

L'auto elettrica come innovazione radicale: scenari di penetrazione di mercato e ricadute economiche e sociali

**a cura di
Romeo Danielis**



Impaginazione
Gabriella Clabot

© copyright Edizioni Università di Trieste, Trieste 2015

Proprietà letteraria riservata.
I diritti di traduzione, memorizzazione elettronica, di riproduzione e di adattamento totale e parziale di questa pubblicazione, con qualsiasi mezzo (compresi i microfilm, le fotocopie e altro) sono riservati per tutti i paesi.

ISBN 978-88-8303-718-4 (online)

EUT Edizioni Università di Trieste
Via Weiss, 21 – 34128 Trieste
<http://eut.units.it>
<https://www.facebook.com/EUTEdizioniUniversitaTrieste>

L'auto elettrica come innovazione radicale: scenari di penetrazione di mercato e ricadute economiche e sociali

**a cura di
Romeo Danielis**

Indice

- Romeo Danielis*
5 Introduzione al libro
- Romeo Danielis*
8 La diffusione dell'auto elettrica: uno sguardo a livello mondiale
- Andrea Rusich, Romeo Danielis*
30 The private and social cost of the electric car: a comparison between models of different car market segments
- Gaetano Carmeci, Eva Valeri*
46 Hierarchical Bayes Mixed logit modelling for purchase car behaviour
- Adriana Monte, Romeo Danielis*
64 Mobilità e utilizzo potenziale di automobili elettriche: un'analisi sulla base dei dati censuari per il Friuli Venezia Giulia
- Jérôme Massiani*
77 The elusive foundations of Electric Vehicle supporting policy: a study of claims in the public debate in Italy
- Tullio Gregori*
90 Environmental impact of electric car production shifts
- Saveria Capellari*
110 L'auto elettrica come innovazione radicale: alcune riflessioni sulla situazione attuale
- Romeo Danielis, Adriana Monte*
122 Un'analisi della sostenibilità della mobilità urbana dei passeggeri nei comuni capoluogo di provincia italiani
- Adriana Monte, Gabriella Schoier*
148 Individuazione delle tipologie di pendolari nel Friuli Venezia Giulia
- Lucia Rotaris, Romeo Danielis*
167 I fattori socio-economici che influenzano la scelta del *carsharing*
- 183 Abstracts

Introduzione

ROMEO DANIELIS

Il volume – realizzato con il sostegno del Fondo di Ricerca di Ateneo (FRA) 2013 – raccoglie i contributi di alcuni membri del Dipartimento di Scienze Economiche, Aziendali, Matematiche e Statistiche, a cui si sono aggiunti come autori o co-autori anche colleghi di altre Università o Istituti di Ricerca, in merito ad una innovazione che potrebbe avere degli effetti importanti sul modo in cui alimentiamo le automobili, sulla qualità ambientale dei luoghi in cui viviamo e, più in generale, sulla relazione tra trasporto e combustibili fossili: l'auto elettrica. Il tema – alla luce anche del recente accordo stipulato tra 185 paesi alla XXI Conferenza delle Parti (COP 21) nell'ambito della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC) tenutasi a Parigi dal 30 novembre al 12 dicembre del 2015 – non è di poca rilevanza.

Attingendo soprattutto alle discipline economiche, statistiche ed econometriche, gli autori si sono cimentati con diversi temi cruciali per capire se l'auto elettriche sarà una innovazione di portata radicale non solo per il sistema dei trasporti ma anche per quello economico-produttivo e sociale.

Romeo DANIELIS, in “La diffusione dell'auto elettrica: uno sguardo a livello mondiale”, delinea che cosa avviene nel mercato automobilistico mondiale, quali sono le tendenze nella domanda e nella produzione di automobili, quali case automobilistiche ritengono interessante investire sullo sviluppo delle auto elettriche e che tipi e modelli sono in questo momento sul mercato. Un'attenzione particolare è rivolta a comprendere l'evoluzione delle auto elettriche in termini di prezzo e di autonomia della batteria, che sono, per ora, i punti deboli di tale tipologia di automobile.

Andrea RUSICH e Romeo DANIELIS, in “The private and social cost of the electric car: a comparison between models of different car market segments”, scandagliano i tipi di auto elettriche o elettrificate presenti attualmente sul mercato italiano, valutandole in termini di costi privati, sociali e di consumo energetico relativamente ai veicoli convenzionali. Il risultati mostrano che le auto elettriche hanno chiari

vantaggi in termini di costi sociali, ma che, anche se completamente internalizzati, non compensano attualmente i maggiori costi privati a cui si incorre con il loro acquisto, a meno di ipotizzare percorrenze annuali molto elevate.

Gaetano CARMECI ed Eva VALERI, in “Hierarchical Bayes Mixed logit modelling for purchase car behavior”, analizzano il comportamento di acquisto per le auto convenzionali e alternative, utilizzando dati di preferenza discreta italiani. Utilizzando un modello tecnicamente avanzato, per la prima volta applicato allo studio di questo tipo di scelte, sono in grado di tener conto delle possibili dipendenze dei parametri casuali degli attributi della vettura dalle caratteristiche individuali, dei parametri specifici di ciascuna alternativa e della correlazione tra le alternative.

Adriana MONTE e Romeo DANIELIS, in “Mobilità e utilizzo potenziale di automobili elettriche: un’analisi sulla base dei dati censuari per il Friuli Venezia Giulia”, stimano quale percentuale della mobilità sistematica potrebbe essere svolta con auto elettriche dati gli attuali livelli di autonomia, sulla base delle risultanze emerse dall’ultimo Censimento della popolazione 2011, con riferimento al Friuli Venezia Giulia. Essi trovano che la gran parte degli spostamenti effettuati per motivi di studio e di lavoro, almeno 9 su 10, sono da considerarsi fattibili con un’auto elettrica che abbia un’autonomia di 100 km (ovvero la gran parte delle auto elettriche attualmente in vendita), permettendo il rientro a casa, senza la necessità di ricaricare l’auto nel luogo di lavoro/studio. I risultati ottenuti hanno implicazioni rilevanti per valutare la capacità di penetrazione e di utilizzo delle auto elettriche nel Friuli Venezia Giulia e per comprendere che tipo di infrastrutture di ricarica, in luoghi pubblici o nei parcheggi aziendali, sono necessarie per rendere possibile l’utilizzo dell’auto elettrica.

Jérôme MASSIANI, in “The elusive foundations of Electric Vehicle supporting policy: a study of claims in the public debate in Italy”, discute criticamente agli studi che hanno proposto previsioni sulla diffusione dell’auto elettrica. L’autore trova che in una frazione molto limitata di tali previsioni si cita in modo esplicito ed esauriente le fonti utilizzate, in modo da consentire la replicabilità degli stessi.

Tullio GREGORI, in “Environmental impact of electric car production shifts”, affronta il tema dell’impatto ambientale di un cambiamento della produzione da auto con motore a combustione interna (ICV) a veicoli elettrici a batteria (BEV). Questa sostituzione viene analizzata utilizzando i modelli Input Output estesi alle variabili ambientali. I risultati dipendono dal tipo di variazione negli input ipotizzati, ma le variazioni nei livelli di inquinamento sono ancora trascurabili. Nello scenario peggiore, gli impatti sono circa l’1% per i policloro bifenili e per il idrocarburo policiclico aromatico e molto più bassi per CO₂ e non metanici composti organici volatili. L’industria automobilistica rimane, comunque, uno dei più grandi emettitori di quest’ultimo e spostando la produzione sui BEV la situazione non cambia.

Saveria CAPELLARI, in “L’auto elettrica come innovazione radicale: alcune riflessioni sulla situazione attuale”, riflettendo sulla natura dell’innovazione rappresentata dai veicoli elettrici trova che affinché l’innovazione possa essere definita radicale o dirompente debba realizzarsi un sistema di innovazione più aperto alla collaborazione e in grado di selezionare in modo efficiente la tecnologia migliore tra le invenzioni prodotte dal sistema della ricerca. Date le forti dinamiche dell’attività dell’invenzione sperimentate negli ultimi anni, l’autrice ritiene che i principali ostacoli alla diffusione dei veicoli elettrici sono da collegarsi al processo di innovazione e, in particolare, al problema di raggiungere un livello tecnologico comune.

I successivi contributi non sono direttamente connessi all'auto elettrica, ma indagano temi ad esso affini quali la sostenibilità nei trasporti in ambito urbano, le tipologie di pendolarismo ed il carsharing, comunque utili per capire quali trasformazioni delle forme attuali di mobilità si possa realizzare, congiuntamente alla diffusione dell'auto elettrica.

Romeo DANIELIS e Adriana MONTE, in “Un’analisi della sostenibilità della mobilità urbana dei passeggeri nei comuni capoluogo di provincia italiani”, si chiedono, esaminando dati relativi alla decade 2001-2011, se il trasporto sia diventato più sostenibile o meno nei comuni capoluogo di provincia, nel loro complesso e a livello di singola città. Risulta che, in termini complessivi, molti indicatori a cui si attribuisce una relazione positiva con la sostenibilità sono migliorati. A livello di città, la situazione è più variegata: alcune città mostrano miglioramenti significativi della mobilità sostenibile, altre invece sembrano fare dei passi indietro.

Adriana MONTE e Gabriella SCHOIER, in “Individuazione delle tipologie di pendolari nel Friuli Venezia Giulia”, utilizzano la matrice del pendolarismo, costruita a partire dai dati censuari, per l’individuazione delle tipologie di pendolari a seconda che il motivo dello spostamento sia lo studio o il lavoro, distinguendo tra comuni sotto e sopra i 20 mila abitanti. A tale fine, utilizzano la *cluster analysis* con l’obiettivo di individuare i gruppi che appaiono con “naturalità” nelle osservazioni e che si caratterizzano per un’elevata omogeneità all’interno dei gruppi stessi e per un’elevata eterogeneità tra di essi.

Lucia ROTARIS e Romeo DANIELIS, in “I fattori socio-economici che influenzano la scelta del *carsharing*”, partono dall’osservazione che in Italia si registra una crescente domanda ed offerta di servizi di *carsharing*. Le città interessate sono soprattutto di grandi dimensioni, fra cui spicca per consistenza tanto della domanda quanto dei servizi offerti la città di Milano. L’obiettivo del contributo è capire se c’è una domanda potenziale di *carsharing* anche in una regione non densamente abitata e caratterizzata da città di medio piccole dimensioni come il Friuli Venezia Giulia ed analizzare quali sono le determinanti socio-economiche di tale domanda.

A conclusione del lavoro di ricerca, non sfugge agli autori ed al curatore di questo volume, che i temi trattati e le analisi effettuate non sono che una prima, parziale trattazione del tema. Diversi aspetti attinenti ad aspetti tecnologici, alle infrastrutture di ricarica e alle valutazioni economiche ed energetiche necessitano ulteriori approfondimenti. Inoltre, meriterebbero un’attenzione particolare lo studio delle dinamiche concorrenziali tra i grandi gruppi automobilistici che hanno il compito di investire e portare sul mercato le auto elettriche, nonché la valutazione delle politiche adottabili a livello nazionale o locale per favorire la diffusione delle auto elettriche. Infine, non è stato trattato il tema della relazione tra mobilità elettrica e produzione di energia, tema, però, cruciale, in vista della necessità di contenimento dell’impatto sul clima della mobilità delle persone e delle merci.

La diffusione dell'auto elettrica: uno sguardo a livello mondiale

ROMEO DANIELIS

DEAMS, Università di Trieste

1 INTRODUZIONE

L'automobile elettrica (AE) rappresenta un interessante caso dal punto di vista dell'economia industriale e della storia dei trasporti e della tecnologia. Si tratta di una forma di alimentazione delle vetture che è già stata storicamente sperimentata verso la fine del XIX secolo, essendo infatti le prime automobili funzionanti con motori elettrici, superata quindi dai motori a combustione interna¹ (detti anche motori termici), per ripresentarsi poi negli anni 80, sparire misteriosamente, (si veda il documentario di Chris Paine "Who killed the electric car?") e ripresentarsi quindi meno di un decennio fa. Riuscirà ora l'AE a diffondersi e a conquistare un ruolo nel mercato delle automobili? O diventerà addirittura la forma di alimentazione dominante come sognano i suoi sostenitori?

Questo capitolo introduttivo vuole fare il punto sulle recenti tendenze del mercato automobilistico a livello mondiale, dominato dalle automobili a motore termico. Si sostiene quindi che le implicazioni energetiche e ambientali di questi trend rendono interessante l'adozione dell'AE per alcuni suoi vantaggi intrinseci. Per la prima volta, escludendo le fasi di inizio '900, le AE sembrano penetrare il mercato con buoni tassi di crescita, anche nei segmenti di mercato ricchi (quali quello delle auto di lusso e delle auto sportive), grazie alle loro elevate performance, ma in numeri ancora molto contenuti.

Diventa perciò interessante, proprio dal punto di vista dell'economia industriale e della storia dei trasporti e della tecnologia, esaminare i fattori e gli ingredienti che potrebbero permettere la diffusione delle AE. Si scopre che il futuro dell'AE dipende, non sorprendentemente, dalla ricerca di base, dagli imprenditori, dalle scelte dei consumatori e da quelle dei decisori politici. Si scopre quindi che anche

¹ Il motore a combustione interna è definito come macchina motrice endotermica che permette di convertire l'energia chimica, posseduta da una miscela aria-combustibile (benzina, diesel, gpl, metano, ecc.), in lavoro meccanico reso disponibile all'albero motore ed in generale al sistema di trasmissione.

l'AE, come molte altre innovazioni che cambiano la vita delle persone, è un prodotto sociale, nel senso più ampio del termine.

2 LA DIFFUSIONE DELL'AUTOMOBILE A MOTORE TERMICO

Sebbene molti inventori e ingegneri si dedicarono alla sperimentazione dell'automobile (tra cui Gottlieb Daimler, Wilhelm Maybach e Siegfried Marcus), la costruzione della prima automobile dotata di motore a combustione interna è attribuita a Karl Benz nel 1885, al quale fu riconosciuto un brevetto (Benz Patent-Motorwagen)².

La produzione in larga scala, utilizzando la tecnica della catena di montaggio, un'idea già sperimentata in alcuni casi precedenti³, è però riuscita soprattutto a Henry Ford nei primi anni del XX secolo. Da un'iniziale livello di produzione nel 1909 di 10 mila auto all'anno della famosa FORD Model T, venduta ad un prezzo di \$825, si passò rapidamente a 170 mila vetture nel 1913, poste sul mercato ad un prezzo di \$525. Un decennio dopo, nel 1923, Ford produceva 2 milioni di Model T all'anno ad un costo di \$364, aprendo stabilimenti in Francia e Gran Bretagna (1911) e in Germania (1925). La tecnica della catena di montaggio fu presto imitata da altri produttori, tra cui Citroën.

Fu questo l'avvio dell'industria automobilistica, uno dei settori che per dimensioni, diffusione internazionale e legami a monte ed a valle, ha maggiormente caratterizzato lo sviluppo economico del XX secolo. Secondo ACEA (European Automobile Manufacturers Association), nel 2011 nella EU-27 l'occupazione diretta del settore automobilistico è stata pari a 2.2 milioni di persone e quella indiretta a 12.7 milioni, con un fatturato di 843 miliardi di euro, un valore aggiunto pari a 154 miliardi ed una spesa in R&D pari a 32 miliardi di euro.

Negli ultimi decenni, le vendite di automobili a livello mondiale – una statistica non facile da reperire e tutt'altro che ben definita data la numerosità e la varietà di automobili prodotto a livello mondiale – si attesta sui 70 milioni di vetture all'anno (Figura 1), in crescita molto rapida negli ultimi decenni, dato che il valore medio annuale delle vendite è stimato essere di circa 40 milioni nell'ultimo decennio del XX secolo e di circa 50 milioni nel primo decennio del XXI secolo.

Il dato crescente aggregato nasconde però tendenze assai differenziate tra i paesi, come mostra la Figura 2.

Mentre alcuni paesi mostrano dinamiche di crescita delle vendite annuali generalmente costanti (USA, Giappone), moderatamente crescenti (India, Russia e Brasile) o calanti (EU15 + EFTA⁴), la Cina ha avuto una dinamica di crescita delle vendite annuali di automobili in rapidissimo aumento, passando da 4 milioni di auto all'anno a 16 milioni, superando già da sola a partire dal 2010 i paesi EU15 + EFTA (Figura 3).

Tali tendenze sono spiegabili alla luce dei tassi di crescita economica e dei livelli di motorizzazione finora raggiunti. Questi ultimi si presentano, infatti, ancora assai differenziati. La Tabella 1 riporta i dati più recenti e disponibili relativi a tutti i veicoli a motore quali automobili, SUV, camion, furgoncini,

² Benz brevettò il suo primo motore nel 1879, su progetto del 1878. Il motore, assieme ad altre sue invenzioni, lo condussero alla costruzione della sua prima Motorwagen nel 1885 a Mannheim, in Germania. La richiesta di brevettazione per la Motorwagen è del 29 gennaio 1886 (sotto gli auspici del suo grande azienda, Benz & Cie, fondata nel 1883). Benz iniziò la promozione del veicolo il 3 luglio 1886 e vendette circa 25 Benz tra il 1888 e il 1893.

³ La produzione su larga scala di automobili fu sperimentata da Ransom Olds nel 1902 nella sua fabbrica Oldsmobile a Lansing, Michigan, utilizzando le tecniche di catene di montaggio già sperimentate da Marc Isambard Brunel al Portsmouth Block Mills, in Inghilterra, nel 1802.

⁴ I membri EFTA (European Free Trade Association) attuali sono la Norvegia, il Lichtenstein, l'Islanda e la Svizzera.

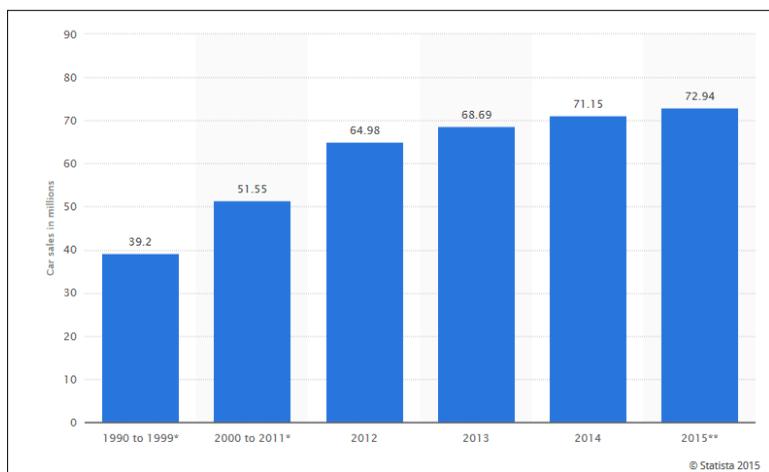


FIGURA 1 – Numero di automobili vendute a livello mondiale dal 1990 al 2015 (in milioni). Il dato per il 2015 è stimato.
Fonte: Organization of Motor Vehicle Manufacturers (OICA) Sales Statistics

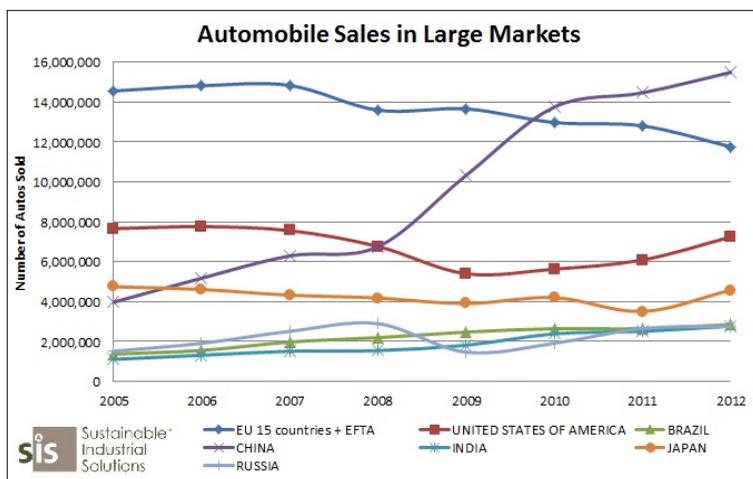


FIGURA 2 – Vendite di automobili nel mondo.

Fonte: Organization of Motor Vehicle Manufacturers (OICA) Sales Statistics, <http://www.oica.net/category/sales-statistics/>

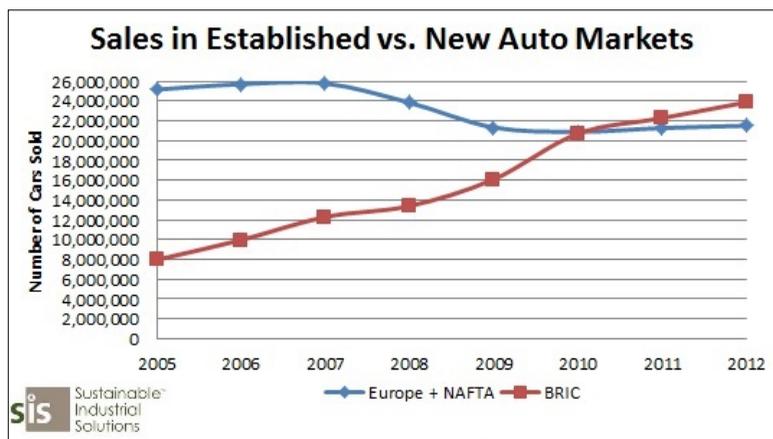


FIGURA 3 – Vendite di automobili nei mercati nuovi e tradizionali.

