vehicles*, Booz & Company, Febbraio 2012
- [13] Arno Schrotten (CE Delft), Peter Scholten (CE Delft), Lisanne van Wijngaarden (CE Delft), Huib van Essen (CE Delft), Marco Brambilla (TRT), Marco Gatto (TRT), Silvia Maffii (TRT), Frank Trosky (Planco), Holger Kramer (ISL), Reinhard Monden (ISL), Damaris Bertschmann (INFRAS), Maura Killer (INFRAS), Anne Greinus (INFRAS), Vitalie Lambla (PMR), Kareen El Beyrouty (Ricardo), Sofia Amaral (Ricardo), Tom Nokes (Ricardo), Ancelin Coulon (Ricardo),

*Transport taxes and charges in Europe: An overview study of economic internalisation measures applied in Europe*, CE DELFT, Marzo 2019

[14] “*Accompanying the document Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council amending Directive 1999/62/EC on the charging of heavy goods vehicles for the use of certain infrastructures and Proposal for a Council Directive amending Directive 1999/62/EC on the charging of heavy goods vehicles for the use of certain infrastructures, as regards certain provisions on vehicle taxation*”, IMPACT ASSESSMENT, Maggio 2017, Commissione Europea

[15] Ariane Debyser, *Revision of the Eurovignette Directive*, Members’ Research Service, Ottobre 2017

[16] [https://europa.eu/rapid/press-release\\_MEMO-11-238\\_it.htm](https://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-11-238_it.htm)

[17] Thomas Sterner, *Distributional effects of taxing transport fuel*, Energy Policy, Volume 41, 2012, Pages 75-83

[18] James Mirrlees, Stuart Adam, Tim Besley, Richard Blundell, Stephen Bond, Robert Chote, Malcolm Gammie, Paul Johnson, Gareth Myles e James M. Poterba, *Tax by Design*, Cap 12, Institute for Fiscal Studies, September 2011

[19] Lasse Fridstrøm, Vegard Østli, *The vehicle purchase tax as a climate policy instrument*, Transportation Research Part A: Policy and Practice, Volume 96, 2017, Pages 168-189

[20] Jonas Eliasson, Roger Pyddoke, Jan-Erik Swärdh, *Distributional effects of taxes on car fuel, use, ownership and purchases*, Economics of Transportation, Volume 15, 2018, Pages 1-15

## CAPITOLO 2

[1] W.J.W. Botzen, J.C.J.M. van den Bergh, *Risk attitudes to low-probability climate change risks: WTP for flood insurance*, Journal of Economic Behavior & Organization, Volume 82, Issue 1, 2012, Pages 151-166

[2] Irina Prokofieva, Beatriz Lucas, Bo Jellesmark Thorsen, Kirsten Carlsen. *Monetary values of environmental and social externalities for the purpose of cost-benefit analysis in the EFORWOOD project*. 2011. EFI Technical Report 50. European Forest Institute

[3] Asafu-Adjaye, J. , *Traditional production activities and resource sustainability: The case of indigenous societies in Cape York Peninsula, Australia*, International Journal of Social Economics, Vol. 23 No. 4/5/6, 1996, pp. 125-135.

[4] Sue Jackson, Marcus Finn, Kelly Scheepers, *The use of replacement cost method to assess and manage the impacts of water resource development on Australian indigenous customary economies*, Journal of Environmental Management, Volume 135, 2014, Pages 100-109

[5] Richard Ready, Ståle Navrud, *International benefit transfer: Methods and validity tests*, Ecological Economics, Volume 60, Issue 2, 2006, Pages 429-434

- [6] Wijnen, Wim; Weijermars, Wendy; Van den Berghe, W.; Schoeters, Annelies; Bauer, Robert; Carnis, L.; et al, *Crash cost estimates for European countries*, deliverable 3.2 of the H2020 project SafetyCube, 2019
- [7] Trawén, A., Maraste, P. & Persson, U., *International comparison of costs of a fatal casualty of road accidents in 1990 and 1999. Accident Analysis and Prevention*, vol. 34, nr. 3, 2002, Pages 323-332.
- [8] *Mortality Risk Valuation in Environment, Health and Transport Policies*, OECD, OECD Publishing, 2012
- [9] Fredrik Carlsson, Dinky Daruvala, Henrik Jaldell, *Preferences for lives, injuries, and age: A stated preference survey*, *Accident Analysis & Prevention*, Volume 42, Issue 6, 2010, Pages 1814-1821
- [10] *Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment*, HEATCO, 2006
- [11] Ricardo-AEA, TRT, DIW Econ & CAU, *Update of the Handbook on External Costs of Transport*, London: Ricardo-AEA, 2014
- [12] DATABASE COPERT - <https://www.emisia.com/utilities/copert-data/>
- [13]. *Final report on casual links between pollutants and health impacts. Deliverable RS 1b D 3.7: A set of concentration-response functions, Sub-priority 6.1.3.2.5: Socio-economic tools and concepts for energy strategy*, NEEDS, Brussels: European Commission, 2007; *Deliverable No 1.1 RS 3a Report on the procedure and data to generate averaged/aggregated data*, NEEDS, Brussels: European Commission, 2008.
- [14] *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*, WHO, 2013
- [15] “*Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment*”, HEATCO, 2008
- [16] Sander the Bruyn, Saliha Ahdour, Marijn Bijleveld, Lonneke de Graaff, Ellen Schep, Arno Schrotten, Robert Vergeer, *Environmental Prices Handbook 2017, Methods and numbers for valuation of environmental impacts*, CE DELFT, 2018
- [17] Kuik, O. et al., *Report on the monetary valuation of energy related impacts on land use, D.3.2. CASES Cost Assessment of Sustainable Energy Systems*, Institute for Environmental Studies (IVM), 2008
- [18] <https://www.leaseplan.com/it-it/area-stampa/classificazione-euro-auto/>
- [19] Michael E. Mann, *Greenhouse Gas*, Encyclopædia Britannica, 2019

- [20] *Fifth Assessment Report: Working Group I, Cambridge: The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, IPCC, 2013, pages 710-712; 731
- [21] W.J. Wouter Botzen, Jeroen C.J.M. van den Bergh, *How sensitive is Nordhaus to Weitzman? Climate policy in DICE with an alternative damage function*, *Economics Letters*, Volume 117, Issue 1, 2012, Pages 372-374
- [22] Watkiss, P., Downing, T., Handley, C. & Butterfield, R. *The impacts and costs of climate change*, Harwell: AEA Technology Environment, 2005
- [23] <https://www.nature.com/news/global-warming-improve-economic-models-of-climate-change-1.14991>, <https://www.nature.com/news/global-warming-improve-economic-models-of-climate-change-1.14991>, *Global warming: Improve economic models of climate change*, *Nature*, international weekly journal of science, Volume 508, Issue 7495, 2014, pages 173-175
- [24] Martin L. Weitzman, *Why the Far-Distant Future Should Be Discounted at Its Lowest Possible Rate*, *Journal of Environmental Economics and Management*, Volume 36, Issue 3, 1998, Pages 201-208
- [25] <http://www.ecostat.unical.it/Scoppa/Didattica/Anni%20precedenti/Richiarmi%20di%20teoria%20dell%E2%80%99utilit%C3%A0%20attesa.%20Avversione%20al%20rischio,%20premio%20per%20il%20rischio,%20assicurazione.pdf>
- [26] Onno Kuik, Luke Brander, Richard S.J. Tol, *Marginal abatement costs of greenhouse gas emissions: A meta-analysis*, *Energy Policy*, Volume 37, Issue 4, 2009, Pages 1395-1403
- [27] *Externe Kosten des Verkehrs im Bereich Natur und Landschaft*, Econcept und Nateco, 2005, pages 35-77
- [28] *External Effects of Transport 2015 in Switzerland, Update study of the calculations of environment, accident and health costs of road, rail, air and water transport 2010-2015*, INFRAS en Ecoplan, Bern: Swiss Federal Office for Spatial Development, 2018.
- [29] Núria Blanes, Jaume Fons, Miquel Sáinz de la Maza, Maria José Ramos, Francisco Domingues, Annemarie van Beek and Danny Houthuijs, *Noise in Europe*, Report EEA, 2014
- [30] Bristow, Abigail, L. Wardman, and Mark Chintakayala, *International Meta-analysis of Stated Preference Studies of Transportation Noise Nuisance*, *Transportation*, Volume 42, Issue 1, 2015, pages 71-100.
- [31] *Environmental noise: Valuing impacts on: sleep disturbance, annoyance, hypertension, productivity and quiet*, Defra, London: Defra, 2014
- [32] *Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment*, HEATCO, 2006