Fonte: Organization of Motor Vehicle Manufacturers (OICA) Sales Statistics, <http://www.oica.net/category/sales-statistics/>

Tabella 1 – Densità di veicoli motorizzati per abitante

Paese	Veicoli motorizzati per 1000 abitanti	Anno di riferimento
United States	809	2011
Australia	731	2015
Malta	709	2011
New Zealand	708	2011
Italy	682	2011
Canada	607	2009
Spain	593	2011
Germany	588	2011
Japan	588	2010
France	578	2012
Switzerland	573	2011
Lithuania	560	2010
Belgium	559	2010
Finland	551	2011
Portugal	548	2010
Greece	537	2010
Netherlands	528	2010
Sweden	520	2010
United Kingdom	519	2010
Denmark	480	2010
South Korea	438	2012
Bulgaria	393	2010
Croatia	380	2010
Hungary	345	2010
Russia	317	2014
Argentina	314	2007
Mexico	275	2010
Brazil	249	2011
Turkey	233	2014
Iran	200	2012
South Africa	165	2010
Venezuela	147	2007
Tunisia	125	2010
Algeria	114	2010
China	113	2014
Morocco	70	2007
Egypt	45	2009
Cuba	38	2008
Nigeria	31	2007
Philippines	30	2010
Congo,	27	2007
India	18	2011
Pakistan	18	2010
Ethiopia	3	2007
Bangladesh	3	2010

Fonte: Wikipedia

autobus, veicoli commerciali ed adibiti al trasporto merci, mentre sono esclusi i motocicli o altri veicoli a due ruote. Sono quindi da riferire sia al trasporto passeggeri che a quello merci.

Ipotizzando una tendenza “naturale” dei paesi a raggiungere i 500 veicoli per 1000 abitanti, vista la libertà di movimento e l’accessibilità che consente l’automobile e le necessità del trasporto stradale delle merci, è naturale che i margini di incremento nella diffusione dei veicoli, incluse le automobili, in molti paesi in via di sviluppo sia ancora molto ampio.

Graficamente, e riferendoci solo alle automobili, la distribuzione mondiale è quella illustrata in Figura 4. È evidente che sia in atto a livello mondiale negli ultimi due decenni un processo di *catching up*.

Guardando alla produzione di veicoli a motore, invece che alla domanda, la situazione si presenta come illustrata in Figura 5. I veicoli alimentati da combustibili fossili continuano la loro inarrestabile ascesa. La loro diffusione a livello mondiale non smette di crescere, con l’eccezione di pochi anni, in particolare del 2009, anno di recessione mondiale. Dai 41 milioni di automobili del 2000 siamo passati ai 67 del 2014. Parallelamente, anche i veicoli commerciali sono cresciuti nello stesso periodo da 17 a 22 milioni.

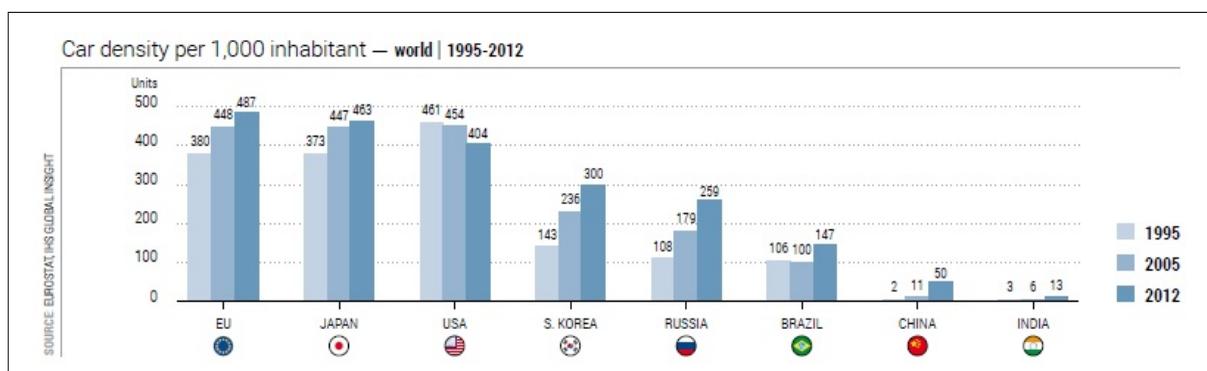


FIGURA 4 – Densità di automobili nel mondo
 Fonte ACEA http://www.acea.be/uploads/statistic_images/EU_car_density.jpg

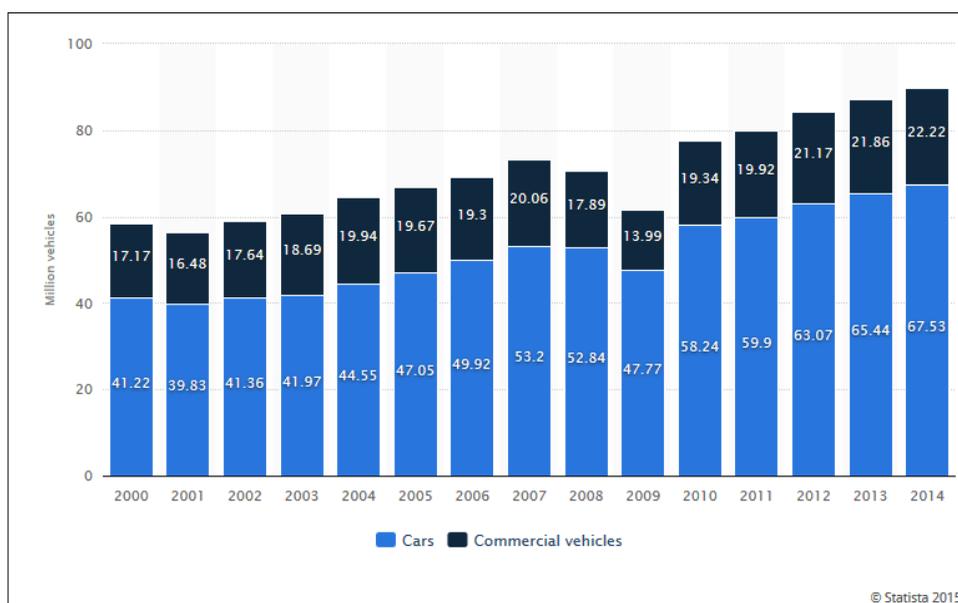


FIGURA 5 – Produzione mondiale di automobile dal 2000 al 2014 (in milioni)

La crescita è, come ci si poteva attendere, principalmente dovuta alla diffusione dei veicoli nei paesi asiatici. La Tabella 2 riporta i dati per i principali paesi.

Appare evidente il grande sviluppo della produzione di veicoli in Cina, dai 2 milioni su 58 a livello mondiale del 2000 ai 23 su 89 a livello mondiale del 2014. Sia l'EU che gli USA invece arretrano in termini assoluti (e quindi anche in termini percentuali) tra il 2000 ed il 2014. Avanzano molto anche l'India, che ha prodotto circa 4 milioni di veicoli nel 2014 contro una produzione quasi nulla nel 2000, il Brasile, che ha raddoppiato la sua produzione, e la Corea del Sud. Evidente è anche il riposizionamento della produzione automobilistica in nuovi paesi a basso costo del lavoro come il Messico, la Thailandia, l'Indonesia e la Turchia. In Europa, tiene, pur riducendosi, la produzione tedesca, riposizionandosi in Spagna, Repubblica Ceca e Slovacchia. In calo sia la Francia che l'Italia.

La Figura 6 illustra chi sono i principali produttori di automobili. In testa troviamo un produttore giapponese, la Toyota, un gruppo tedesco, la Volkswagen, ed un gruppo americano, la General Motors. Al quarto posto abbiamo l'alleanza Renault-Nissan, che, per ora, è l'unico dei quattro che, come vedremo anche nelle prossime sezioni, ha decisamente puntato sull'AE.

Tabella 2 – La produzione annuale di veicoli a motore nei principali paesi produttori (in milioni)

Stato/Regione	2014	2000	1990	1980	1970	1960	1950
Mondo	89,75	58,37	48,55	38,56	29,42	16,49	10,58
Cina	23,72	2,07	0,51	0,22	0,09	0,02	0,00
EU	16,98	17,14	-	-	-	-	-
USA	11,66	12,80	9,78	8,01	8,28	7,91	8,01
Giappone	9,77	10,14	13,49	11,04	5,29	0,48	0,03
Germania	5,91	5,53	4,98	3,88	3,84	2,06	0,31
Corea del Sud	4,52	3,11	1,32	0,12	0,03	0,00	0,00
India	3,84	0,08	0,36	0,11	0,08	0,05	0,01
Messico	3,37	1,94	0,82	0,49	0,19	0,05	0,00
Brasile	3,36	1,68	0,91	1,17	0,42	0,13	0,00
Spagna	2,40	3,03	2,05	1,18	0,54	0,06	0,00
Canada	2,39	2,96	1,95	1,37	1,16	0,40	0,39
Russia	1,89	1,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Thailandia	1,88	0,41	0,30	0,07	0,02	0,00	0,00
Francia	1,82	3,35	3,77	3,38	2,75	1,37	0,36
UK	1,60	1,81	1,57	1,31	2,10	1,81	0,78
Indonesia	1,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Rep. Ceca	1,25	0,46	0,00	0,23	0,02	0,00	0,00
Turchia	1,17	0,43	0,02	0,05	0,00	0,00	0,00
Iran	1,09	0,28	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
Slovacchia	0,90	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Italia	0,70	1,74	2,12	1,61	1,85	0,64	0,13
Argentina	0,62	0,34	0,10	0,28	0,22	0,00	0,00

Fonte: Wikipedia

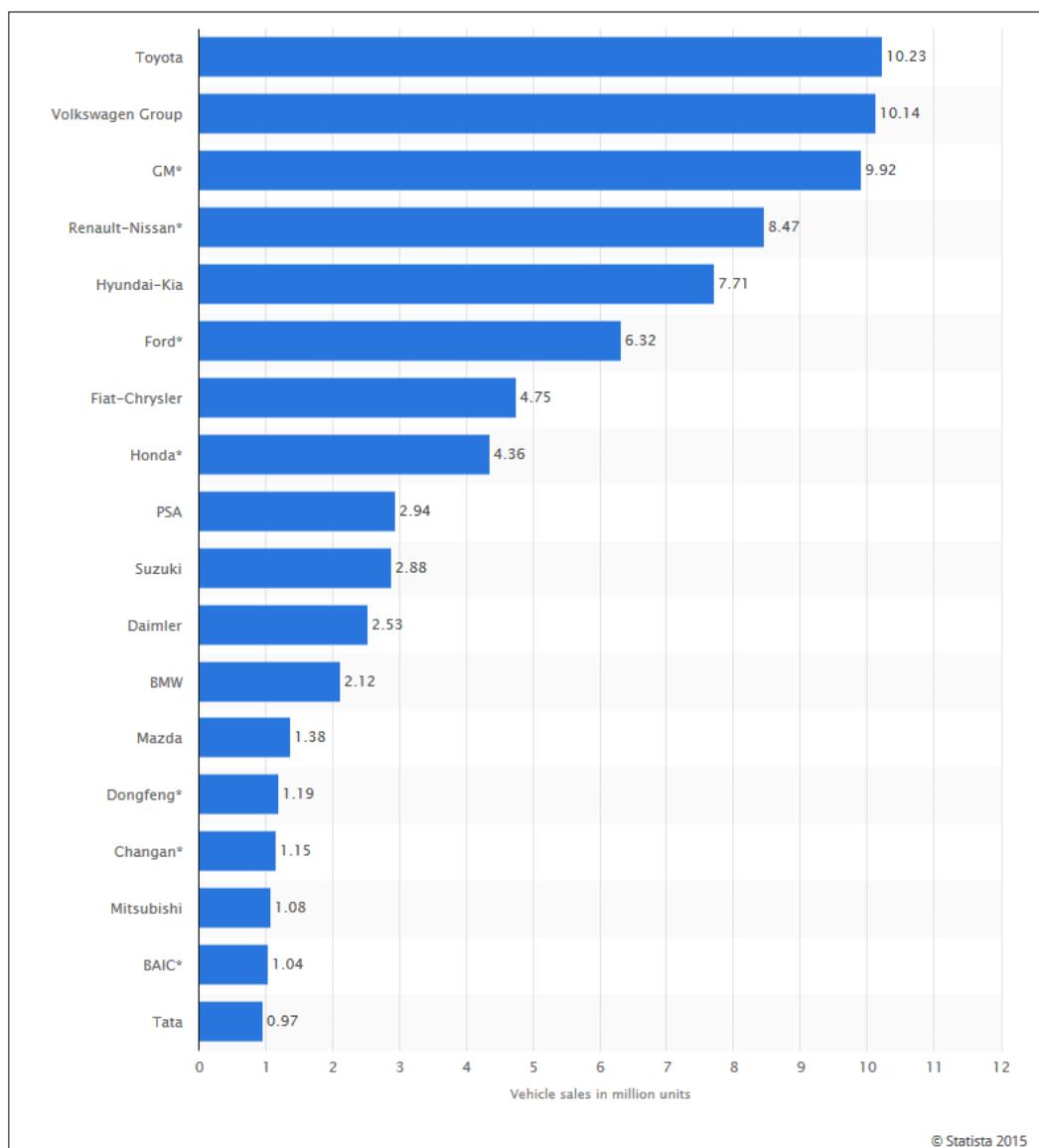


FIGURA 6 – I principali produttori di automobili. Fonte: Wikipedia

3 IMPLICAZIONI ENERGETICHE E AMBIENTALI DELLA DIFFUSIONE DELL' AUTOMOBILE

Secondo l' Agenzia europea per l' ambiente (EEA) (<http://www.eea.europa.eu/it/themes/transport/intro>) "I trasporti sono responsabili di circa un terzo del consumo finale complessivo di energia nei paesi membri dell' AEA e di più di un quinto delle emissioni di gas serra, nonché di una parte considerevole dell' inquinamento atmosferico e acustico urbano". Ancora "I trasporti non sono solo il settore che consuma il maggior quantitativo di energia ma rappresentano anche, in termini di andamento dei consumi energetici, il settore che cresce più in fretta. Negli ultimi anni il consumo di energia nel settore dei trasporti è diminuito meno rispetto ad altri settori e quindi la sua quota ha continuato ad aumentare, raggiungendo il 33% nel 2009 per l' UE-27 (incluso il trasporto aereo internazionale ma non la navigazione internazionale).

Il miglioramento tecnologico dei motori ha ridotto le emissioni prodotte da tutti i settori dei trasporti rispetto al 199⁵, nonostante si sia verificato da allora un incremento delle attività di trasporto. Tuttavia, nel complesso, gli obiettivi di qualità dell'aria non sono stati raggiunti in molte aree dell'Europa. "Nel 2009, per il biossido di azoto (NO₂), che può provocare l'asma e altri problemi respiratori, i valori limite annuali sono stati superati nel 41% delle stazioni di monitoraggio del traffico. Inoltre nel 2009 il valore limite giornaliero per il PM₁₀ è stato superato nel 30% delle aree urbane di traffico nell'UE-27". Si stima inoltre che quasi 100 milioni di persone siano state esposte a livelli medi nocivi di inquinamento acustico di lunga durata provocato dai veicoli stradali sulle strade principali.

L'International Energy Agency (IEA) prevede che il trasporto (in termini di passeggeri e merci tonnellate km) raddoppi entro il 2050 e il corrispondente consumo di energia ed emissioni aumentino del 70% tra il 2010 e il 2050, nonostante i miglioramenti attesi della tecnologia dei veicoli (IEA, 2013). Tale aumento è principalmente dovuto ai previsti incrementi della mobilità in Cina e nei paesi in via di sviluppo (Figura 7).

Il prezzo del petrolio, il principale determinante della mobilità automobilistica è costantemente cresciuto nel corso dei decenni, abbandonando il valore di 20\$ al barile (a prezzi 2010) che aveva fino agli anni '70 dello scorso secolo, per raggiungere anche i 100\$ al barile (Figura 8), con un andamento negativo nell'ultimo anno (Figura 9).

In questo contesto, l'AE ha le seguenti potenzialità:

- può contribuire a ridurre notevolmente l'inquinamento atmosferico a livello urbano, essendo ad emissioni zero al momento dell'utilizzo;
- può contribuire a ridurre notevolmente l'inquinamento acustico a livello urbano, eliminando il rumore del motore e mantenendo solo il rumore da rotolamento degli pneumatici sul manto stradale;
- può contribuire a ridurre la dipendenza dal petrolio, nella misura in cui l'energia elettrica è prodotta da altre fonti fossili (metano) e non fossili (nucleare, idrica e rinnovabili);
- può contribuire a ridurre le modificazioni del clima a livello globale nella misura in cui è prodotta da fonti energetiche non fossili.

4 L'AUTOMOBILE ELETTRICA

L'AE è un'automobile con motore elettrico che utilizza come fonte di energia primaria l'energia chimica immagazzinata in un "serbatoio" energetico costituito da una o più batterie ricaricabili e resa disponibile da queste al motore sotto forma di energia elettrica. L'AE non è certamente una novità nel mondo dell'automobile dato che le prime automobili erano elettriche. I limiti tecnologici delle batterie e dei motori elettrici imponevano però sia velocità che distanze contenute, tali da renderli progressivamente inferiori alle automobili con motori a combustione interna, soprattutto dopo che quest'ultimo ha risolto brillantemente il problema dell'accensione ricorrendo ad una piccola batteria elettrica.

Nonostante il netto miglioramento intervenuto in questi ultimi anni con le batterie agli ioni di litio, i limiti tecnologici ed economici che ancora le batterie presentano hanno fatto sì che l'industria automobilistica abbia messo sul mercato anche tecnologie automobilistiche intermedie tra le tradizionali automobili con motori a combustione interna quali le automobili con motori ibridi.

Un veicolo ibrido, o veicolo a propulsione ibrida, è un veicolo dotato di due sistemi di propulsione, ad esempio, un motore elettrico ed un motore termico. I due propulsori sono adatti a coesistere in quanto

⁵ Nei 32 paesi europei studiati alla EEA le emissioni prodotte dai trasporti si sono ridotte tra il 1990 e il 2009 del 25% per l'ossido di azoto (NO_x), del 27% per il particolato sottile (PM_{2,5}), del 37% per l'ossido di zolfo (SO_x), del 75% per l'ossido di carbonio (CO) e del 77% per i composti organici volatili non metanici (NMVOC).

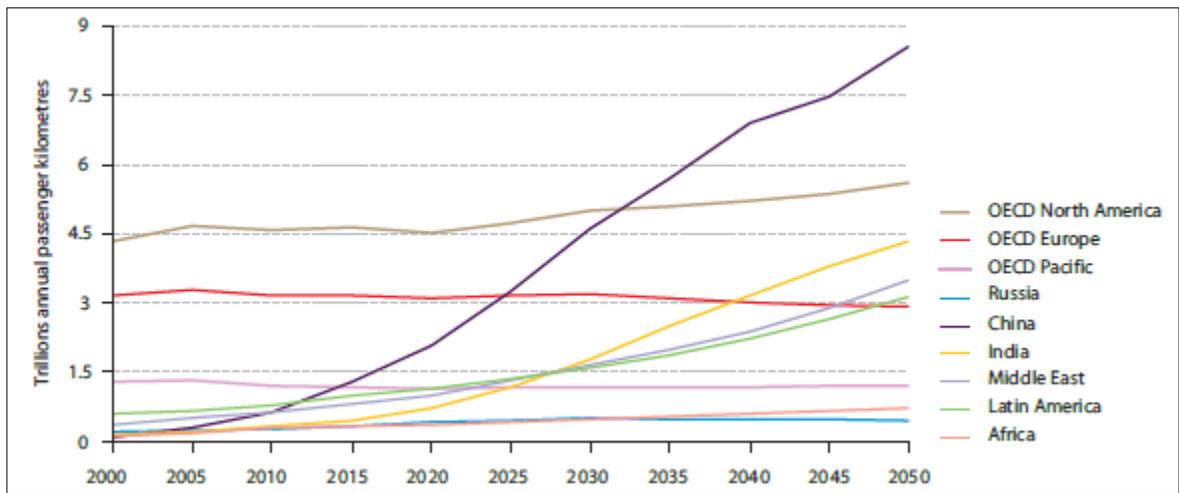


FIGURA 7 – Incremento del traffico automobilistico. Fonte: IEA

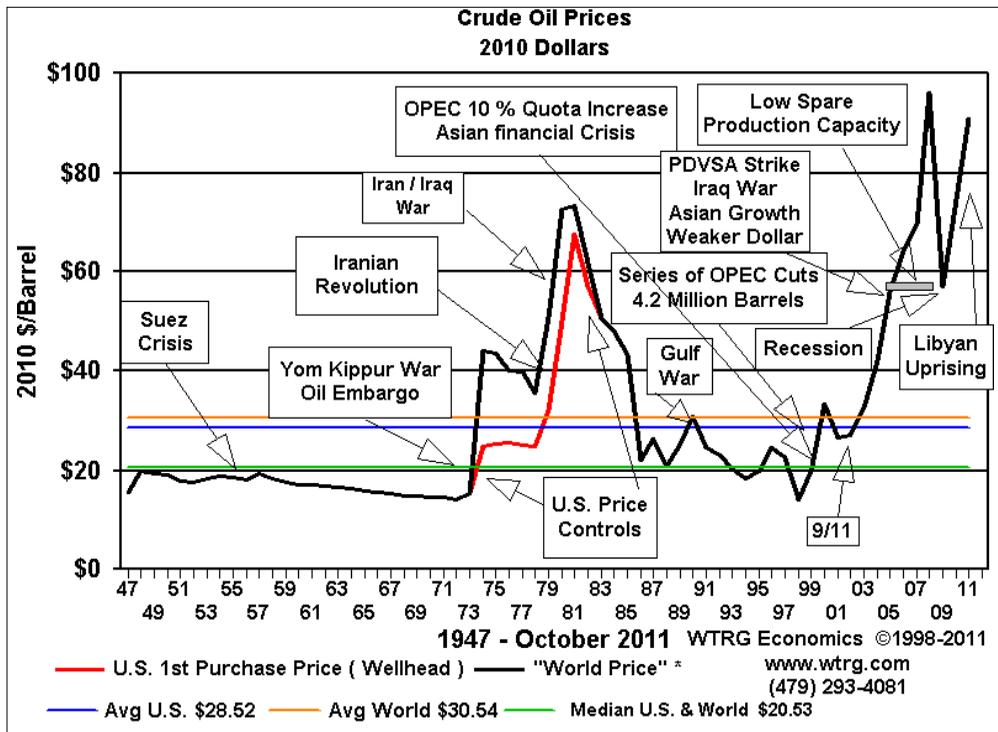


FIGURA 8 – Andamento del prezzo del petrolio nel dopoguerra

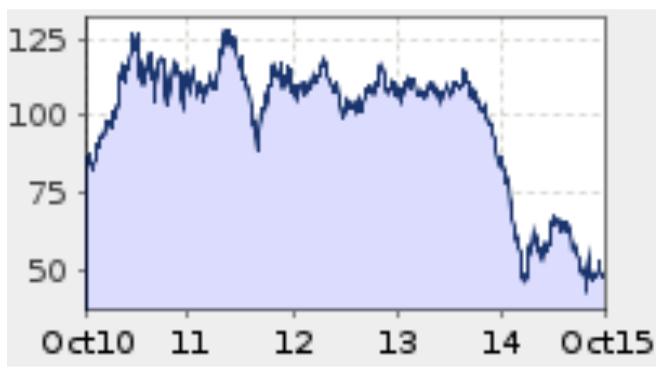


FIGURA 9 – Andamento del prezzo del petrolio dal 2010 al 2015

hanno caratteristiche complementari. Il motore a combustione interna trasforma l'energia chimica del combustibile (di notevole densità energetica e facilmente approvvigionabile dalla rete di rifornimento) con una efficienza accettabile. Il motore elettrico invece converte con una maggiore efficienza e versatilità un'energia disponibile a bordo in minori quantità.