[33] J.P.L. (Joost) Vermeulen, B.H. (Bart) Boon, H.P. (Huib) van Essen, L.C. (Eelco) den Boer, J.M.W. (Jos) Dings, F.R. (Frank) Bruinsma, M.J. (Mark) Koetse, *The price of transport - Overview of the social costs of transport*, Delft, CE, 2004

[34] Silvia Banfi, Claus Doll, Markus Maibach, Prof. W. Rothengatter, Philippe Schenkel, Niklas Sieber, Jean Zuber, *External cost of transport: Accident, Environmental and Congestion Costs in Western Europe*; INFRAS & IWW; 2000,

[35] Goodwin, P., *The Economic Costs of Road Traffic Congestion*, UCL (University College London), The Rail Freight Group: London, 2004

### CAPITOLO 3

[1] <https://www.investopedia.com/terms/c/consumerpriceindex.asp>

[2] <https://www.istat.it/it/archivio/30440>

[3] *Conto Nazionale delle Infrastrutture e dei Trasporti*, Ministero delle infrastrutture e dei Trasporti, 2015-2016

[4] *Aiscat Informazioni, Edizione Semestrale*, edizione luglio-dicembre 2018

[5] *Autoritratto ACI*, <http://www.aci.it/laci/studi-e-ricerche/dati-e-statistiche/autoritratto.html>

[6] *Studio del parco circolante sull'autostrada A22 e calcolo delle emissioni prodotte*, BrennerLec, 2018

[7] Leon Ntziachristos, Zissis Samaras, *Methodology for the calculation of exhaust emissions*, EEA (European Environment Agency), 2018

[8] Claudia Iuzzolino, Luca Mion, *Stima Delle Emissioni Da Traffico Veicolare Mediante Applicazione Del Modello Matematico Copert Iii*, ARPAV – Dipartimento Provinciale di Treviso Servizio Sistemi Ambientali, 2003

[9] Salvatore Saija, Riccardo De Lauretis, Riccardo Liburdi, *Sviluppo ed uso di metodologie per la stima delle emissioni atmosferiche da trasporto stradale in Italia su scala provinciale*, Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente, 2001

[10] *Attuazione Della Direttiva 2002/49/Ce Relativa Alla Determinazione E Gestione Del Rumore Ambientale Piani Di Azione Della Rete Di Autostrade Per L'Italia S.P.A.*, ASPI, 2018, e *Aree di criticità e piano di risanamento acustico Autostrada BS-VR-VI-PD S.p.A.*, Piano degli interventi di contenimento ed abbattimento del rumore, ASPI, 2007

[11] <https://www.stradeanas.it/it/sostenibilit%C3%A0/anas-lambiente/i-progetti/riduzione-inquinamento-acustico>

[12] Antonio Musso, Werner Rothengatter, *Internalisation of external costs of transport—A target driven approach with a focus on climate change*, Transport Policy, Volume 29, 2013, Pages 303-314