Si possono avere diversi livelli di ibridazione.

Un primo livello si ha con le auto "micro-ibride". Esse sono vetture dove la parte elettrica, consistente nella normale batteria da 12 Volt al piombo ed il motorino di avviamento da 2-3 kW, consente la funzione Stop&Start del propulsore termico. Il motore si spegne quando non serve (ad es. durante l'attesa al semaforo), per poi riaccendersi automaticamente quando si premono l'acceleratore o il pedale della frizione. I vantaggi rispetto ad un'auto tradizionale sono una ricarica parziale della batteria tramite l'alternatore, sfruttando l'energia dispersa in fase di ogni decelerazione e un consumo ridotto del 5%, valore che può aumentare ulteriormente nel ciclo urbano. Questo sistema sta facendo la sua comparsa su quasi tutti i nuovi modelli di auto in vendita. Secondo molti commentatori, la micro-ibridazione è ottenuta con componenti tradizionali e non certo con un diverso sistema propulsivo, per cui non è sufficiente per definire ibride le auto che montano questo sistema.

Diverso è invece il caso delle auto ibride, denominate "*mild-hybrid*". Queste auto si differenziano da quelle convenzionali per l'impianto elettrico, composto da un motore elettrico da 10-15 kW alimentato da batterie NiMH o al Litio da 42 a 150 Volt. Il propulsore termico, oltre a sfruttare la funzione Stop&Start, viene aiutato da quello elettrico in fase di accelerazione. Ogni volta l'auto ibrida subisce una decelerazione l'energia, altrimenti dispersa, viene recuperata ed utilizzata per ricaricare le batterie. Un esempio di questa moderna tecnologia sono le auto ibride di casa Toyota o Honda.

Ulteriormente, sono state sviluppate le auto "*full-hybrid*". Esse sono le uniche in grado di viaggiare per brevi tragitti in modalità esclusivamente elettrica, grazie a motori elettrici e batterie più potenti. Questa caratteristica può essere sfruttata principalmente in città, ed è proprio per questo motivo che le auto ibride godono spesso di incentivi statali e possono circolare liberamente anche in quelle città in cui vigono limitazioni al traffico. Sempre più frequentemente le auto "*full-hybrid*" sono costruite con la modalità plug-in, ovvero dotate della possibilità di essere ricaricate direttamente alla presa elettrica di casa o presso le speciali colonnine di carica. Avendo a disposizione questa possibilità non è più necessario attendere che il motore termico provveda a recuperare l'energia durante la marcia normale e a ricaricare le batterie. Appartengono a questa tipologia di auto ibride i modelli Toyota Prius plug-in, Audi A3 e-tron, Volkswagen Golf e Passat GTE, Volvo V60 Plug-in, Ford Mondeo Plug-in. Ma la più nota è venduta è al momento attuale la Chevrolet Volt, una auto ibrida elettrica plug-in di Segmento C, prodotta dalla General Motors con il marchio Chevrolet e disponibile negli Stati Uniti a partire dal dicembre 2010. La GM comunque evita di usare il termine "ibrido", e preferisce denominarla AE con estensore di autonomia (*range-extender*), dato che il motore di trazione è elettrico in ogni situazione di guida.

Si deve inoltre menzionare l'auto a idrogeno o a celle a combustibile (*fuel cell*). Essa converte l'energia chimica dell'idrogeno in energia meccanica, bruciandolo in un motore a combustione interna o facendolo reagire con l'ossigeno in una pila a combustibile, producendo elettricità. A partire dal 2014 la casa automobilistica giapponese Toyota ha messo in commercio la Toyota Mirai.

L'AE si presenta quindi all'estremo opposto di questo serie cominciata con le auto con motore a combustione e continuata con le auto micro-ibride, *mild-hybrid*, *full-hybrid*, *full-hybrid plug-in* e *fuel cell*, in quanto essa è dotata solamente di una batteria e di un motore elettrico, e dipendente per l'alimentazione dalle stazioni di ricarica esterna connesse alla rete elettrica. È complessivamente, quindi, più semplice e quindi meno soggetta ad usura e manutenzione. Necessità però di una batteria di maggior dimensioni per avere una sufficiente autonomia, e quindi anche più ingombrante, pesante e, soprattutto, costosa. Su questo aspetto riprenderemo la discussione nelle prossime sezioni.

5 VANTAGGI E SVANTAGGI DELL'AUTOMOBILE ELETTRICA

I vantaggi maggiori dell'AE, già stati accennati precedentemente, consistono nell'annullamento delle emissioni atmosferico (non hanno tubo di scappamento) e del rumore prodotto dal motore. È però fuorviante sostenere che le automobili elettriche sono ad emissioni zero, in quanto le emissioni possono avvenire\avvengono al momento della produzione dell'energia elettrica. È più corretto e realistico affermare pertanto che le AE realizzano un trasferimento delle emissioni atmosferiche dai luoghi di utilizzo delle automobili ai luoghi di produzione di energia elettrica. Tale trasferimento non è però poco importante dato che i luoghi in cui si utilizzano le automobili sono i luoghi più densamente popolati. Dal punto di vista delle emissioni di inquinanti locali (PM, VOC, NO_x, SO_x, CO, O₃) è quindi da ritenersi che le AE contribuiscono a migliorare la qualità urbana e riducono la morbidity\mortalità da inquinamento atmosferico.

Se invece si considera l'intera catena produttiva della automobili e dei carburanti\energia, dal pozzo alla ruota, come si usa dire, (*well-to-wheel=well-to-tank+tank-to-wheel*) allora la questione è più controversa e dibattuta perché è necessario considerare come è prodotta l'energia elettrica (*energy mix*) ad una qualche scala geografica. Occorre farlo per ogni inquinante, compresi quelli clima-alteranti come il CO₂, ed occorre ragionare sul consumo energetico. Su questo tema la letteratura è vasta e in continua crescita, e non manca a livello accademico o politico chi sostiene la tesi che le AE sono in alcuni casi negative per l'ambiente. Per una descrizione dettagliata della letteratura in materia rimandiamo a Rutsch e Danielis (2015). In termini sintetici, sta emergendo che le proprietà dei veicoli elettrici (VE), e quindi la loro performance relativa rispetto a quelle convenzionali, dipende dal modo in cui è prodotta l'energia elettrica. Il vantaggio è chiaro e rilevante se l'energia elettrica è prodotta principalmente da fonti rinnovabili. Meno evidente e dipendente dalla potenza del motore, se l'energia elettrica è prodotta principalmente da combustibili fossili, in particolare quelli ad alto contenuto di carbone, come avveniva ed avviene in alcuni paesi sviluppati o sottosviluppati. Ciò fa sì che l'introduzione di AE debba essere accompagnata da un progressivo sviluppo delle fonti rinnovabili, con tutte le difficoltà che ciò comporta sia in termini economici che ingegneristici. Parallelamente emergono opportunità d'interessanti relazioni biunivoche *grid-to-vehicle* e *vehicle-to-grid* che sono ancora in via di sperimentazione. Infine, le proprietà ambientali ed energetiche delle AE (per non parlare dei costi e dell'autonomia a cui si farà cenno successivamente) variano in relazione alla potenza delle batterie installate ed alla tipologia di batterie usate (anche se al momento attuale sembrano prevalere quelle agli ioni di litio).

Infine, è importante sottolineare che essendo l'energia elettrica producibile tramite molte fonti, la diffusione delle AE si accompagna naturalmente a un potenziale allentamento della dipendenza dal petrolio, con evidenti riflessi economici, strategici e politici: un indiscutibile vantaggio per molti paesi.

6 LA DIFFUSIONE DELL'AUTOMOBILE ELETTRICA

Il dato più aggiornato sulla diffusione dell'AE nel mondo è quello riportato nella Tabella 3.

Il dato è relativo alle AE pure e a quelle *plug-in*. Il paese che ha di gran lunga la diffusione maggiore è la Norvegia, seguito a distanza dall'Olanda.

La spiegazione del dato sulla Norvegia è abbastanza semplice. In Norvegia, il 100% dell'energia elettrica è di origine idroelettrica. Ciò è alla base del fatto che la Norvegia abbia trovato molto interessante stimolare la diffusione delle AE al posto di quelle tradizionali, riducendo in questo modo sia le emissioni d'inquinanti locali che globali. Grazie ad una coscienza ambientalista diffusa e a un potere d'acquisto elevato (dovuto anche alla disponibilità di giacimenti di petrolio), il governo norvegese ha potuto emanare una batteria di incentivi estremamente favorevoli all'acquisto delle AE. Non solo considerevoli incentivi fiscali (in un paese in cui la tassazione sull'acquisto dell'automobile è quasi pari al

costo del veicolo), come l'esclusione dalle tasse di acquisto, la riduzione del 25% dell'Iva sul prezzo d'acquisto (che hanno reso il prezzo della Nissan Leaf inferiore a quello della Volkswagen Golf), ma anche l'esenzione dalla tassa di circolazione annuale, il parcheggio gratuito negli spazi a pagamento pubblici, l'esenzione dal pagamento dei pedaggi sulle strade, sui ponti e sui traghetti ed infine anche la possibilità di accesso alle corsie riservate agli autobus (con risparmi di tempo pari a più di 20 minuti rispetto alle auto convenzionali. Tutto ciò fino alla fine del 2017 o fino che fossero state acquistate 50 mila AE. Questo mix di incentivi fiscali e non fiscali, congiuntamente alla disponibilità di una gamma ampia ed affidabile di AE (in primis, Nissan Leaf e Tesla Model S), ha portato ad una rapida penetrazione in Norvegia delle AE che hanno raggiunto nel primo trimestre 2015 più del 30% dell'immatricolato. Fino a settembre 2015, risultano immatricolate in Norvegia 74.282 VE, di cui 66.276 auto o furgoncini elettrici puri e 8.006 ibridi plug-in. Questi sviluppi, che indubbiamente stanno contribuendo a ridurre rapidamente il grado di carbonizzazione del trasporto passeggeri in Norvegia, hanno trovato voci dissenzienti in relazione alla eccessiva discriminazione a favore delle AE, all'aumento della congestione delle corsie riservate al trasporto pubblico (l'85% dei veicoli che usano le corsie riservate sono AE), alla caduta del gettito proveniente dai parcheggi, alla sostituzione tra AE e trasporto pubblico, alla riduzione di gettito per i gestori dei traghetti. Queste critiche, e il raggiungimento con due anni di anticipo della quota prefissata a 50 mila AE, stanno spingendo le autorità nazionali a ridurre progressivamente, senza però eliminare completamente, i privilegi accordati alle AE. In Olanda, invece, prevalgono le auto ibride plug-in, in particolare la Mitsubishi Outlander.

Gli incentivi fiscali svolgono chiaramente un grosso ruolo nel promuovere la penetrazione delle AE, che nella fase iniziale sono chiaramente più costosi dei corrispondenti veicoli tradizionali. Mock e Yang (2014) per conto dell'ICCT (International Council for Clean Transportation), riportano questi dati relativi agli anni 2012-13 (Figura 10).

La Figura 11 mostra quanto gli incentivi possano modificare il costo relativo di un veicolo. Laddove si è deciso a livello politico di orientare fortemente il mercato (Norvegia e Francia), l'AE ha un costo equivalente o addirittura inferiore a quella convenzionale.

Tuttavia Mock e Yang (2014) concludono che gli incentivi fiscali possono non essere decisivi, citando come esempio la Gran Bretagna, dove nonostante generosi incentivi nel 2013 il tasso di penetrazione è rimasto assai limitato. A risultati simili, ovvero che gli incentivi fiscali potrebbero non bastare, giungono anche altri autori (Sierzchula et. al., 2014; Zhang et al., 2014).

Tabella 3 – Diffusione delle AE

Paese	Immatricolazioni di EVPHEV Primo trimestre 2015	Quota sul totale delle immatricolazioni	Immatricolazioni di EVPHEV Primo trimestre 2014	Quota sul totale delle immatricolazioni
Norvegia	8.112	33,1%	5.775	15,8%
Olanda	5.760	5,7%	3.306	3,1%
Regno Unito	8.684	1,2%	1.764	0,3%
USA	14.832	0,8%	14.799	0,8%
Francia	3.626	0,8%	1.801	0,4%
Germania	4.520	0,6%	2.286	0,3%
Giappone	7.750	0,6%	9.626	0,6%
Cina	12.555	0,6%	1.486	0,0%
Italia	585	0,1%	236	0,1%

Fonte: insideevs.com + UNRAE

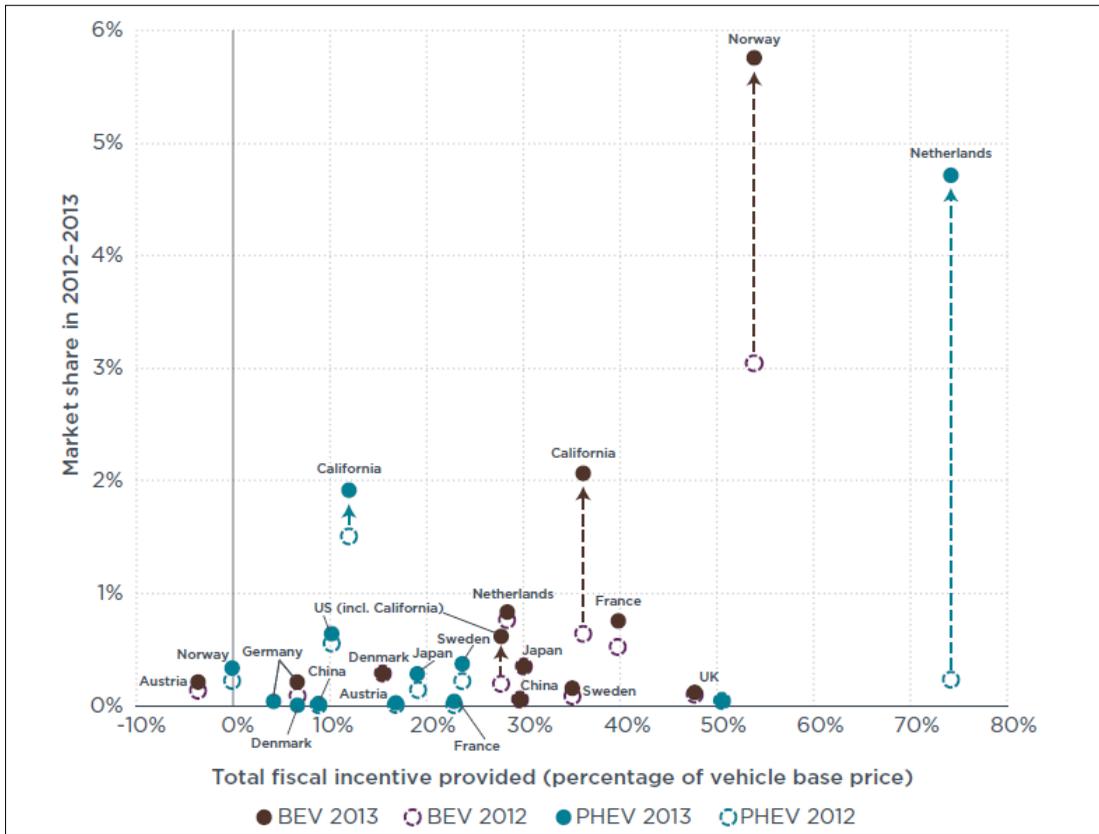


FIGURA 10 – Quota di mercato e incentivi fiscali (fonte: Mock e Yang, 2014, iii)

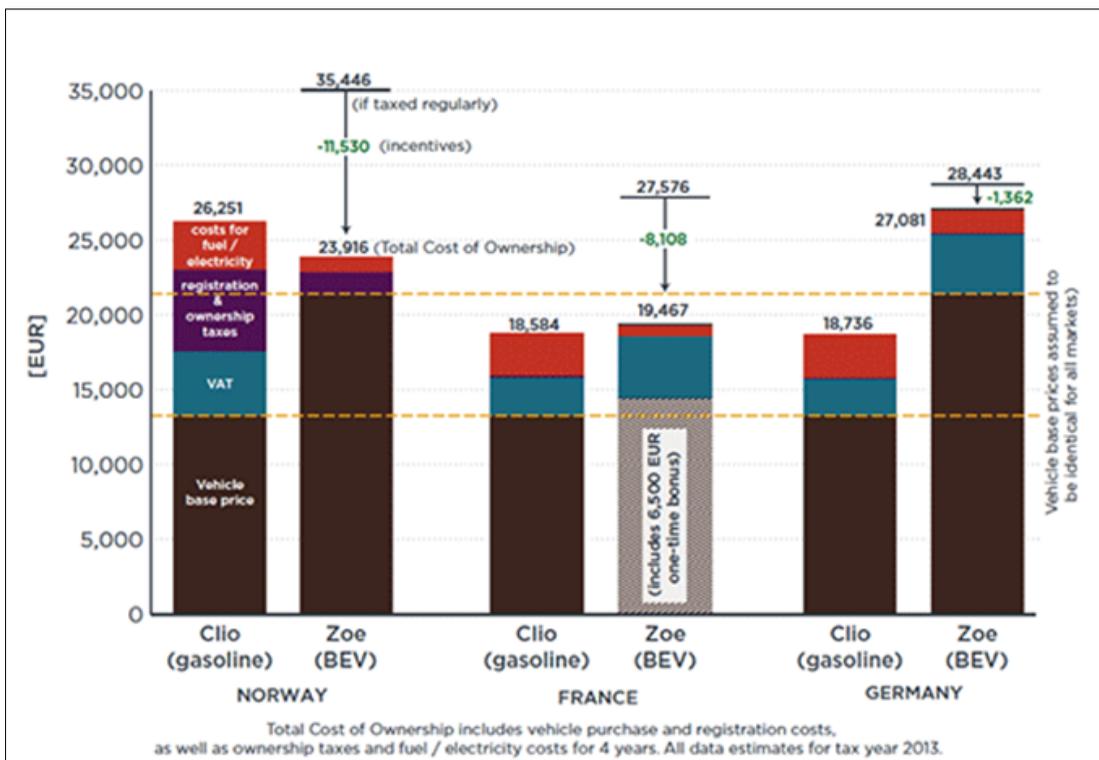


FIGURA 11 – Confronto tra auto tradizionali ed elettriche (fonte: Mock e Yang, 2014)

Tabella 4 – Variazioni della quota di mercato rispetto allo scenario base

Modelli di automobili	Scenario 1: sussidio	Scenario 2: tripla autonomia delle AE	Scenario 3: aumento del 20% del prezzo dei combustibili fossili	Scenario 4: riduzione del prezzo di € 5.000 per le AE	Scenario 5: tutte i precedenti scenari allo stesso tempo
VW Polo (benzina)	-18.40	-0.30	-3.40	-0.10	-24.50
Ford Fiesta (diesel)	20.80	-0.40	0.50	-0.10	11.40
Fiat Punto Evo (bi-fuel – CNG)	-6.20	-0.40	1.90	-0.20	-7.90
Natural Power Alfa Romeo Mito (bi-fuel – LPG)	-2.00	-0.50	0.20	-0.10	-3.40
Toyota Yaris (hybrid – benzina)	5.30	-0.30	-0.30	-0.10	3.20
Peugeot iOn (BEV – owned battery)	0.19	0.91	0.86	0.21	6.30
Renault Zoe (BEV – leased battery)	0.16	0.90	0.14	0.25	14.86

Fonte: Valeri e Danielis (2015)

Similmente il nostro studio (Valeri e Danielis, 2015) ci ha portato a concludere che politiche singole sarebbero poco efficaci. Solo se si utilizzano contemporaneamente diversi strumenti, la penetrazione delle AE sarebbe significativa. Nello studio è stata condotta un'analisi di scenario, ipotizzando l'introduzione di sussidi all'acquisto delle auto meno inquinanti pari a quelli stabiliti dal governo italiano, aumenti pari a tre volte dell'autonomia delle AE, un aumento del 20% del prezzo dei carburanti tradizionali (che invece è diminuito), diminuzioni del costo d'acquisto delle automobili elettriche pari a 5.000€.

Come si vede dalla tabella 2, nessuna di queste misure singolarmente prese ha un impatto rilevante sulla penetrazione di AE in Italia. Solo se tutti questi scenari si avverassero contemporaneamente il tasso di penetrazione potrebbe salire al 15% delle immatricolazioni.

Tuttavia, un economista non può sfuggire alla domanda se gli incentivi fiscali alle AE siano giustificati o meno dal punto di vista dell'efficienza sociale. Prud'homme e Koning (2012) sono stati tra i primi in ambito scientifico a sostenere che la risposta è negativa. Mettendo a confronto due auto, una diesel, la Renault Clio, ed una elettrica, la Renault Zoe, trovano che la seconda è superiore alla prima dal punto di vista sociale (incluso in questo concetto oltre alle esternalità ambientali anche il minor gettito da tassazione dei combustibili fossili⁶) solo se si valutano le emissioni di CO₂ per tonnellata pari a 895€, un valore poco giustificabile dal punto di vista dell'analisi costi benefici. Gli autori sottolineano che i risultati dipendono in modo cruciale dalle ipotesi sulla percorrenza, da loro fissati a 10 mila km all'anno in quanto l'autonomia della Renault Zoe è limitata a soli 150 km ed i tempi di ricarica sono lunghi. A nostro parere, sono poco convincenti invece le stime di consumo di carburante delle auto tradizionali stimate in 7.623€ per 10 mila km per 15 anni.

Il Regno Unito è il primo paese europeo di dimensioni considerevoli ad aver superato la soglia dell'1% dell'immatricolato, grazie ad una politica di deciso sostegno finanziario sia all'acquisto della AE che alla costruzione della rete di stazioni di ricarica. La Francia pare aver imboccata la stessa direzione.

È da sottolineare che il Regno Unito ospita lo stabilimento della Nissan, a Sunderland, in cui si costruisce la versione europea della Nissan Leaf, l'AE finora più venduta al mondo. Allo stesso modo, la

⁶ L'inclusione del minor gettito da tassazione nel concetto di costo sociale, a mio parere, non è corretta. Essa infatti rappresenta un trasferimento dagli individui alle casse dello Stato e non un costo in termini di risorse. È dunque senz'altro vero che, stante la tassazione attuale sui carburanti, l'auto convenzionale genera gettito fiscale che le AE non producono, ma ciò non è un costo in termini di risorse consumate, come invece lo sono altri costi sociali come le esternalità ambientali.

Tesla Motors ha costruito uno stabilimento di assemblaggio delle Tesla in Olanda. L'aspetto che merita essere sottolineato è quindi la connessione tra promozione delle AE e produzione industriale delle stesse. I paesi che hanno scommesso sulle AE, sostenendole dal punto di vista fiscale, sono anche i paesi in cui hanno sede stabilimenti produttivi o di assemblaggio delle case automobilistiche che hanno investito sui VE, in primis l'alleanza Nissan-Renault e la Tesla Motors. Le case tedesche e la Fiat Chrysler Automobiles (FCA), avendo puntato sui motori convenzionali, in particolare quelli diesel o a metano, sono riluttanti, per ora, implicitamente o esplicitamente, a investire sulle AE. Ciò ha ripercussioni, evidentemente, anche se non possiamo entrare nel dettaglio del tema per esigenze di spazio, sul modo in cui le AE sono presentati e sulle politiche pubbliche che li accompagnano. Ciò in parte spiega i bassi livelli di penetrazione che si osservano in Italia e in Germania.

Un discorso diverso invece vale per la Cina, dove gli alti livelli di inquinamento urbano e la forte dipendenza dal petrolio, spingono il governo ad avere un atteggiamento molto favorevole alle AE, che si manifesta con privilegi fiscali e amministrativi accordati alle AE. Ad esempio, contrariamente ai veicoli convenzionali che vengono assegnati tramite una lotteria, per contenere i livelli di penetrazione che altrimenti sarebbero imponenti (a fronte anche di livelli di congestione assai elevata nelle metropoli cinesi), la domanda di AE viene completamente soddisfatta. Ciò fa sì che i tassi di crescita nella produzione e nelle vendite di AE in Cina siano particolarmente elevati. Nel mese di settembre 2015, le vendite si sono attestate su più di 10 mila NEV (*New Electric Vehicles*), un valore mensile quasi equivalente al primo trimestre del 2015, pari a circa 11% delle immatricolazioni mensili. Vista la dimensione del mercato cinese, pari a 26 milioni di vetture l'anno, ciò che accade in Cina è di ovvia rilevanza mondiale.

Va infine segnalato che non tutte le case automobilistiche credono ed hanno investito nelle AE, al di là di produrre alcuni modelli per ottemperare ai doveri di legge (definite *compliance cars*). In particolare, mancano nell'elenco la Toyota, la Volkswagen e la Honda, le prime due essendo le principali case automobilistiche al mondo. La Toyota, oltre ai molteplici modelli a benzina e alla Toyota Prius, l'auto ibrida più di successo al mondo, ha deciso di puntare sulle auto a idrogeno, producendo e commercializzando la Toyota Mirai. La Volkswagen, pur avendo prodotto la Volkswagen e-Golf che ha una buona diffusione, sembrava concentrata soprattutto sulle auto diesel, che però hanno recentemente avuto i ben noti problemi di legati agli sforamenti nei test sulle emissioni inquinanti locali (in particolare sul NOx).

7 I MODELLI: TIPOLOGIE, AUTONOMIA, COSTI

Nello sviluppo dell'AE uno dei fattori fondamentali è la produzione di modelli capaci di soddisfare i diversi segmenti della domanda: dalle auto sportive, ai SUV, alle berline ed alle utilitarie. Fondamentale in tutto questo sono naturalmente gli investimenti e le strategie delle case automobilistiche, le cui dimensioni a livello mondiale sono state illustrate nella Figura 6.

Come mostra la Figura 12 relativa ai modelli disponibili negli Stati Uniti (in Cina, in particolare, i modelli disponibili sono assai diversi perché adattati alla realtà di quel paese), dal 2012 al 2015 si è assistito un aumento significativo del numero dei modelli che ormai copre diversi segmenti di mercato. È interessante notare che l'auto di maggior successo a livello di marketing e di apprezzamento del pubblico è la Tesla Model S, un'auto del segmento di lusso, ad elevatissime performance (in particolare relative all'accelerazione) e tecnologia, che ha dimostrato che le AE possono essere ben diverse dalle automobili per i campi di golf, a cui tradizionalmente si associava la motorizzazione elettrica. La serie Tesla (Roadstar, Model S e Model X) sono diventate auto di prestigio, con un prezzo di vendita superiore ai 100 mila dollari, ad appannaggio delle classi più ricche, adatte, grazie alle elevate performance anche ai percorsi extra-urbani, contrariamente a chi pensava che le AE dovessero essere auto urbane, di limitato autonomia, con scarse prestazioni, adatte ad uno stile di vita e di guida modesto e frugale. Il modello finora più venduto al mondo è però la Nissan Leaf, un'auto di segmento C, dal costo superiore

2012	JAN
Chevrolet Volt	603
Toyota Prius PHV	0
Nissan LEAF	676
Tesla Model S*	0
Ford C-Max Energi	0
Ford Focus Electric	2
Mitsubishi i-MiEV	36
Toyota RAV4 EV	0
Honda Fit EV	0
InsideEVs	1,317

2013	JAN
Chevrolet Volt	1,140
Nissan LEAF	650
Tesla Model S	1,200
Toyota Prius PHV	874
Ford C-Max Energi	338
Ford Fusion Energi	0
Fiat 500e*	0
Ford Focus Electric	81
Toyota RAV4 EV	25
Mitsubishi i-MiEV	257
smart ED	2*
Honda Fit EV	8
Chevrolet Spark EV	0
Honda Accord PHV	2
Porsche Panamera S-E	0
Cadillac ELR	0
InsideEVs	4,577

2014-US	JAN
Nissan LEAF	1,252
Chevrolet Volt	918
Tesla Model S*	800
Toyota Prius PHV	803
Ford Fusion Energi	533
Ford C-Max Energi	471
BMW i3	0
Fiat 500e**	310
smart ED	97
Ford Focus Electric	100
Cadillac ELR	41
Toyota RAV4 EV	63
Chevrolet Spark EV	93
Porsche Panamera S-E	141
Mercedes B-Class ED	0
BMW i8	0
Honda Accord PHV	27
Honda Fit EV	30
Kia Soul EV	0
VW e-Golf	0
Mitsubishi i-MiEV	1
Porsche Cayenne S-E	0
InsideEVs	5,680
Worldwide*	14,512

2015-US	JAN
Tesla Model S*	1,100
Nissan LEAF	1,070
Chevrolet Volt	542
BMW i3	670
Ford Fusion Energi	426
Ford C-Max Energi	395
Fiat 500e**	259
Toyota Prius PHV	401
VW e-Golf	181
Chevrolet Spark EV	86
Mercedes B-Class ED	240
BMW i8	85
Ford Focus Electric	85
smart ED	147
Cadillac ELR	92
Kia Soul EV	69
Porsche Cayenne S-E	66
Porsche Panamera S-E	61
Porsche 918 Spyder	34
Mitsubishi i-MiEV	3
Honda Accord PHV	28
Mercedes S550 PHV	
Tesla Model X*	
Volvo XC90	
Other*	17
InsideEVs	6,057
2014 Results	5,680
Worldwide*	24,455

FIGURA 12 – Modelli di AE disponibili negli Stati Uniti

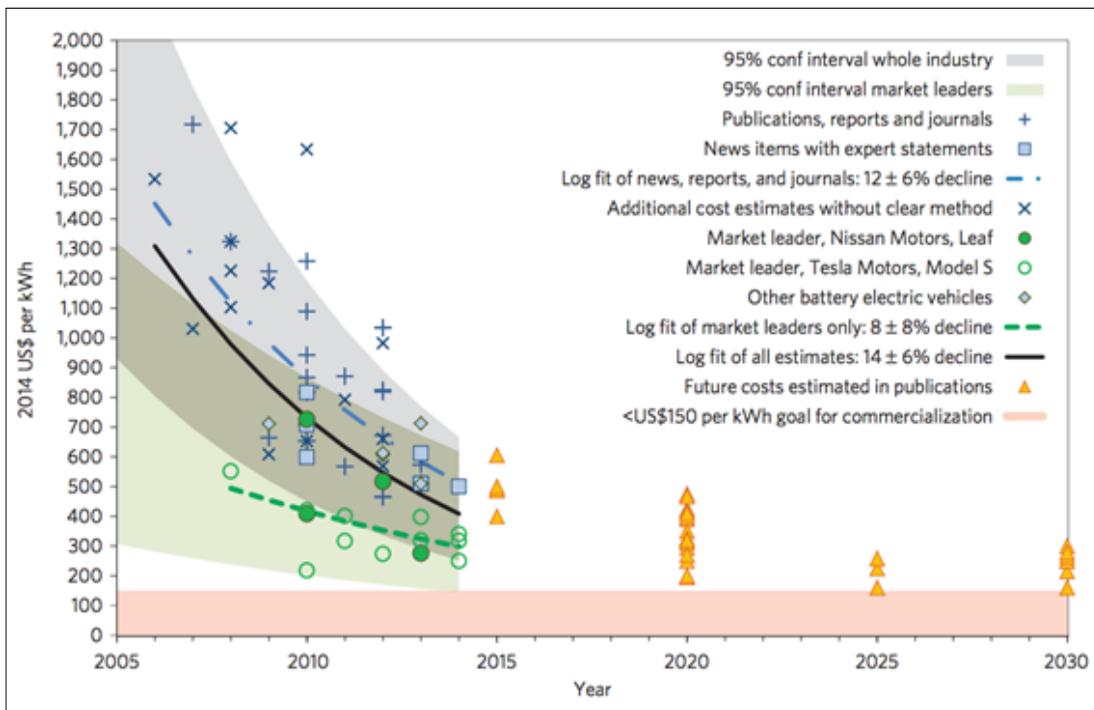


FIGURA 13 – Costi stimati delle batterie per le AE. Fonte: Nykvist et al. (2015)

ai 30 mila dollari, dotato di un'autonomia più limitata e con prestazioni paragonabili alle auto a motori convenzionali del proprio segmento. Il costo, più alto di circa 8-9 mila dollari, dell'auto tradizionale corrispondente ne ha limitato la diffusione, diventando conveniente solo in presenza di sussidi pubblici all'acquisto ed in presenza di un utilizzo elevato (con percorrenza annuale superiori ai 15 mila chilometri) ma per percorsi giornalieri contenuti. Manca al momento attuale una berlina elettrica, di città, che abbia sia un prezzo popolare e vantaggio per il grande pubblico, pur considerando che le AE hanno costi di acquisto più elevati di quelle convenzionali ma costi variabili di utilizzo più bassi, grazie al minor costo dell'energia elettrica rispetto alla benzina/diesel (in un rapporto, che varia tra paese a paese, di circa 3€ per 100 km delle AE contro 8€ per 100 km delle auto convenzionali).

Sicuramente il principale ostacolo che le AE devono superare per potersi diffondere è il costo delle batterie. Le batterie per le AE, in realtà devono soddisfare diversi requisiti: essere poco ingombranti per non occupare troppo spazio nel veicolo, essere poco pesanti per non ridurre le prestazioni, contenere un'alta densità energetica per consentire distanze più lunghe per ogni carica, resistere alle temperature estreme sia rigide che calde, ricaricarsi velocemente, permettere molti cicli di ricarica per non dover essere sostituite frequentemente, e, non ultime, essere sicure, non infiammabili e non scaldarsi troppo. Tutto ciò alla fine deve costare poco. È chiaro quindi che le richieste e le sfide alla ricerca di base e applicata, ai tecnici e produttori di batterie per le automobili elettriche sono enormi.

Pur essendo una sfida destinata a durare decenni, alla ricerca dei materiali e componenti chimici più adatti e della tecniche di costruzione più efficienti, la ricerca e l'industria delle batterie ha già fatto in questi ultimi anni progressi notevoli. Dal punto di vista della chimica delle batterie ci si è attualmente assestati sugli ioni di litio, ma molto promettenti sembrano gli sviluppi che si potranno avere con le batterie allo stato solido.

In ogni caso, come mostra la Figura 13 si è assistito nell'ultimo decennio ad una rapida diminuzione del costo delle batterie, che notizie di stampa recente attestano addirittura sui 145\$/Kwh nel caso delle batterie prodotte dalla coreana LG Chem, acquistate da General Motors.

In effetti, come al solito, gli sviluppi nella produzione automobilistica trascinano altre industrie, in particolare quella della produzione delle batterie elettriche per i veicoli che ha avuto tassi di crescita rilevanti negli ultimi anni e che si prevede si possa sviluppare ancora di più negli prossimi anni, come attesta la Figura 14.

Essendo i mercati asiatici quelli di gran lunga più dinamici, la produzione delle batterie è soprattutto ad appannaggio dei giganti industriali asiatici, dalla giapponese Panasonic, alle coreane LG Chem e Samsung, che potrebbero trovare un contraltare adeguato negli Stati Uniti nella Gigafactory della Tesla Motors. In Europa sembrano seguire da vicino questi sviluppi la Bosch e la Siemens, mentre mancano investimenti di aziende produttive italiane.

Una rappresentazione aggiornata del rapporto tra autonomia dell'AE e prezzo di vendita della stessa, aggiornato al settembre 2015, è presentato nella Figura 15. Le uniche automobili che presentano livelli di autonomia elevata, anche se non certo paragonabili alle auto convenzionali che raggiungono le 600-700 miglia, sono le Tesla, che però hanno prezzi di vendita superiori ai 70 mila dollari. La Nissan Leaf 1016 raggiunge le 107 miglia ad un costo di poco inferiore ai 30 mila dollari. Le altre AE pure si attestano sulle 80 miglia circa, mentre le ibride plug-in vanno dalle 11 miglia della Toyota Prius PHV alle 53 miglia della Chevrolet Volt 2016, con prezzi di vendita comunque non bassi data la presenza del doppio motore.

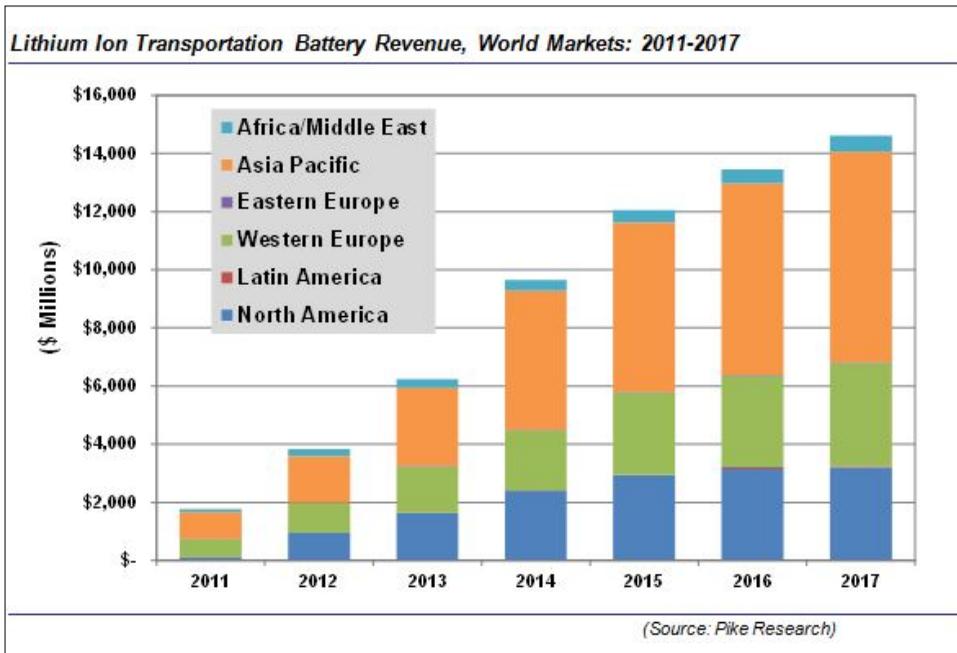


FIGURA 14 – Proventi da produzione di batterie agli ioni di litio

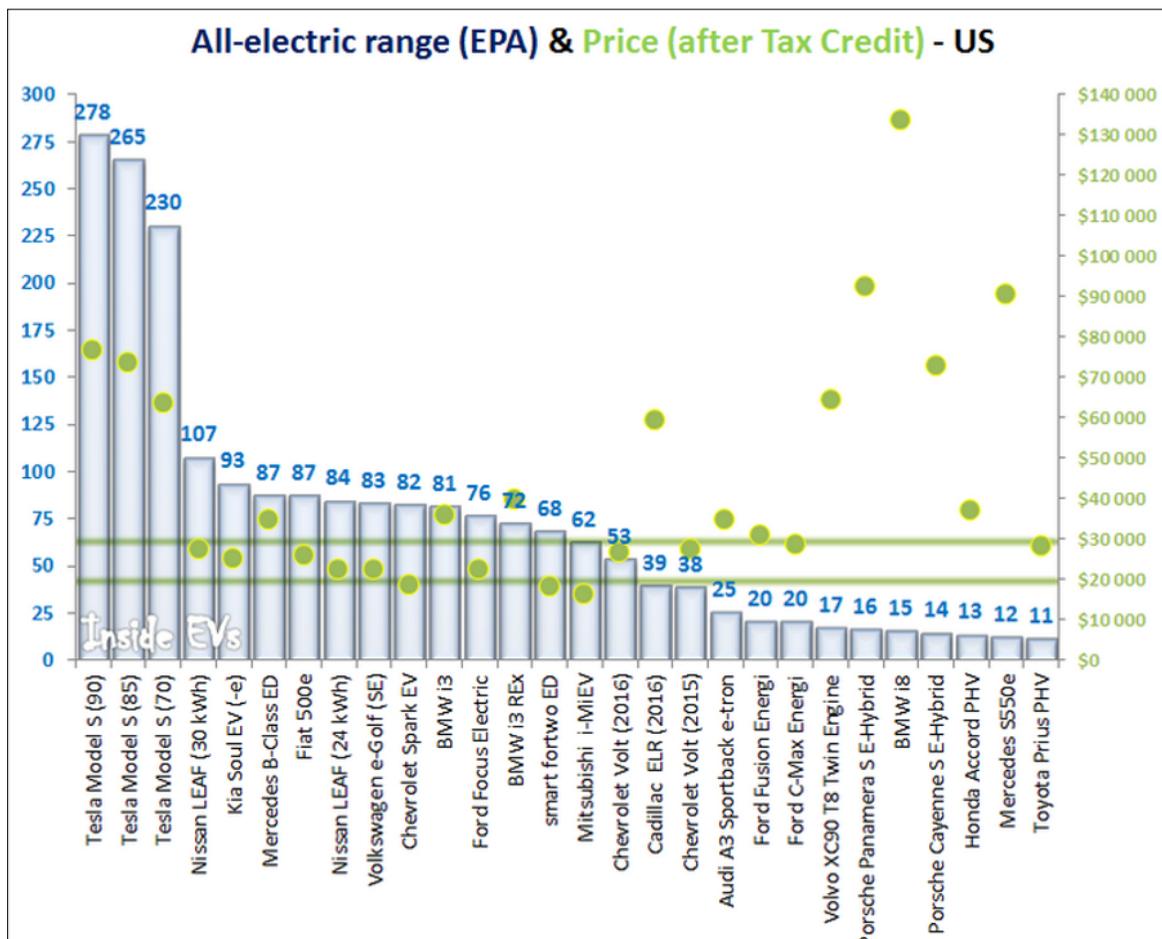


FIGURA 15 – AE e plug-in disponibili negli USA al settembre 2005: autonomia (in miglia) e prezzo (in dollari)

8 LE STAZIONI DI RICARICA

Un ultimo ingrediente importante per la diffusione delle AE sono le stazioni di ricarica. Uno dei vantaggi della AE rispetto alle auto convenzionali è che le batterie possono essere ricaricate a casa da una presa della corrente. Non tutti però dispongono di una garage. Si stima che quasi il 50% della popolazione non ne disponga e che tale percentuale salga in misura considerevole nelle aree urbane. Per la diffusione delle AE è pertanto importante prevedere una rete capillare di stazioni di ricarica pubblica.

Come è noto, le stazioni di ricarica si possono distinguere in base alla potenza con cui ricaricano le batterie elettriche. Le utenze residenziali usano in genere prese di ricarica da 3,3 kW, mentre le stazioni di ricarica pubbliche possono andare da 7 a 50 KW, con tempi di ricarica che vanno dalle 3-4 ore ai 20-30 minuti.