## Bibliografia

Mariano Gallo, *i costi esterni della mobilità. Tipologie e metodi di stima*, TeMa vol 0 num 0, 2007

Arno Schroten (Ce Delft), Huib Van Essen, Lisanne Van Wijngaarden (Ce Delft), Daniel Sutter (Infras) E Ella Andrew (Ricardo), *Sustainable transport infrastructure charging and internalisation of transport externalities*, CE Delft, 2019

Jacopo Gilberto, *La beffa fiscale: senza tasse, costo di benzina e gasolio ai minimi in Europa*, il sole 24 ore, 22 dicembre 2018

Sarah E. West, Robertson C. Williams, *Estimates from a consumer demand system: implications for the incidence of environmental taxes*, Journal of Environmental Economics and Management, Volume 47, Issue 3, 2004, Pages 535-558

Christian Steinsland, Lasse Fridstrøm, Anne Madslie, Harald Minken, *The climate, economic and equity effects of fuel tax, road toll and commuter tax credit*, Transport Policy, Volume 72, 2018, Pages 225-241

Benjamin Leard, Virginia McConnell, Yichen Christy Zhou, *The Effect Of Fuel Price Changes On Fleet Demand For New Vehicle Fuel Economy*, The Journal Of Industrial Economics, Volume 67, Issue 1, 2019, Pages 127-159

Laura Serafini, *Pedaggio, ecco come Autostrade guadagna con gli aumenti*, Il sole 24 ore, 21 Settembre 2019,

Julia Poliscanova, *Come le tasse sull'autoveicolo possono accelerare le vendite di auto elettriche*, Transport & Environment, Febbraio 2019

Weijermars W., Bos N., Schoeters A., Machata K., Filtness A., Meunier J.C., Bauer R., Nuyttens N., Perez K., Martin J.L., Dupont E., Brown L., Johansson H., Thomas P., *Serious road traffic injuries in Europe, Lessons from the EU research project SafetyCube*, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Volume: 2672 issue: 32, 2018, pages 1-9

Paolo Beria, Raffaele Grimaldi, Paolo Conti, *Chi paga i costi del traffico*, Il Fatto Quotidiano, 18 Gennaio 2013

*Direttiva 2003/96/Ce Del Consiglio Europeo*, 27 Ottobre 2003

## Sitografia

<http://www.trasporto.europa.it/index.php/infrastrutture/tutte-infrastrutture/10487-come-funzionano-leurovignetta-in-italia>

<http://www.europarl.europa.eu/news/it/press-room/20181018IPR16551/riforma-del-pedaggio-stradale-garantire-transporto-piu-pulito-e-equita>

<https://www.bikeitalia.it/tassare-i-carburanti-perche-la-benzina-deve-costare-tanto/>

[https://www.camera.it/cartellecomuni/leg15/RapportoAttivitaCommissioni/testi/08/.htm08\\_cap04\\_sch01](https://www.camera.it/cartellecomuni/leg15/RapportoAttivitaCommissioni/testi/08/.htm08_cap04_sch01)

[https://www.camera.it/cartellecomuni/leg15/RapportoAttivitaCommissioni/testi/06/06\\_cap08.htm](https://www.camera.it/cartellecomuni/leg15/RapportoAttivitaCommissioni/testi/06/06_cap08.htm)

[https://www.camera.it/cartellecomuni/leg15/RapportoAttivitaCommissioni/testi/06/06\\_cap08\\_sch02.htm](https://www.camera.it/cartellecomuni/leg15/RapportoAttivitaCommissioni/testi/06/06_cap08_sch02.htm)

[http://www.kbsz.hu/dokumentumok/20070411\\_0.2-HEATCO\\_D5.pdf](http://www.kbsz.hu/dokumentumok/20070411_0.2-HEATCO_D5.pdf) pg 82 ca

<https://www.eurovignettes.eu/portal/en/welcome>

<http://www.ecostat.unical.it/pupo/didattica/Economia%20Pubblica/esternalit%C3%A0.pdf>