È interessante osservare che investono in stazioni di ricarica sia imprese private sia imprese pubbliche. La Telsa Motors si è dotata autonomamente negli Usa, come in Europa ed in Asia di una imponente rete proprietaria di stazioni di ricarica veloce denominate *superchargers* (Figura 16).

Essendo proprietaria, la rete è chiusa ed è offerta in uso gratuito ai possessori dei modelli Tesla di livello superiore. È aperta, invece, ed a pagamento la rete delle stazioni CHAdeMO (“CHARge de MOve”), fornite da un’associazione di imprese con alla guida Nissan-Renault e caratterizzate da una potenza fino a 62,5 kW, quindi definibili veloci e che possono ricaricare una batteria all’80% in circa 30 minuti. L’attuale diffusione della rete CHAdeMO è illustrata in Figura 17.

I produttori tedeschi hanno invece proposto e sviluppato lo standard CCS (*Combined Charging System*). Non c’è stata quindi in questo settore, ancora in fase iniziale di sviluppo, una convergenza su uno standard universale, il che pone qualche problema di prese e di compatibilità, facilmente però superabile secondo alcuni commentatori.

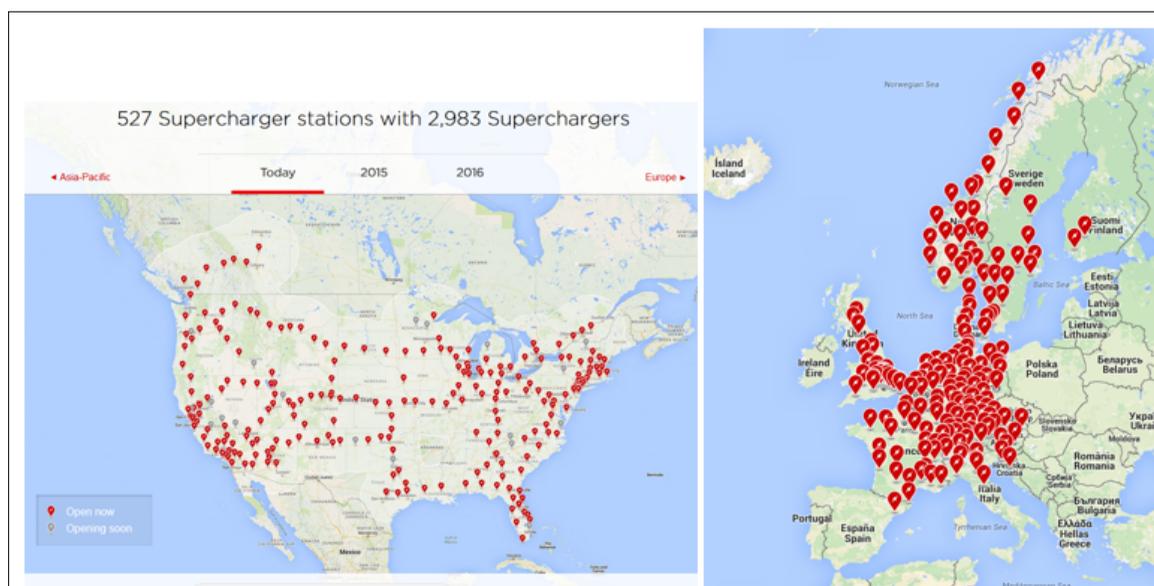


FIGURA 16 – La rete attuale di Superchargers Tesla negli Stati Uniti ed in Europa

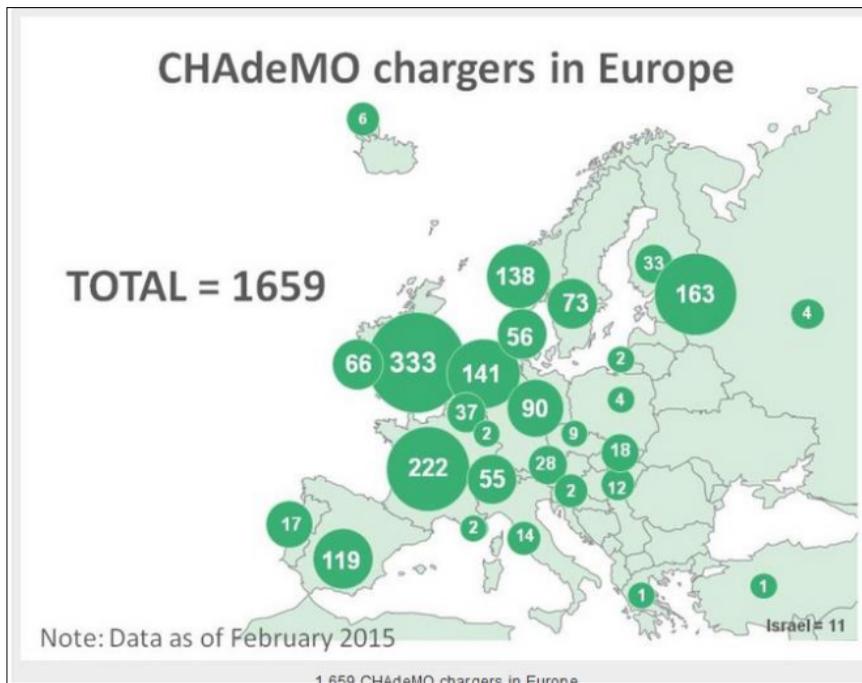


FIGURA 17 – L'attuale diffusione della rete CHAdEMO



FIGURA 18 – Integrazione tra pannelli fotovoltaici e parcheggi di AE

Le AE, e in generale i VE, possono contribuire a ridurre gli impatti negativi dei trasporti sull'ambiente urbano e globale, un contributo importante per le molte e dense città mondiali, per mantenere gli impegni internazionali di ridurre le emissioni di gas serra e anche per ridurre la dipendenza dal petrolio. Potenzialmente quindi le AE rappresentano un'opportunità rilevante.

In questo contributo è stato illustrato l'attuale livello di diffusione delle AE a livello internazionale. Come proseguirà nel prossimo futuro? La risposta a questa domanda non è per niente facile. In primo luogo si deve ammettere che, al momento attuale, le AE mancano ancora dei requisiti di convenienza economica e di comodità d'uso che invece contraddistinguono le auto tradizionali.

Come per tutte le nuove tecnologie, i margini di incertezza sono ancora molto ampi, anche se i progressi realizzati negli ultimi anni relativamente alle batterie elettriche, ottenendo consistenti miglioramenti della loro capacità e durata e contemporaneamente una riduzione del loro peso, volume e costo, fanno ben sperare. Inoltre, prosegue a pieno ritmo la sperimentazione delle batterie allo stato solido e l'utilizzo di componenti chimici diversi dagli attuali ioni di litio.

Affinché le opportunità si realizzino è necessario che, non solo dal punto di vista tecnologico, ma anche da quello industriale e da quello organizzativo e regolamentare, i diversi attori scelgano di operare in modo coerente allo sviluppo della mobilità elettrica. Gli investitori privati, soprattutto i produttori di automobili ma anche tutta la filiera della componentistica ad essi collegata, devono svolgere il proprio essenziale compito e molti, anche se con diversa convinzione, lo stanno infatti svolgendo, sviluppando AE sempre migliori e stazioni di ricarica a costi sempre più bassi.

Le autorità pubbliche, a livello internazionale, nazionale e locale, hanno il proprio compito da svolgere. Se veramente ritengono, fatta un'accurata analisi dei costi e dei benefici, avvalendosi delle tecniche di stima più avanzate, che le AE siano un'opportunità devono predisporre quell'insieme di incentivi fiscali e non fiscali che ne favoriscano l'adozione. Finora ciò è avvenuto solo in alcuni paesi, in particolare in Norvegia, in California, in Olanda, nel Regno Unito, in Francia e, più recentemente, in Cina.

Infine, contano le scelte dei consumatori (gli automobilisti). Anche se attualmente, come dicevamo, la convenienza privata ad acquistare AE è molto limitata, se non assente, gli *early-adopters*, i *new-technology lovers*, gli *environmentally-conscious drivers*, comunque si sceglie di definire chi acquista questi nuovi veicoli per motivi tecnologici o ambientali, possono condizionare le scelte delle case automobili e dei governi.

Congiuntamente alla penetrazione delle AE, è da più parti sottolineato che è estremamente importante ulteriormente rafforzare il peso delle fonti rinnovabili nella produzione di energia elettrica. Solo se l'energia elettrica è prodotta da fonti rinnovabili, come nel caso illustrato nella Figura 18, il bilancio ambientale delle AE è inequivocabilmente positivo. Anzi, proprio l'interazione positiva tra produzione di energia elettrica e uso delle AE (*smart grid*, *grid-to-vehicle*, *vehicle-to-grid*, produzione di energia a livello locale e immagazzinamento dell'energia) è uno dei potenziali sviluppi più interessanti.

Riferimenti bibliografici

- MOCK, P., YANG, Z. (2014), *Driving electrification a global comparison of fiscal incentive policy for electric vehicles*, International Council on Clean Transportation.
- PRUD'HOMME, R., KONING, M. (2012), Electric vehicles: a tentative economic and environmental evaluation, *Transport Policy* 23, 60-69.
- RUSICH, A., DANIELIS, R., (2015), Total cost of ownership, social lifecycle cost and energy consumption of various automotive technologies in Italy, *Research in Transportation Economics*, 50, 3-16.
- SIERZCHULA, W., BAKKER, S., MAAT, K. (2014), The influence of financial incentives and other socio-economic factors on electric vehicle adoption, *Energy Policy*, 68, 183-194.
- VALERI, E., DANIELIS, R. (2015), Simulating the market penetration of cars with alternative fuelpowertrain technologies in Italy. *Transport Policy*, 37, 44-56.
- ZHANG, X., XIE, J., RAO, R., LIANG, Y. (2014), Policy Incentives for the Adoption of Electric Vehicles across Countries, *Sustainability* 2014, 6, 8056-8078.

The private and social cost of the electric car: a comparison between models of different car market segments

ANDREA RUSICHⁱ, ROMEO DANIELISⁱⁱ

ⁱ Department of Engineering and Architecture, University of Trieste

ⁱⁱ Department of Economic, Business, Mathematics and Statistics Sciences “Bruno de Finetti”, University of Trieste

1. INTRODUCTION TO THE ECONOMICAL SUSTAINABILITY OF ELECTRIC CARS

After the Kyoto Protocol, the subscribing countries have taken actions in order to reduce the greenhouse gases (GHG) emissions, the principal cause of the global warming phenomenon. The European Union has issued regulations affecting the main production sectors as transportation, that in 2012 has resulted as the second largest contributor of GHG emissions at EU-28 level with the 21.9% (European Commission, 2015). Regulation (EC) n. 443/2009 states that all the new registered passenger vehicles have to respect the emission cap fixed at 130 g/km for the period 2012-2015, reaching the goal of 95 g/km in 2020 (European Commission, 2009).

Car manufacturers have consequently started to produce passenger vehicles respecting the mentioned CO₂ emissions targets, introducing in the European car market new powertrains/fuel options like hybrid, bi-fuel, electric cars. The decision makers (DMs) such as consumers, mobility managers, Public Authorities have consequently an extended possibility to choice the optimal powertrain in respect to their preferences, their mobility patterns, private and social costs.

This paper aims to asses the economical sustainability of electrified powertrains in the Italian car market. Section 2 presents a Decision Support Model (DSM) approach to support decision-makers in estimating private and social costs of passenger cars with different fuel options. Section 3 reports a DSM case study application to estimate the electrified cars competitiveness in respect to the “conventional” gasoline and diesel ones in terms of private and social costs. Section 4 summarises the main results.

2. THE DSM APPROACH

Regulation (CE) n. 443/2009 has affected the Italian car market speeding up the supply of an increased variety of car powertrains: considering the whole sales in the first 10 months of 2015 the market shares

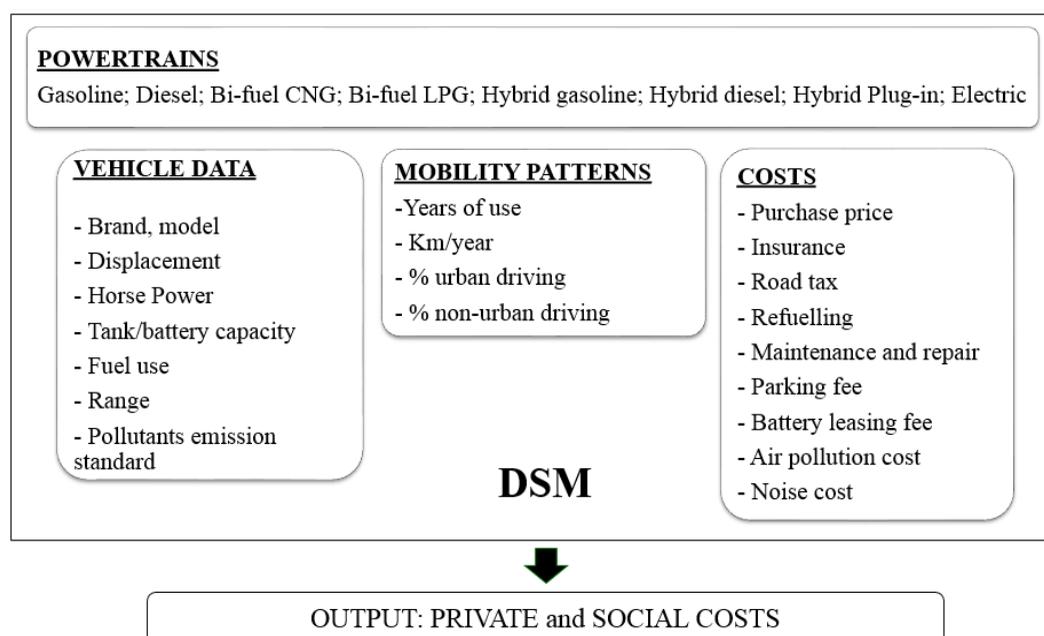


Figure 1 – The DSM theoretical framework

where, respectively, 55,3% diesel, 31,1% gasoline, 7,9% Liquefied Petroleum Gas (LPG), 4,1% Compressed Natural Gas (CNG), 1,6% Hybrid, 0,1% Electric (UNRAE, 2015).

The DMs' purchasing behaviours take into account monetary parameters (e.g. initial price, operating costs, etc.), non-monetary parameters (e.g. car models availability, range, refuelling stations distribution, etc.) and, finally, the mobility patterns (e.g. km/year, urban or non-urban driving, years of usage, etc.). At the powertrain selection moment all these information are difficult to be gathered, managed, used, evidencing the requirement of Decision Support Models (DSM). These decision-making support tools should suggest to private DMs the optimal car powertrain to buy while to public entities the fuel options to subsidize.

A DSM is an intelligent human- computer system which supports decision-making activities aiming at semi-structured decision-making problem.

Figure 1 shows the DSM application to the optimal car powertrain choice. First, the DM identifies the powertrains to compare among the ones available in the Italian car market in 2015. Secondly, the DM selects the car models to compare by a list of 76 options¹ and, finally, inserts the mobility patterns information. The vehicle and mobility pattern data are inputs for the DSM estimation of specific costs like insurance, road tax, etc. Then, specific costs with the same nature are aggregated in the following outputs²:

- Total Cost of Ownership: the cost that the DM has to sustain in order to buy and use a car with a specific powertrain at current fuel prices;
- Social Lifecycle Costs: the costs imposed to the society by the DM's use of a car model with a specific powertrain (i.e. road transport negative externalities).

¹ The related vehicle data are already stored in the DSM database. The reference is <http://www.quattroruote.it/>

² For a detailed description of the DSM theoretical framework, see Rusich, Danielis 2015.

3. CONVENTIONAL V/S ALTERNATIVE POWERTRAINS: A CASE STUDY

In recent years, car manufacturers have started to produce vehicles with different levels of electrification in order to optimize the performances of gasoline and diesel engines or to provide less pollutant fuel options. A brief description of the electrified powertrains available in the Italian car market is reported in the following lines, listed since the less electrified to the most one.

- Gasoline and diesel Hybrid Vehicles (HEVs): equipped with two engines, one combustion (gasoline or diesel) and one electric. A battery stores the energy produced by the combustion engine or by regenerative braking systems. The interaction between the combustion and the electric powertrains depends on the level of hybridisation:
 - o Mild hybrid: the electric engine is not able to move alone the vehicle in a normalized driving cycle;
 - o Full hybrid: the electric engine is able to move alone the vehicle in a normalized driving cycle;
- Gasoline and diesel Plug-in Hybrid Vehicles (PHEVs): HEVs in which the battery can be recharged also without the combustion engine, by plugging the vehicle in the electricity grid;
- Extended Range Electric Vehicles (EREVs): equipped with an auxiliary power unit built-in or externally attached to a PHEV to increase the electric range;
- Electric Vehicles (EVs): equipped with the only electric powertrain (battery + electric engine).

The higher the level of electrification is, the better energy efficiency and lower pollutants emissions are achieved. This means that, apparently electrified vehicles should ensure fuel savings and reduced environmental impacts: these “alternative” powertrains are expected to be more economical sustainable (in terms of private and social costs) than the “conventional” gasoline and diesel ones. The following paragraph aims to verify if, in concrete, vehicles with “alternative” powertrains on sale in the Italian car market are more economical sustainable than the “conventional” ones.

3.1 CASE STUDY DESIGN

The DSM is used as assessment tool for a sample of 39 car models belonging to the Italian car market segments in the first 10 months of 2015. Considering that the supply of “alternative” powertrain car models is not homogeneous among market segments, the following assumptions have been adopted in the case study design:

- A-B market segment = mini cars (A) + small cars (B);
- C-D market segment = medium cars (C) + large cars (D);
- E-F market segment = executive cars (E) + luxury cars (F).

Figure 2 reports the sample composition in terms of number of vehicles considered per powertrain. In order to stress the comparison between car models with “conventional” and “alternative” powertrains, only a gasoline and diesel car model per market segment is present while the whole supply of “alternative” car models per market segment is taken into account.

Figure 2 evidences that the supply of “alternative” car powertrain is not homogeneous in the Italian market: EVs and Gasoline HEVs are currently the ones with the broadest range. Figure 3 reports the distribution of the powertrains considered in the sample per market segment. It evidences that also within market segments, the supply of “alternative” powertrains is not harmonized.

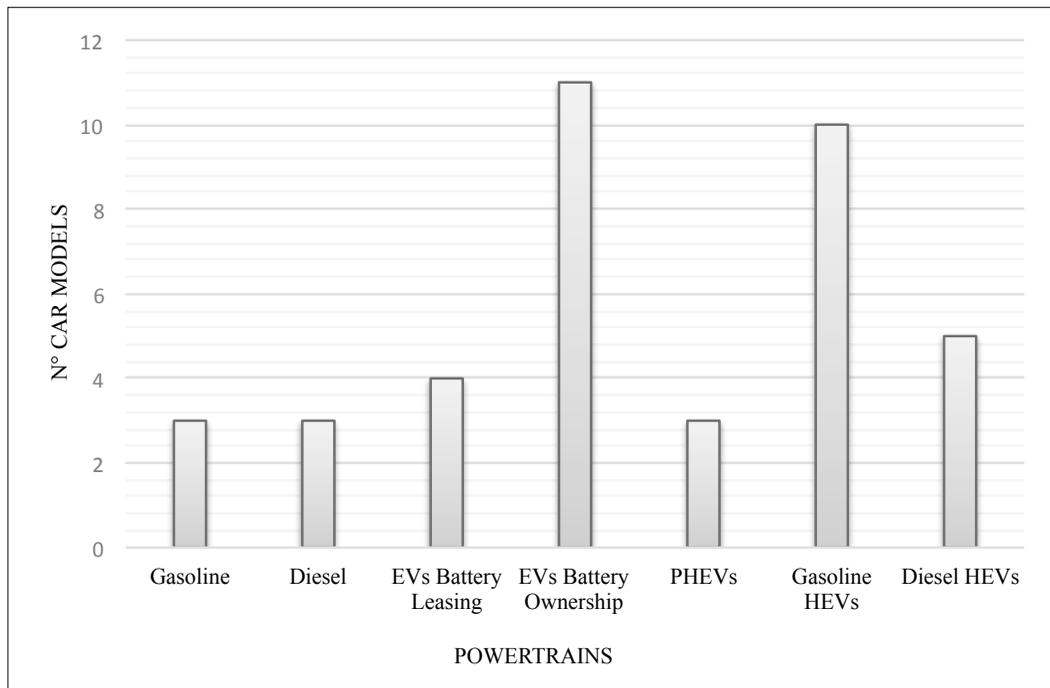


Figure 2 – Car models considered per powertrain

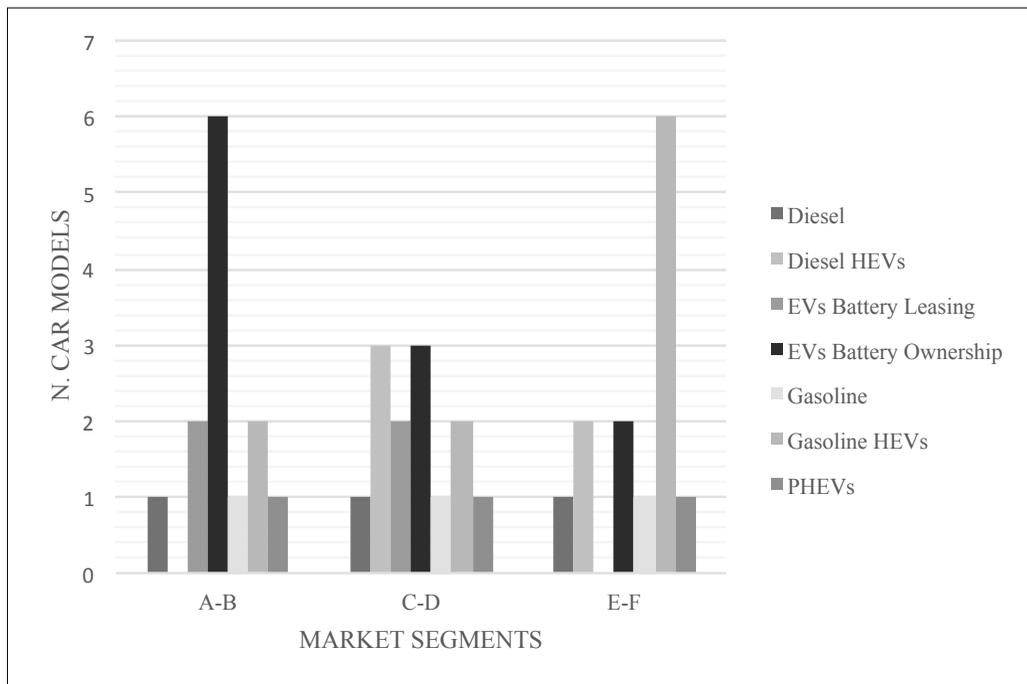


Figure 3 – Sample composition per market segment

Figure 3 evidences that the current supply of EVs (own battery + leased battery)³ is mainly focused on the A-B market segments due to limited battery ranges, high battery costs and a scarce widespread of the electric refuelling stations in the road transportation network. The battery leasing business model is applied to medium and small sized EVs mainly because the leasing convenience is reduced when increasing kilometres driven and battery sizes increase.

Considering HEVs, the gasoline ones are currently more widespread while the diesel ones are absent in the A-B car market segment. PHEVs are in a starting market phase.

3.2 THE TOTAL COST OF OWNERSHIP

The Total Cost of Ownership (TCO) is an estimation of the costs that the DM has to sustain in order to buy and drive a car model for a specific mobility pattern at current fuels prices. The TCO is computed as follows:

$$\text{TCO} = \text{Vehicle Capital Costs} + \text{Present Value of Annual Operating Costs}$$

The Vehicle Capital Costs is the car purchase price while the Present Value of Annual Operating Costs includes the costs incurred during the vehicle lifetime. More in detail, in the Annual Operating Costs are accounted:

- Fuel Costs;
- Battery leasing fees (for EVs with battery leasing);
- Insurance costs;
- Ordinary and extraordinary maintenance and repair costs;
- Parking costs;
- Vehicle excise duties.

These costs are estimated starting by the vehicle data stored in the DSM database and assuming a specific mobility pattern: 10 years of usage, 80% urban trips and a varying number of km/year (5,000; 10,000; 15,000; 20,000; 25,000). The variability of this last parameter is justified by the requirement to evaluate if, as the number of km/year increases, the more electrified powertrains become the optimal choice in terms of TCO. An actualization formula is applied in order to take into account the present value of money during time and report it to the decision moment (Rusich, Danielis 2015). The comparison process among the selected car models is in two steps: firstly, the identification of the car model with the lowest TCO (optimal choice); secondly, the TCO difference estimation among the optimal choice and the other ones.

Table 1 shows TCO comparison's results among the car models with "alternative" and "conventional" powertrains belonging to the Italian market segment A-B.

³ Two business models to sell electric vehicles: the owned battery one implies that the customer becomes owner of the battery, pays a higher purchase price and is in charge of all the risks related to the battery. The battery leasing business models allows a reduced purchase price but on a monthly basis the customer has to pay a leasing fee whose amount depends of the number of kilometres driven per year and the years of contract. With the battery leasing business model, the car manufacturer remains in charge of the risks of battery failure.

Table 1 – TCO difference among the optimal car model option and the other ones belonging to market segment A-B

Powertrain	Car Model	TCO Difference (€) for 10 years of use and varying km/year driven				
		5000	10,000	15,000	20,000	25,000
Gasoline	Fiat Panda Easy	0	0	0	984	4,036
Diesel	Ford Fiesta TdCi	2,921	1,907	892	862	2,899
EV Battery Own.	VW E-Up	8,172	5,120	2,068	0	0
Gasoline HEV	Toyota Yaris	7,593	6,663	5,733	5,787	7,909
EV Battery Own.	Smart ForTwo E. D.	9,708	7,843	5,978	5,098	6,285
EV Battery Leas.	Smart ForTwo E. D.	10,067	8,202	6,337	5,457	6,644
EV Battery Own.	Citroen C-Zero	12,102	9,799	7,497	6,178	6,928
EV Battery Own.	Peugeot iOn	12,334	10,031	7,729	6,410	7,160
EV Battery Own.	Mitsubishi iMiev	13,908	11,606	9,303	7,985	8,734
EV Battery Leas.	Renault Zoe	13,210	10,884	9,240	9,455	12,127
Gasoline HEV	Honda Jazz Hybrid	9,845	10,094	10,344	11,578	14,879
EV Battery Own.	BMW i3	20,233	17,121	14,009	11,881	11,820
PHEV	BMW i3	27,400	25,234	23,067	21,885	22,771

Up to 15,000 km/year driven, the gasoline Fiat Panda Easy is the optimal car model and the diesel Ford Fiesta TdCi represent the suboptimal choice. If 20,000 km/year are driven, the electric VW E-Up with battery ownership has the lowest TCO.

The comparison states that in market segment A-B car models with “conventional” powertrains have a lower TCO than car models with “alternative” powertrains if a less intensive car usage is considered (less than 20,000 km/year). A first reason concerns the fact that PHEVs, EREVs, HEVs and EVs are in general more expensive than “conventional” car models in A-B market segment⁴. A second aspect concerns the relation between operating costs and mobility patterns: the more electrified vehicles generate TCO savings under intensive car usage conditions thanks to reduced operating costs in respect to the “conventional” powertrains (e.g. 0.28 €/km the Peugeot iOn electric with battery ownership; 0.46 €/km for the gasoline Fiat Panda Easy). As an example, the VW E-Up electric with battery ownership fills the initial extra-money expenditure of 15,550€ under the conditions of 20,000 km/year driven and 10 years of usage thanks to the lowest operating costs in the car model sample considered (0.26 €/km).

The diesel HEVs are absent in the market segment A-B, nonetheless the technology is available in the Italian car market. The reason is that this “alternative” powertrain is applied on mid-size and large size car models. Focusing on the PHEVs supply in the market segment A-B, only BMW i3 is sold in Italy evidencing a starting market phase.

⁴ 11,600€ the gasoline Fiat Panda Easy; 14,750€ the diesel Ford Fiesta TdCi; 19,200€ the gasoline Hybrid Toyota Yaris; 30,698€ the electric with battery ownership Peugeot iOn; 41,150€ the BMWi3 Range Extender.

Table 2– TCO difference among the optimal car model option and the other ones belonging to market segment C-D

Powertrain	Car Model	TCO Difference (€) for 10 years of use and varying km/year driven				
		5000	10,000	15,000	20,000	25,000
Gasoline	Fiat Punto Twinair	0	0	0	0	0
EV Batt. Own.	Nissan Leaf	11,127	8,751	6,375	3,998	1,622
Diesel	VW Golf Trendline	7,606	7,841	8,077	8,313	8,549
EV Battery Leas.	Nissan Leaf	12,914	10,537	8,842	8,022	7,592
EV Battery Leas.	Renault Fluence	15,735	12,988	10,144	8,371	5,235
EV Batt. Own.	VW E-Golf	17,708	14,681	11,655	8,628	5,602
Gasoline HEV	Toyota Auris	14,111	14,001	13,892	13,783	13,673
EV Batt. Own.	Ford Focus Electric	21,434	19,074	16,715	14,356	11,997
Gasoline HEV	Toyota Prius	16,800	16,993	17,186	17,379	17,572
PHEV	VW Golf GTE Phev	24,650	23,283	21,916	20,550	19,183
Diesel HEV	Peugeot 3008	26,853	27,142	27,432	27,722	28,011
Diesel HEV	Citroen DS5	29,966	30,592	31,218	31,844	32,471
Diesel HEV	Peugeot 508	37,539	39,005	40,471	41,936	43,402

In the sample of car models belonging to market segment C-D, the gasoline Fiat Punto Twinair is always the optimal choice in terms of TCO. The suboptimal choice is the diesel VW Golf Trendline up to 15,000 km/year while the electric with battery ownership Nissan Leaf is more competitive in terms of TCO if 20,000km/year or an increased distance is covered.

The comparison states that in market segment C-D the TCO differences between the optimal choice and other car models are more significant than in the case of market segment A-B. In particular in the case of diesel HEVs with the Peugeot 508 car model reaching a 43,402€ TCO difference in correspondence of 25,000 km/year driven and 10 years of usage. In general, car models with “conventional” powertrains (gasoline in particular) have a lower TCO than the “alternative” ones. The difference with car market segment A-B is that the mentioned trend has some exceptions. More in detail, up to 15,000 km/year driven the suboptimal choice is the diesel VW Golf Trendline but the electric with battery ownership Nissan Leaf has the best TCO performance if more than 20,000 km/year are driven. When 25,000 km/year are covered, also the electric with leased battery Renault Fluence and the electric with battery ownership VW E-Golf have a lower TCO than the diesel car model. Two main explanations:

- The EVs purchase prices are higher in respect to the car models with “conventional” powertrains⁵;

⁵ The gasoline Fiat Punto Twinair 13,900€; the diesel VW Golf Trendline 21,650€; the electric with battery leased Renault Fluence 28,500€, the electric with battery ownership Nissan Leaf 30,690€ and the VW E-Golf electric with battery ownership 37,600€.

- The reduced operating costs of the EVs make them as much competitive as the distance covered per year increases, as shown in Table 3.

Table 3: Operating Cost in €/km

km/year	Fiat Punto Twinair	VW Golf Trendline	Nissan Leaf	Renault Fluence	VW E-Golf
5,000	0.45	0.46	0.31	0.47	0.30
10,000	0.31	0.31	0.20	0.28	0.18
15,000	0.26	0.26	0.16	0.21	0.15
20,000	0.23	0.23	0.14	0.18	0.13
25,000	0.22	0.22	0.13	0.16	0.12

The gasoline HEVs and PHEVs are not optimal choices: the TCO is higher on average than the optimal choice of 13,892€ for the gasoline HEV Toyota Auris, of 17,186€ for the gasoline HEV Toyota Prius and, finally, of 21,916€ for the PHEV VW Golf GTE.

Table 4 – TCO difference among the optimal car model option and the other ones belonging to market segment E-F

Powertrain	Car Model	TCO Difference (€) for 10 years of use and varying km/year driven				
		5000	10,000	15,000	20,000	25,000
Gasoline HEV	Lexus CT	0	0	0	773	3,348
EV Batt. Own.	Mercedes B Class El.	6,952	4,377	1,802	0	0
Diesel	V60 D3 kinetic	10,060	10,439	10,818	11,969	14,923
PHEV	Mitsubishi Outlander	17,523	16,793	16,063	16,105	17,950
Gasoline HEV	Lexus IS	16,793	18,592	20,391	22,963	27,336
EV Batt. Own.	Tesla Model S	37,553	37,250	36,946	37,416	39,687
Diesel HEV	Mercedes E Class	33,436	36,205	38,975	42,518	47,863
Gasoline HEV	BMW 3 Series Hyb.	39,803	43,225	46,648	50,843	56,840
Gasoline HEV	Infiniti Q50 Hybrid	41,021	45,633	50,245	55,630	62,817
Gasoline HEV	Lexus RX405h	42,487	46,705	50,923	55,914	62,707
Gasoline	Audi A8	65,815	70,458	75,101	80,516	87,734
Gasoline HEV	Mercedes S400 Class	80,291	83,972	87,653	92,107	98,363
Diesel HEV	Mercedes C Class	110,993	112,105	113,217	115,102	118,788

Considering the Italian car market segment E-F, Table 4 shows an increased supply of gasoline HEVs in respect to the other market segments. Up to 15,000 km/year driven, the optimal choice in terms of TCO is the gasoline HEV Lexus CT thanks to the cheapest purchase price (27,700€). The suboptimal choice is the EVs with battery ownership Mercedes Benz Class B with a TCO difference that ranges from 6,952€ when 5,000 km/year are driven to 1,802€ if the annual distance is 15,000 kilometres. The Mercedes Benz Class B becomes the optimal choice thanks to operating cost savings of 0.08€/km in correspondence of 20,000 km/year driven and 0.10€/km when the annual distance covered is 25,000 kilometres.

In general, Table 4 shows that in market segment E-F the difference between private costs reaches values very high if compared with the market segment A-B and C-D due to the presence of luxury cars. About “conventional” powertrains, the diesel car models have a reduced TCO in respect to the gasoline ones because the gasoline engines use much more fuel than the correspondent diesel version in vehicles with a lot of power horses and displacement.

Finally, the PHEV Mitsubishi Outlander’s TCO difference to the optimal choice ranges between 17,523€ if 5,000 km/year are driven and 17,950€ if the annual distance covered is 25,000 km/year.

3.2.1 TCO SENSITIVITY ANALYSIS: THE CASE OF INCREASED CONVENTIONAL FUELS PRICES

The TCO assessment highlights that several electric car models are competitive with the “conventional” ones under certain conditions: an intensive car usage (more than 20,000 km/year), 10 years of ownership, mainly urban trips and current fuels prices. More in detail, the TCO results are influenced by favourable oil market conditions, reflected in gasoline and diesel Italian prices of 1.47€/l and 1.35€/l respectively in October 2015 (ACI, 2015). A sensitivity analysis is provided in order to assess the impact of increased gasoline and diesel prices on the TCO comparison between “conventional” and “alternative” car powertrains. The reference period is June 2014, the month in which the oil market price has reached the peak in the last two years. The correspondent gasoline price is 1.75€/l while the diesel one is 1.64€/l. The electricity price in the compared periods is equal to 0.018€/kWh (ACI, 2015).

Table 5 reports the TCO difference for car models belonging to market segment A-B at June 2014 conventional fuels prices. The comparison results remain unvaried in respect to ones reported in Table 1: the optimal solution is still the gasoline Fiat Panda Easy up to 15,000 km/year driven while for more than 20,000 km/year the electric with battery ownership VW E-Up has the best TCO performance.

Table 5 – TCO difference among the optimal car model option and the other ones belonging to market segment A-B with June 2014 conventional fuel prices

Powertrain	Car Model	TCO Difference (€) for 10 years of use and varying km/year driven				
		5000	10,000	15,000	20,000	25,000
Gasoline	Fiat Panda Easy	-	-	-	3,147	6,740
EV Battery Own.	Volkswagen E-UP	7,632	4,039	446	-	-
Diesel	Ford Fiesta TdCi	2,787	1,639	490	2,489	4,933
EV Battery Own.	Smart ForTwo E. D.	9,167	6,762	4,356	5,098	6,285
EV Battery Leas.	Smart ForTwo E. D.	9,526	7,121	4,715	5,457	6,644
Gasoline HEV	Toyota Yaris	7,403	6,283	5,163	7,189	9,662
EV Battery Own.	Citroen C-Zero	11,561	8,718	5,875	6,178	6,928
EV Battery Own.	Peugeot iOn	11,793	8,950	6,107	6,410	7,160
EV Battery Own.	Mitsubishi iMiev	13,368	10,524	7,681	7,985	8,734
EV Battery Leas.	Renault Zoe	12,670	9,803	7,618	9,455	12,127
Gasoline HEV	Honda Jazz Hybrid	9,806	10,017	10,229	13,587	17,390
EV Battery Own.	BMW i3	19,693	16,040	12,387	11,881	11,820
PHEV	BMW i3	19,693	16,040	12,387	11,881	11,820

Table 6 shows that if the comparison takes place among car models of market segment C-D, an increase in gasoline and diesel prices can modify the TCO results reported in Table 2. More in detail, the Nissan Leaf electric with battery ownership becomes the optimal solution if at least 25,000 km/year are driven.

Table 6 – TCO difference among the optimal car model option and the other ones belonging to market segment C-D with June 2014 conventional fuel prices

Powertrain	Car Model	TCO Difference (€) for 10 years of use and varying km/year driven				
		5000	10,000	15,000	20,000	25,000
Gasoline	Fiat Punto Twinair	-	-	-	-	1,127
EV Batt. Own.	Nissan Leaf	10,578	7,652	4,726	1,800	-
Diesel	VW Golf Trendline	7,467	7,565	7,662	7,759	8,983
EV Battery Leas.	Nissan Leaf	12,364	9,438	7,193	5,823	5,970
EV Battery Leas.	Renault Fluence	15,186	11,889	8,495	6,172	3,613
EV Batt. Own.	VW E-Golf	17,158	13,582	10,006	6,430	3,980
Gasoline HEV	Toyota Auris	13,957	13,694	13,431	13,167	14,031
EV Batt. Own.	Ford Focus Electric	20,884	17,975	15,066	12,158	10,375
Gasoline HEV	Toyota Prius	16,685	16,763	16,840	16,917	18,121
PHEV	VW Golf GTE Phev	24,198	22,378	20,558	18,739	18,046
Diesel HEV	Peugeot 3008	26,707	26,852	26,996	27,140	28,411
Diesel HEV	Citroen DS5	29,823	30,306	30,789	31,272	32,882
Diesel HEV	Peugeot 508	37,456	38,839	40,222	41,605	44,114

In the case of car models belonging to market segment E-F, the increase in conventional fuel prices at June 2014 levels does not change the optimal car model choice. Up to 15,000 km/year driven the gasoline HEV Lexus CT has the lowest TCO but is overtaken by the electric with battery ownership Mercedes Class B if 20,000 km/year or more are considered.

Table 7 – TCO difference among the optimal car model option and the other ones belonging to market segment E-F with June 2014 gasoline and diesel prices

Powertrain	Car Model	TCO Difference (€) for 10 years of use and varying km/year driven				
		5000	10,000	15,000	20,000	25,000
Gasoline HEV	Lexus CT	-	-	-	2,447	5,440
EV Batt. Own.	Mercedes Class B El.	6,534	3,540	547	-	-
Diesel	V60 D3 kinetic	10,141	10,600	11,060	13,966	17,418
PHEV	Mitsubishi Outlander	17,232	16,211	15,189	16,614	18,586
Gasoline HEV	Lexus IS	16,881	18,768	20,656	24,989	29,870

EV Batt. Own.	Tesla Model S	37,134	36,413	35,691	37,416	39,687
Diesel HEV	Mercedes E Class	33,447	36,228	39,009	44,237	50,012
Gasoline HEV	BMW 3 Series Hyb.	40,083	43,786	47,489	53,639	60,335
Gasoline HEV	Infiniti Q50 Hybrid	41,249	46,090	50,931	58,218	66,052
Gasoline HEV	Lexus RX405h	42,759	47,248	51,738	58,674	66,157
Gasoline	Audi A8	66,304	71,435	76,567	84,145	92,269
Gasoline HEV	Mercedes S400 Class	80,573	84,537	88,501	94,912	101,869
Diesel HEV	Mercedes C Class	110,979	112,077	113,175	116,719	120,810

Generally, the increase in conventional fuel prices implies higher annual operating costs for gasoline, diesel, gasoline and diesel HEVs, PHEVs car models while the EVs ones remain unvaried. Therefore, the TCO gap between “conventional” and “alternative” car models expands as much as the level of electrification increase. Anyway, the higher EVs fuel savings are not sufficient to change the optimal car model choice in the case study.

3.3 SOCIAL LIFECYCLE COSTS

The Social Lifecycle Costs (SLC) is the costs that the DM imposes to the society for the use of a car model with a specific powertrain. More in detail, when a driver has to decide how to make a trip, the action effects on the other citizens’ life are not taken into account, because no compensation payment for the caused damage will be required. The cost will be paid by the society (concept of negative transportation externality), generating a sub-optimal resource allocation (Danielis, 2001).

In the scientific literature, the SLC assessment is performed on a lifecycle inventory of fuels and electricity basis (Well-to-Wheels assessment, WtW⁶). The Global Warming Potential (GWP) is the most reported result followed by acidification (SO₂, NO_x), smog (CH₄, NMVOC) and toxicity impacts (Hawkins et al., 2012). A lack of consensus in the SLC results is due, firstly, to the fact that HEVs, PHEVs, EREVs, EVs are relatively new powertrains and, secondly, to the complexity of the electricity supply chain that makes results dependent on the energy mix considered and on the period of the day of recharging operations (Massiani and Weinmann, 2012). Rusich, Danielis (2015) reports that nonetheless the EVs are expected to have a GWP lower than gasoline and diesel vehicles their impacts should become comparable or worse than “conventional” powertrains if a carbon intensive energy mix is considered. Distinguishing by SLC production stages, gasoline and diesel vehicles are estimated to have a higher GWP and local air pollution emissions in the car use stage (Tank-to-Wheels, TtW) while EVs mainly in the energy production stage (Well-to-Tank, WtT).

The DSM algorithm estimates three types of social costs related to the car models considered in the case study:

- The WtW Global Air Pollution Cost: that is the Carbon Dioxide (CO₂) emissions cost related to the lifecycle inventory of fuels and electricity;

⁶ Well-to-Wheel is the specific Life Cycle Assessment used for transport fuels and vehicles. The analysis is broken in two stages: the “Well-to-Tank” stage that incorporates the fuel production and processing and fuel delivery or energy transmission and the “Tank-to-Wheel” stage that deals with vehicle operation itself.

- The WtW Local Air Pollution Cost: that is the sum of the Nitrogen Oxides (NO_x) emissions cost, the Sulphur Oxides (SO_x) emissions cost and the Particulate Matter (PM) emissions cost all related to the lifecycle inventory of fuels and electricity;
- The TtW Noise Cost: that is the Annoyance cost and Human Damages cost related to the car usage stage.

The following SLC computational formula is applied:

$$\text{SLC} = \text{WtW Global Air Pollution Cost} + \text{WtW Local Air Pollution Cost} + \text{TtW Noise Cost}$$

About the estimation of the WtW Global Air Pollution Cost, the DG MOVE⁷ data concerning CO₂ emissions per kilometre and the external cost per ton of CO₂ for “conventional” and almost all the “alternative” powertrains are used as DSM input data. The EU28 electricity production mix in 2010 represents the basis to estimate PHEVs and EVs CO₂ emissions values per kilometre. The HEVs data concerning CO₂ emissions per kilometre and the external cost per ton of CO₂ are gathered by the JRC study “Well-to-wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context”.

The WtW Local Air Pollution Cost estimation is performed taking as a reference the DG MOVE study for the values concerning the external costs of the local air pollutants emissions and considering the local pollutants emissions per kilometre reported by Rusich, Danielis (2015). More in detail, the values related to NO_x and SO_x external costs are estimated to be equal inside and outside urban centers while the PM external costs increase in urban and metropolitan areas. Therefore, the WtW Local Air Pollution Cost estimation varies depending on the mobility pattern applied: the more kilometres in urban or metropolitan environments are driven, the higher SLC is achieved. Table 8 summarises the DSM external costs per air pollutant.

The monetary value of each pollutant emissions consist of health costs, building/material damages and damages for the ecosystem (e.g. crop losses).

The Noise Cost is estimated distinguishing urban and interurban trips, using the following formula:

$$\text{Noise Cost (€)} = \text{Urban Noise Cost} + \text{Interurban Noise Cost}$$

The DG MOVE study presents external values depending on the period of the journey (night/day) and the type of traffic (dense/thin) for urban, suburban and rural areas. As in the case of the external cost of local air pollution, also the Noise external cost is higher in dense populated areas.

Table 8 – External cost per air pollutant (€/g)

Air Pollutant	WtT	TtW
NOX	0.01	0.01
SOX	0.01	0.01
PM rural	0.12	0.12
PM urban	0.21	0.21
PM metropolitan	0.65	0.65
CO2	0.000093	0.000093

Source: DG MOVE (2015) and Rusich, Danielis (2015)

⁷ DG MOVE (2015), “State of the Art on Alternative Fuels Transport Systems in the European Union – Final Report”.

Finally, the report of the assumptions adopted in the car models' SLC estimation: a mobility pattern of 10 years of usage, 80% urban trips and a varying number of km/year driven (5,000; 10,000; 15,000; 20,000; 25,000).

Table 9 reports the result of the SLC comparison between the “conventional” powertrains and the “alternative” ones. EVs result the optimal choice thanks to, firstly, no tailpipe emissions in the TtW phase and, secondly, to the absence of combustion in the electric engine that eliminates the production of noise during the use phase. The social impact of EVs varies between 297€ when 5,000 km/year are driven and 1,487€ when 25,000 km/year are covered.

Table 9 – Social Lifecycle Cost of car models with “conventional” and “alternative” powertrains considered in the case study

Powertrain	Social Lifecycle Cost (€) for 10 years of use and varying km/year driven				
	5000	10,000	15,000	20,000	25,000
Gasoline	993	1,986	2,979	3,973	4,966
Diesel	881	1,763	2,644	3,526	4,407
Gasoline HEV	719	1,438	2,156	2,875	3,594
Diesel HEV	705	1,410	2,115	2,820	3,525
EV	398	796	1,194	1,592	1,990
PHEV	517	1,034	1,551	2,068	2,585

The SLC performance of PHEVs is very close to the EVs ones, because PHEVs driving cycles use mainly the electric powertrain, leaving to the combustion engine only the function to extend the total range without the requirement of a refuelling operation. The SLC difference between PHEVs and EVs is estimated to vary between 86€ when 5,000 km/year are driven and 429€ when 25,000 km/year are covered.

The hybridisation of gasoline and diesel engines (gasoline and diesel HEVs) allows a reduction of the “conventional” powertrains inefficiencies, producing benefits in terms of fuel consumption and the related pollutant emissions, not in a way comparable to PHEVs and EVs. The reason is that in mild hybrid and full hybrid configurations the electric engine is used to support the conventional one in start and stop operations, in acceleration operations and, in the case of full hybrid car models, in full electric short trips.

In respect to the optimal choice, the SLC of HEVs is estimated higher of about 223€ when 5,000 km/year are driven and increases reaching the 1,113€ when 25,000 km/year are covered. Diesel HEVs have a similar trend: the SLC is estimated to be higher than the one of EVs of about 235€ when 5,000 km/year are driven and increases reaching the 1,176€ when 25,000 km/year are covered.

Considering “conventional” powertrains, the SLC of diesel cars is better than the gasoline ones. Diesel car models are estimated to be cheaper of about 51€ when 5,000 km/year and 203€ when 25,000 km/year are covered. If the SLC difference with EVs is considered, the gasoline car models are estimated to have an increased environmental impact of about 429€ when 5,000 km/year are driven and 2,145€ when 25,000 km/year are covered. About diesel car models, they are estimated to range from a value of 378€ when 5,000 km/year are driven to a value of 1,891€ when 25,000 km/year are covered. The explanation is that EVs have a simplified technical structure that avoids energy losses in the car use stage (TtW), that means reduced fuel consumption and related local and global pollutants emissions. In

addition, as described in the previous lines, EVs produce less noise in the TtW stage than “conventional” powertrains thanks to the absence of combustion in the engine. Table 10 reports the difference in terms of SLC between the optimal choice and the other powertrains considered in the case study.

Table 10 – SLC difference (€) for 10 years of use and varying km/year driven

Powertrain	Social Lifecycle Cost (€) for 10 years of use and varying km/year driven				
	5000	10,000	15,000	20,000	25,000
Gasoline	595	1,190	1,785	2,380	2,976
Diesel	483	967	1,450	1,933	2,417
Gasoline HEV	321	642	962	1,283	1,604
Diesel HEV	307	614	921	1,228	1,535
EV	0	0	0	0	0
PHEV	119	238	357	476	595

4 CONCLUSIONS

After the emission of the Directive EC n. 443/2009 car manufacturers have started to supply car models with “alternative” powertrains in respect to the “conventional” gasoline and diesel. These new technologies are supposed to guarantee an increased powertrain lifecycle energy efficiency (WtW) with a related reduction of global air pollution, local air pollution and noise external costs. In particular, vehicles with a different level of electrification seem to be the most promising to target these goals, thanks to a technical structure able to optimise and reduce the inefficiencies of the “conventional” powertrains. Nonetheless, the car market shares of the first ten months of 2015 show that electrified vehicles represent a contained percentage of the new registered cars: 1.5% HEVs, 0.1% EVs (UNRAE, 2015).

Firstly, this data can be explained by the absence of public subsidies for HEVs, PHEVs and EVs able to reduce their purchase prices and consequently to increase customers demand.

Secondly, gasoline HEVs, diesel HEVs, PHEVs and EVs are estimated to have, in general, a TCO higher than the one related to conventional car models. The purchase price gap is so significant that the reduced operating costs (deriving by the hybridisation or electrification of the powertrain) are not sufficient to recover it if less intensive mobility patterns are considered. In market segment A-B, the electric with battery ownership VW E-Up represents a suboptimal solution in respect to the gasoline Fiat Panda Easy in case of 10 years of use and more than 20,000 kilometres per year are driven. In market segment C-D, the electric with battery ownership Nissan Leaf represents a suboptimal solution in respect to the gasoline Fiat Punto Twinair if 10 years of use and more than 20,000 kilometres per year are driven. In market segment E-F, characterized by a high purchase prices variability of all the powertrains, the gasoline HEV Lexus CT represents the optimal choice up to 15,000 km/year driven while the electric with battery ownership Mercedes Benz Class B has the lowest TCO if 20,000 km/year or more distances are covered. The TCO assessment results remain almost unvaried also if increased conventional fuels prices are taken as a reference in the case study. More in detail, in correspondence of the gasoline and diesel fuel prices of June 2014, the month in which the oil market price has reached the highest level in the last two years, the gap between the annual operating costs of “conventional” and “alternative” car models

expands as much as the level of electrification increase. Anyway, the higher EVs fuel savings are not sufficient to change the optimal car model choice in the market segments considered in the case study.

By a SLC perspective, an subsidy provided by Public Authorities directed to HEVs, PHEVs and EVs should be justified because all these powertrains allow a social cost reduction in respect to the gasoline and diesel ones. In particular, if 80% of urban trips, 10 years of usage and the EU28 energy mix 2010 are assumed, the EVs perform as the best: they are estimated to have a SLC lower than the gasoline car models of about 429€ when 5,000 km/year are driven and 2,145€ when 25,000 km/year are covered. If diesel car models are considered, EVs models are estimated to pass from a value of 378€ when 5,000 km/year are driven to a value of 1,891€ when 25,000 km/year are covered. The SLC assessment should evidence higher EVs benefits if a more carbon intensive energy mix or a mobility pattern with a higher percentage of metropolitan or urban trips are assumed.

References

- DANIELIS, R., (2001) “La teoria economica e la stima dei costi esterni dei trasporti”, *Working Paper 079*, University of Trieste and ISTIEE, Trieste, IT.
- DG MOVE, (2015) “State of the Art on Alternative Fuels Transport Systems in the European Union – Final Report”, July 2015.
- HAWKINS, T.R., GAUSEN, O.M., & STRØMMAN, A.H. (2012). Environmental impacts of hybrid and electric vehicles e a review. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 17, 997-1014.
- JRC, (2011) “Well-to-wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context – APPENDIX 2 WTW GHG-Emissions of Externally Chargeable Electric Vehicles”, JRC Scientific and Technical Reports, Luxemburg.
- MASSIANI, J., & WEINMANN, J. (2012). Estimating electric car’s emissions in Germany: an analysis through a pivotal marginal method and comparison with other methods. *Economics and Policy of Energy and the Environment*, 2, 131-155 (ISSN 2280-7659).
- RICARDO-AEA, (2014) “Update of the Handbook on External Costs of Transport – Final Report”, Report for the European Commission DG-MOVE Ricardo AEA/R/ ED57769, Issue Number 1.
- RUSICH, A., DANIELIS, R. (2015) “Total cost of ownership, social lifecycle cost and energy consumption of various automotive technologies in Italy”, *Research in Transportation Economics* 50 (2015), pp. 1-14.

WEBSITES

- Automobile Club d’Italia: http://www.aci.it/fileadmin/documenti/servizi_online/Costi_chilometrici/PrezziCarburantiWeb_2015_11_02.pdf
- European Commission: http://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php/Greenhouse_gas_emission_statistics
- European Commission: <http://eur-x.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32009R0443:IT:NOT>
- Unione Nazionale Rappresentanti Autoveicoli Esteri: <http://www.unrae.it/dati-statistici/immatricolazioni/3216/struttura-del-mercato-ottobre-2015>
- Quattroruote: <http://www.quattroruote.it/>

Hierarchical Bayes Mixed logit modelling for purchase car behaviour

GAETANO CARMECIⁱ, EVA VALERI^{ii,*}

ⁱ DEAMS, Università di Trieste

ⁱⁱ European Commission, Joint Research Centre (JRC), Institute for Prospective Technological Studies (IPTS), Economics of Climate Change, Energy and Transport Unit, Edificio Expo. C/Inca Garcilaso 3, 41092 Seville

1. INTRODUCTION

Modelling car purchase decisions using discrete choice models (DCMs) has a long tradition. However, with the progress obtained with the electrification process of the conventional cars new interesting changes appear in the European market.

Hybrid, plug-in and battery electric vehicles are the new entrants in the car market with gradually growing market shares, and with the hydrogen fuel cell vehicles in the process of going from the concept stage to the manufacturing one. All these engine technologies, together with the already existing Compressed Natural Gas vehicles (bi-fuel CNGVs) and Liquefied Petroleum Gas Vehicles (bi-fuel LPGVs) ones, are what is called as Alternative Fuel Vehicles (AFVs).

Achieving substantial market penetration of AFVs requires large investments in infrastructure for cars and fuels production, and an expansion of the network of refuelling facilities (MacLean et al., 2004). So, an urgent challenge is to evaluate the willingness of individuals to adopt, buy and use low-emission cars, and their preferences towards specific car features (e.g. car size, refuelling distance, purchase price). This is important not only for both car producers and manufacturers and, more in general, the automotive sector, in guiding their car design developments, but also for policy makers, to implement suitable policy measures aimed to efficiently promote AFVs' expansion. Wider use of AFVs requires an improved understanding of consumer needs, attitudes and desires, as well as consumer willingness to change vehicle purchase and travel behaviour. In this direction, recently the European Commission funded the *Green eMotion*¹ project with the aim of: setting a framework for pan-European interoperable

* The views expressed are purely those of the author and may not in any circumstances be regarded as stating an official position of the European Commission

¹ The *Green eMotion* project was officially launched by Siim Kallas, Vice President of the European Commission and Commissioner for Transport, at a high-level kick-off meeting in Brussels on 31st of March 2011. The project had a total budget of €42 million and was funded by the European Commission with €24 million.

electromobility which is commonly accepted, user-friendly and scalable; integrating smart grid developments, innovative ICT solutions and different types of EUs various urban mobility concepts; enabling an European wide market place for electromobility to allow for roaming; and, providing a unique knowledge base. The project was also aimed to estimate demand models to contribute understanding the reasons for the low penetration of the electric vehicles in three different countries in order to provide recommendations on how to boost the potential demand for electric vehicles (Cherchi et al., 2015).

Compared with other neighbouring countries, Italy appears to be lagging behind in the penetration of the AFVs, though having high air and noise pollution levels (with daily limits frequently overcome in the most industrialized regions), a strong economic dependence from oil imports, the highest index of motorization in the world after USA (60 million of people, 37 million of passenger cars). Only bi-fuel CNGVs and bi-fuel LPGVs have recently gained relevant market shares in some regions of the country. Consumer willingness to change travel behaviour and accept different types of vehicles and driving patterns is an important area of uncertainty (IEA, 2011). Public acceptance of AFVs is a key factor determining the ultimate success/failure of their technologies. On this, Valeri and Danielis (2015) calibrating a mixed error component logit model estimated the potential market shares of AFVs based on stated preference car choice data, and using a Monte Carlo simulation model, they evaluated under different scenarios, the Italians' reactions of potential policy measures aimed to boost the AFVs' diffusion. Cherchi et al. (2015) estimating hybrid choice models investigated the role of individuals' attitudes (such as environmental concern, technological interest and appreciation car feature, scepticism, and pro-environmental attitude) on car purchase decisions.

In this paper, we estimate Mixed Logit models under a Bayesian Hierarchical framework (called, HBML model). Our model permits us to take account of possible dependence of the car attribute random parameters on individual characteristics, like e.g. age and gender. Moreover, alternative-specific parameters and correlation across alternatives can be added straightforwardly to the model. Given the complexity of the models employed, the standard approach to obtain an approximation of the joint posterior distribution of both the model parameters and hyper-parameters is to use MCMC methods. The most commonly used are the Gibbs sampler and the Metropolis-Hastings (M-H) algorithm (as done for instance by Train 2002, Daziano 2015, Scaccia and Marcucci 2010). These methods, particularly Gibbs sampler, however, tend to be highly inefficient when applied to non-linear and hierarchical models as our HBML model. As a result, a huge number of sweeps of the MCMC algorithm is required to obtain a reliable approximation of the joint posterior distribution and marginals. To our knowledge, in the field of purchase behaviour for conventional and alternative fuel cars, this paper uses for the first time an alternative approach to Gibbs sampler and M-H algorithm, based on Hamiltonian Monte Carlo (HMC) methods (Duane et al., 1987; Neal, 1994, 2011). The HMC sampler accelerates both the convergence to the stationary distribution and the subsequent parameter exploration by exploiting the information coming from the gradient of the log probability function. Using a novel package of the R software, called *rstan*, we specify and estimate three flexible random parameter logit models through which we show individuals' sensitivity towards the tested attributes.

The paper is organised as follows: a synthetic review of the car purchase literature is presented in Section 2; the Stated Preference (SP) experiment and the methodology used are described in Section 3, while the econometric results are reported and discussed in Section 4. Section 5 proposes conclusions and future extensions.

2. LITERATURE REVIEW OF CAR CHOICE

The first Bayesian applications to DCMs appeared at the beginning of the early nineties, applying the Bayesian approach to the conditional and nested logit models (Koop, Poirier, 1993, Poirier, 1996), using

the Gibbs sampler (Gelfand, Smith, 1990) and data augmentation to perform Bayesian inference for the MNL probit model (Tanner, Wong, 1987) and binary and ordered choice models (Albert, Chib, 1993)².

Table 1 shows an overview of Bayesian DCM applications in the car choice literature.

Daziano and colleagues analysed Canadian consumers' choices for AFVs estimating hybrid choice models with a Bayesian approach (Daziano 2010, 2015, Daziano, Bolduc 2009, 2013a, 2013b). Using data from a survey conducted in 2002 by the Energy and Materials Research Group, Simon Fraser University (EMRG) and modelling the data in R language, they performed hybrid Kernel Gibbs models (Daziano 2010), to explain environmental preferences in a private vehicle choice context. Overall, they found that the latent variable of the environmental concern enters very significantly and positively into the choice model specification. In fact, reporting the highest effect for the hydrogen fuel cell vehicles, followed by AFVs, and then by hybrid vehicles, the environmental concern boosts the choice of alternative fuel technologies. Recently, Daziano (2015) implemented a structural choice model with a multinomial probit kernel and discrete effect indicators to study continuous latent segments of travel behavior and designing a vehicle purchase model. Exploiting five underlying latent attitudes to determine segments of pro-transit, pro-environment, pro-safety, cost-conscious, and pro-performance consumers, he found interesting results such as cost-conscious consumers appear as having a continuous sensitivity to changes in travel and fuel costs. This pattern of valuation of changes in fuel costs are reflected in an implicit discount rate of future energy savings – which is a measure of the energy paradox – that slightly increases with income. In addition, consumers that appreciate safety exhibit a lower probability of choosing not only hydrogen cars, but also hybrids.

Using 2002-2006 new midsize sedan aggregate sales data in US, Haaf (2014) applied a Bayesian approach to different Mixed Logit (ML) models (correlated mixed logit versus independent mixed logit) to calibrate private vehicles' market shares in a Matlab environment. The Bayesian estimation allowed having better select ASC forecasting method, considering them as model parameters (draws of predicted ASCs are made jointly with observed coefficient draws). He found that concerning estimate uncertainty, the share uncertainty from predictive ASCs is greater than uncertainty from observed coefficients.

Table 1 - Literature review of Bayesian DCM studies applied to the car choice

Authors	Year	Study context	Document type	Data type	Model type	Estimator type	Forecasting analysis	Software
Daziano, Bolduc	2009	Canada	Conference paper	SP	HCM	Logit mixture kernel	Yes	R
Daziano	2010	Canada	PhD thesis	SP	MNL, HCM	Gibbs sampler, discrete choice kernel	Yes	R
Daziano, Bolduc	2013a	Canada	Journal paper	SP	HCM	Gibbs sampler	No	R
Daziano, Bolduc	2013b	Canada	Journal paper	SP	HCM	Metropolis Hastings-within-Gibbs sampler	No	R
Haaf	2014	USA	PhD thesis	RP-SP	ML	Gibbs sampler	Yes	Matlab
Daziano	2015	Canada	Journal paper	SP	HCM, probit	Kernel sampler	Yes	R

Notes: SP = Stated Preference, RP = Revealed Preference, HCM = Hybrid Choice Model, MNL = Multinomial Logit Model

² For an overview of the evolution of the Bayesian approach in the DCM literature see Brownstone (2000); and for a theoretical comparison between a hierarchical Bayes and maximum simulated likelihood for mixed logit models see Train (2001).

Overall, the literature survey reveals that at our knowledge the studies are very few and concentrated in Canada and USA. Although private car purchase choices via DCMs have a long tradition in the empirical literature around the world (e.g. Lave, Train, 1979), no studies on this specific research field with a Bayesian approach seem to be carried out in Europe and, even less, in Italy. For the latter, it seems that the studies about potential demand estimation of AFVs are carried out by Valeri and Danielis (2015) and Cherchi et al. (2015), but with the frequentist estimation approach. Moreover, all the reviewed studies are mainly concentrated on estimation of hybrid choice type of model calibrated with R software on SP data.

3. SURVEY DESIGN AND DATA

The present survey was conducted in various Italian cities (Trieste, Bologna, Pesaro), collecting randomly car purchase choices with *face-to-face* interviews in the first half of the year 2013.

The labelled choice experiments contain seven car alternatives:

- Ford Fiesta (with a Diesel engine technology),
- VW Polo (with a Gasoline engine technology),
- Fiat Punto Evo (with a Bi-fuel – CNG engine technology),
- Natural Power Alfa Romeo Mito (with a Bi-fuel – LPG engine technology),
- Toyota Yaris (with a Hybrid – Gasoline engine technology),
- Peugeot iOn (with an Electric – Owned Battery engine technology),
- Renault Zoe (with an Electric – Leased Battery engine technology) (see Table 3).

These specific cars were chosen because they are very popular in Italy and representative of their fuel/powertrain technology. They all belong to the same car segment (B segment), apart from the Peugeot iOn that belongs to the A segment.

Drawing from the literature, five attributes were included in the SP choice experiments: purchase price (€), annual operating cost (gasoline, insurance, tax, maintenance) (€), acceleration (seconds), range (kilometres), and refuelling distance (kilometres).

The selected attributes were set as follows for the choice experiments:

- Purchase price: -20%, Status Quo, +20%, +40%,
- Annual operating cost: -20%, Status Quo, +20%,
- Range: Status Quo, +20%, +40%,
- Acceleration: Status Quo, -10%, -20%, and
- Refuelling distance: Gasoline, Diesel and Hybrid cars (1 km, 5km, 10km); CNG and LPG cars (5km, 20km, 50km) and Electric cars (0km, 5km, 10km).

The Status Quo attributes for each car were set equal to the Italian average values as shown in Table 2. The purchase price is the prevailing market price in Italy in 2013. The annual operating cost is calculated by Rusich and Danielis (2013) assuming an annual driving distance of 10,000 km. The range and acceleration are the ones reported by the car manufacturers. The refuelling distance is estimated based on the current Italian fuel distribution network.

An efficient experimental design strategy was used with four waves in order to minimize the asymptotic standard error (e.g. Bliemer & Rose, 2010, 2011).

Due to time and budget constraints only 121 interviews could be collected in the first semester of the year 2013. Although the sample size is admittedly small, we decided not to carry out other interviews in 2013 and to devote more resources for the next years as new AFVs enter in the Italian car market and the consumers get acquainted to the new technologies.

Table 2 – Overview of the attributes-levels

Type of engine technology:	Purchase price	Annual operating cost	Range	Acceleration	Refuelling distance
	€	€	km	0-100 km in sec.	km
VW Polo (Gasoline):	11,900	2,081	900	13	1
Ford Fiesta (Diesel):	14,000	1,894	980	15	1
Fiat Punto Evo (Bi-fuel - CNG):	15,425	1,757	800	15	5
Natural Power Alfa Romeo Mito (Bi-fuel - LPG):	20,600	1,784	1,200	15	5
Toyota Yaris (Hybrid - gasoline):	18,650	1,920	1,000	13	1
Peugeot iOn (Electric – Owned Battery):	30,369	1,681	150	12	0
Renault Zoe (Electric – Leased Battery):	21,650	2,553	210	12	0

Table 3 - Choice task example

Car features:							
	Ford Fiesta (Diesel)	VW Polo (Gasoline)	Fiat Punto Evo (Bi-fuel - CNG)	Alfa Romeo Mito (Bi-fuel - LPG)	Toyota Yaris (Hybrid - gasoline)	Peugeot iOn (Electric – Own Battery)	Renault Zoe (Electric – Leased Battery)
Purchase price (€):	14,000	11,900	15,425	20,600	18,650	30,369	21,650
Range (km.):	980	900	800	1,200	1,000	150	210
Acceleration (0-100 km. in sec.):	15	13	15	15	13	12	12
Annual operating cost (€):	1,894	2,081	1,757	1,784	1,920	1,681	2,553
Refuelling (km.):	1	1	5	5	1	0	0
Which car would you buy?							

4. HIERARCHICAL BAYESIAN ML MODELLING

4.1 HBML MODELS SPECIFICATION

We estimated the following HBML model and two restricted variants of it. According to our specification, the i -th interviewee, $i=1, \dots, N$, with $N=121$, faces a choice among 7 alternatives in each of $J=12$ tasks and the person's utility from the different alternatives in the j -th choice task is:

(1)

$$\begin{aligned}
 U_{ij, \text{Gasoline.car}} &= \beta_{PP,i} \text{PurchasePrice}_{ij,G} + \beta_{AOC,i} \text{AnnualOperatingCost}_{ij,G} + \beta_{R,i} \text{Range}_{ij,G} \\
 &\quad + \beta_A \text{Acceleration}_{ij,G} + \beta_{RD} \text{RefuellingDistance}_{ij,G} + \varepsilon_{ij,G} = \eta_{ij,G} + \varepsilon_{ij,G} \\
 U_{ij, \text{Diesel.car}} &= \alpha_{D,i} + \beta_{PP,i} \text{PurchasePrice}_{ij,D} + \beta_{AOC,i} \text{AnnualOperatingCost}_{ij,D} \\
 &\quad + \beta_{R,i} \text{Range}_{ij,D} + \beta_A \text{Acceleration}_{ij,D} + \beta_{RD} \text{RefuellingDistance}_{ij,D} \\
 &\quad + c_F \text{Female}_i + c_A \text{Age}_i + \varepsilon_{ij,D} = \eta_{ij,D} + \varepsilon_{ij,D} \\
 U_{ij, \text{CNG.car}} &= \alpha_{CNG,i} + \beta_{PP,i} \text{PurchasePrice}_{ij,CNG} + \beta_{AOC,i} \text{AnnualOperatingCost}_{ij,CNG} \\
 &\quad + \beta_{R,i} \text{Range}_{ij,CNG} + \beta_A \text{Acceleration}_{ij,CNG} + \beta_{RD} \text{RefuellingDistance}_{ij,CNG} \\
 &\quad + c_F \text{Female}_i + c_A \text{Age}_i + \varepsilon_{ij,CNG} = \eta_{ij,CNG} + \varepsilon_{ij,CNG} \\
 U_{ij, \text{LPG.car}} &= \alpha_{LPG,i} + \beta_{PP,i} \text{PurchasePrice}_{ij,LPG} + \beta_{AOC,i} \text{AnnualOperatingCost}_{ij,LPG} \\
 &\quad + \beta_{R,i} \text{Range}_{ij,LPG} + \beta_A \text{Acceleration}_{ij,LPG} + \beta_{RD} \text{RefuellingDistance}_{ij,LPG} \\
 &\quad + c_F \text{Female}_i + c_A \text{Age}_i + \varepsilon_{ij,LPG} = \eta_{ij,LPG} + \varepsilon_{ij,LPG} \\
 U_{ij, \text{Hybrid.car}} &= \alpha_{H,i} + \beta_{PP,i} \text{PurchasePrice}_{ij,H} + \beta_{AOC,i} \text{AnnualOperatingCost}_{ij,H} \\
 &\quad + \beta_{R,i} \text{Range}_{ij,H} + \beta_A \text{Acceleration}_{ij,H} + \beta_{RD} \text{RefuellingDistance}_{ij,H} \\
 &\quad + c_F \text{Female}_i + c_A \text{Age}_i + \varepsilon_{ij,H} = \eta_{ij,H} + \varepsilon_{ij,H} \\
 U_{ij, \text{Electric.car-owned.battery}} &= \alpha_{E-ob,i} + \beta_{PP,i} \text{PurchasePrice}_{ij,E-ob} + \beta_{AOC,i} \text{AnnualOperatingCost}_{ij,E-ob} \\
 &\quad + \beta_{RE} \text{Range}_{ij,E-ob} + \beta_A \text{Acceleration}_{ij,E-ob} + \beta_{RD} \text{RefuellingDistance}_{ij,E-ob} \\
 &\quad + c_F \text{Female}_i + c_A \text{Age}_i + \varepsilon_{ij,E-ob} = \eta_{ij,E-ob} + \varepsilon_{ij,E-ob} \\
 U_{ij, \text{Electric.car-leased.battery}} &= \alpha_{E-lb,i} + \beta_{PP,i} \text{PurchasePrice}_{ij,E-lb} + \beta_{AOC,i} \text{AnnualOperatingCost}_{ij,E-lb} \\
 &\quad + \beta_{RE} \text{Range}_{ij,E-lb} + \beta_A \text{Acceleration}_{ij,E-lb} + \beta_{RD} \text{RefuellingDistance}_{ij,E-lb} \\
 &\quad + c_F \text{Female}_i + c_A \text{Age}_i + \varepsilon_{ij,E-lb} = \eta_{ij,E-lb} + \varepsilon_{ij,E-lb}
 \end{aligned}$$

where $\varepsilon_{ij,a} \sim i.i.d.$ extreme value, $\forall i=1, \dots, N, \forall j=1, \dots, J, \forall a \in \Omega$, with $\Omega = \{G, D, CNG, LPG, H, E-ob, E-lb\}$, and $\eta_{ij,a}$ represents the predicted utility of alternative a . Let $y_i = (y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{iJ})$ be the interviewee's sequence of choices over the J

tasks, made under the assumption that the interviewee i chooses alternative $a^* \in \Omega$ in choice task j if $U_{ij,a^*} > U_{ij,a}, \forall a \neq a^*$. The likelihood for the entire sample $y = (y_1', \dots, y_N')$ of the fixed and random parameters entering the predicted utility $\eta_{ij,a}, \forall a \in \Omega$, can be written as follows:

$$(2) \quad L(\lambda, \theta | y) = \prod_{i=1}^N L(\lambda, \theta_i | y_i)$$

where the vector λ contains all the fixed parameters, $\theta = (\theta_1', \dots, \theta_i', \dots, \theta_N')$, with vector θ_i , $\forall i = 1, \dots, N$, containing the random parameters characterizing the utility of i -th person, and $L(\lambda, \theta_i | y_i)$ is the product over the J tasks of standard logit formulas:

$$(3) \quad L(\lambda, \theta_i | y_i) = \prod_{j=1}^J \frac{e^{\eta_{ij,y_{ij}}}}{\sum_{a \in \Omega} e^{\eta_{ij,a}}}$$

The HBML model is completed by specifying a hierarchical prior for the parameters. We assume that the random parameters on the car attributes Purchase Price, Annual Operating Cost and Range for non-Electric car are all linearly affected by the individual's gender and age³:

$$(4) \quad \begin{aligned} \beta_{PP,i} &= d_{0,PP} + d_{1,PP}Female_i + d_{2,PP}Age_i + u_{PP,i} \\ \beta_{AOC,i} &= d_{0,AOC} + d_{1,AOC}Female_i + d_{2,AOC}Age_i + u_{AOC,i} \\ \beta_{R,i} &= d_{0,R} + d_{1,R}Female_i + d_{2,R}Age_i + u_{R,i} \end{aligned}$$

where the error terms are mutually independent with $u_{PP,i} \sim i.i.d.N(0; \sigma_{PP}^2)$, $u_{AOC,i} \sim i.i.d.N(0; \sigma_{AOC}^2)$ and $u_{R,i} \sim i.i.d.N(0; \sigma_R^2)$. The hyper-parameters $d_{0,PP}, d_{1,PP}, d_{2,PP}, d_{0,AOC}, d_{1,AOC}, d_{2,AOC}, d_{0,R}, d_{1,R}$ and $d_{2,R}$ are assumed to be independently and identically distributed $N(0; 5^2)$. The error standard deviations, σ_{PP} , σ_{AOC} and σ_R , are assumed to be *i.i.d.* half-Cauchy (0, 2.5).

The Alternative Specific Constants (ASCs) are treated as random parameters and specified as follows:

$$(5) \quad \begin{aligned} \alpha_{D,i} | \mu_D, \sigma_D &\sim i.i.d.N(\mu_D; \sigma_D^2) \\ \alpha_{CNG,i} | \mu_{CNG}, \sigma_{CNG} &\sim i.i.d.N(\mu_{CNG}; \sigma_{CNG}^2) \\ \alpha_{LPG,i} | \mu_{LPG}, \sigma_{LPG} &\sim i.i.d.N(\mu_{LPG}; \sigma_{LPG}^2) \\ \alpha_{H,i} | \mu_H, \sigma_H &\sim i.i.d.N(\mu_H; \sigma_H^2) \\ (\alpha_{E-ob,i}, \alpha_{E-lb,i}) &\sim i.i.d.N^{(2)}((\mu_{E-ob}, \mu_{E-lb}); \Sigma_E) \end{aligned}$$

³ The variable Age is specified as a dummy variable, assuming the value one if the respondent's age is greater than 29 years and zero otherwise.

Besides the Electric car constants that are assumed to be correlated, i.e. Σ_E is assumed to be not diagonal, all the other ASCs' are mutually independent. The prior distribution for the means $\mu_a, a \in \Omega$, standard deviations, $\sigma_D, \sigma_{CNG}, \sigma_{LPG}$, and σ_H , and covariance matrix Σ_E , are independent and we assume that the means are identically distributed $N(0; 5^2)$. The covariance matrix Σ_E has an Inverse Wishart prior distribution with 6 d.f. and scale matrix $100I_2$, whereas the standard deviations are assumed to be *i.i.d.* half-Cauchy (0; 2.5). Finally, the fixed parameters are assumed to follow the independent prior distributions:

$$(6) \quad \begin{aligned} \beta_A &\sim N(0; 10^2) \\ \beta_{RD} &\sim N(0; 10^2) \\ \beta_{RE} &\sim N(0; 10^2) \\ c_F &\sim N(0; 10^2) \\ c_A &\sim N(0; 10^2) \end{aligned}$$

The above model is labelled Model 2 and its estimation results are reported in Table 5. We also estimated two restricted versions of Model 2. In Model 1, we restricted the random parameters of the car attributes Purchase Price, Annual Operating Cost and Range of non-Electric car to be *i.i.d.* in the population, i.e. they were assumed to be no more dependent on the individual's gender and age. Therefore for this model in eq. (4) we set $d_{1,PP} = d_{2,PP} = 0, d_{1,AOC} = d_{2,AOC} = 0$ and $d_{1,R} = d_{2,R} = 0$. Moreover, the Electric ASC's were assumed to be independent, i.e. Σ_E was specified as a diagonal matrix, so that the Inverse Wishart prior distribution was replaced by two *i.i.d.* half-Cauchy (0; 2.5) priors for the standard deviations, σ_{E-ob} and σ_{E-lb} . The estimation results are reported in Table 4.

As Model 1, our preferred model, labelled Model 3, has the random parameters on the car attributes Purchase Price, Annual Operating Cost and Range of non-Electric car specified as *i.i.d.* in the population. However, like Model 2, we assumed the Electric ASCs' to be correlated. Moreover, we imposed the restriction that the two electric means were the same and equal to μ_E : $\mu_{E-ob} = \mu_{E-lb} = \mu_E$ (see Table 6 for the estimation results).

4.2 COMPUTATIONAL IMPLEMENTATION

Given the complexity of the models we presented, the standard approach to obtain an approximation of the joint posterior distribution of both parameters and hyper-parameters is to use MCMC methods. The most commonly used are the Gibbs sampler and the M-H algorithm (as done for instance by Train 2002, Scaccia and Marcucci 2010, Daziano 2015). These methods, particularly Gibbs sampler, however, tend to be highly inefficient when applied to non-linear and hierarchical models as our HBML model. As a result, a huge number of sweeps of the MCMC algorithm is required to obtain a reliable approximation of the joint posterior distribution and marginals. Of course, also the size of the burn-in sample has to be carefully monitored in order to avoid using draws from the transient phase of the Markov Chain. To our knowledge, in the field of purchase

behaviour for conventional and alternative fuel cars, this paper uses for the first time an alternative approach to Gibbs sampler and M-H algorithm, based on HMC methods (Duane et al., 1987; Neal, 1994, 2011). The HMC sampler accelerates both convergence to the stationary distribution and subsequent parameter exploration by using the gradient of the log probability function in the *leapfrog* algorithm. Recently, these methods have been implemented by Andrew Gelman, Bob Carpenter and a group of researchers (see <http://mc-stan.org/team/> for the all list) in a novel package of the R software (called *rstan*) (The Stan Development Team 2014, 2015). HMC methods have the ability to overcome some of the problems inherent in Gibbs sampling.

More specifically, the HMC methods implemented in Rstan use the No-U-Turn (NUTS) sampler (see Hoffman and Gelman, 2011, 2012, 2014). This sampler demonstrated to be able to efficiently solve the problem of tuning parameter of steps, a problem afflicting previous HMC algorithms. In fact, the Hamiltonian dynamics simulation requires not only the gradient of the log posterior but also two tuning parameters, the step size and the number of steps; moreover, it is very sensitive to how they are set. The step size parameter can be tuned during warmup based on Metropolis rejection rates, but the number of steps is not so easy to tune while maintaining detailed balance in the sampler. The NUTS sampler solves this problem by taking an ever increasing number of steps until the direction of the simulation turns around, then uses slice sampling to select a point on the simulated trajectory. While implemented HMC methods are more numerically intensive than Gibbs sampler and M-H algorithm (with a slow running time), they are highly more efficient. In our application, we obtained convergence after only 1,000 warmup draws and high values for the effective sample size of parameters.

4.3 THE HBML ESTIMATION RESULTS

In this section we report the results of the estimated models using *rstan* package (version 2.8.0) with R (version 3.2.2), based on the simulations of four mutually independent parallel chains, each one of length 4,000. We cautiously discarded the first 2,000 draws from each sample as burn-in period and retained the subsequent 2,000 draws, so that a total number of 8,000 draws were used for estimation.

As described in section 4.1, we estimated three HBML models (see Table 4, Table 5, and Table 6). Table 7 (in Annex) reports a brief description of the estimated parameters.

The content of each table is structured as follows: the second column, named *mean*, contains the MCMC estimates of the marginal posterior means for the parameters of interest, computed as the average of the saved simulations (i.e. the remaining simulations after warmup); while in the column *se_mean* the standard error of the MCMC estimator of the mean is reported (i.e. the precision of the estimated mean). The column named *sd* shows the MCMC estimate of the standard deviation of the posterior marginal distribution for the parameters of interest. Also the following estimated quantiles of the marginal posterior distribution are reported: 2.5%, 25%, 50%, 75%, and 97.5%. The effective sample size, reported as *n_eff*, represents a measure of the autocorrelation found in the Monte Carlo Markov chains. Without autocorrelation, the effective sample size is equal to the total number of simulated values for each parameter after warmup, i.e. the sample size; with autocorrelation, *n_eff* will be lower than the sample size. The larger the autocorrelation is, the lower the effective sample size will be, so that the ratio, *n_eff* over the sample size, measures the degree of mixing of Markov chains. The last column, *Rhat*, contains a statistic for assessing convergence of the chains to the

same stationary distribution. Its value should be close to 1.0 when the chains have all converged to the same stationary distribution.

As described in section 4.1, the first model we estimated, called Model 1, corresponds to a standard random parameters mixed logit model. We set individual-specific random parameters for Purchase Price, Annual Operating Cost and Range of non-Electric car attributes. Individuals' socio-economic variables (female and age of respondents) enter as fixed parameters as well as the remaining attributes (Acceleration time, Refuelling Distance and Range of electric car). All random parameters (for both ASCs and slopes) are assumed to be *i.i.d.* Normally distributed in the population as well as mutually independent.

Results in Table 4 show that the sign of the population average effects of the car attributes, Purchase Price (-), Annual Operating Cost (-) and Range of non-Electric car (+), are in line with theory and significant⁴ at 5% (see results for $d_{0,PP}$, $d_{0,AOC}$ and $d_{0,R}$). Moreover, as expected, for the two Electric cars alternatives the attribute Range has not only a positive and significant effect on their choice (see β_{RE}), but also the magnitude of the estimated mean is more than six times the magnitude for non-Electric cars (see the mean of $d_{0,R}$).

From Table 4, we can see that Refuelling Distance affects car choice both negatively and significantly: the posterior probability that β_{RD} is inside the (-0.03,-0.01) interval is equal to 0.95 while the posterior mean is -0.01. The only car attribute turning out to be not significant at 5% is Acceleration, although the posterior mean as expected is positive. All the aforementioned results are in line with the previous ones (Valeri, Danielis, 2015).

Individuals' socio-economic variables affect car choices of AFVs. Given the negativity and significance of the c_F posterior mean, it turns out that females tend to prefer the gasoline car alternative, holding other things constant, including age.

The sign of the relationship is reversed as far as the respondent's age is concerned: the posterior mean of c_A results to be 0.52 but slightly insignificant at 5%.

Controlling for these socio-economic effects, only the population means of ASCs for the two electric car alternatives turn out to be highly significant. With reference to the Gasoline car alternative, their population average effects are negative and their magnitudes dominate the other ASCs. Finally, their population means look very similar.

We considered two extensions of Model 1 along the following lines:

- i) The individual-specific random parameters of the car attributes Purchase Price, Annual Operating Cost and Range of non-Electric car are assumed to be no more *i.i.d.* in the population, but dependent on both the gender and age of the respondent;
- ii) The two ASCs of the Electric car alternatives are assumed to be correlated in the population.

Moreover, on the base of Model 1's results, we checked for the equality of the two population means of electric car ASCs.

The estimation results of Model 2 are reported in Table 5. Looking at the results, neither the variable female nor the age one seem to be able to explain the individual random parameters heterogeneity in the population as modelled in eq. (4). Moreover, the population covariance, $\sigma_{E-ob,E-lb}$, and the population correlation, ρ_{E_E} , of the two Electric car ASCs are both positive

⁴ Given that the value zero is outside the reported 95% probability interval, computed from the approximated marginal posterior density.

and near significantly different from zero at 5%. Finally, the difference between their population means, $diff_ \mu_E$, is not significant at 5%.

Therefore, we estimated a third model, named Model 3, for which we set a common mean for the two ASCs of the Electric car alternatives and removed all the socio-economic interactions with the random parameters.

As we can see from Table 6, the common population mean of the two Electric car ASCs is negative and highly significant. As in Model 2, the population correlation coefficient is positive and near significant at 5%.

From a qualitatively viewpoint, all others results analysed above in depth, when commenting the results of Model 1, continue to be confirmed also by the other two models (Model 2 and 3).

5. SUMMARY AND FUTURE EXTENSIONS

In this paper, we analysed the purchase behaviour for conventional and alternative fuel cars, using Italian stated preference discrete choice data, and we proposed modelling Multinomial Logit models under a Bayesian hierarchical framework. We specified a flexible Hierarchical Bayesian Mixed Logit model that permit us to take account of possible dependence of the car attribute random parameters on individual socio-economic characteristics, like age and gender. Moreover, alternative-specific and/or common parameters, as well as correlation across alternatives are easily included in the model. Instead of relying on traditional Gibbs Sampler or Metropolis-Hastings algorithm, we proposed for the first time in the field of purchase behaviour for conventional and alternative fuel cars, to use Hamiltonian Monte Carlo methods (Duane et al., 1987; Neal, 1994, 2011). The HMC sampler is more efficient than traditional MCMC methods, since it accelerates both convergence to the stationary distribution and subsequent parameter exploration by exploiting information coming from the gradient of the log probability function. We have thoroughly shown in the empirical application the usefulness of the proposed method.

In this first study, we assumed the normality of the population density of the random parameters. However, as a future extension we would like to consider discrete mixtures of normals (or other continuous distributions) for modelling the density of the random parameters, as done by Scaccia and Marcucci (2010) for public transport demand.

Table 4 – Results of the Model 1

Parameters	mean	se_mean	sd	2.5%	25%	50%	75%	97.5%	n_eff	Rhat
μ_D	0.43	0.01	0.25	-0.05	0.25	0.42	0.6	0.92	391	1
μ_{CNG}	0.24	0.01	0.27	-0.28	0.05	0.24	0.43	0.77	475	1
μ_{LPG}	-0.05	0.02	0.43	-0.91	-0.33	-0.03	0.25	0.76	541	1
μ_H	0.07	0.01	0.27	-0.47	-0.1	0.07	0.25	0.59	430	1
μ_{E-ob}	-2.35	0.07	0.84	-4.07	-2.92	-2.32	-1.76	-0.78	149	1.02
μ_{E-lb}	-2.2	0.1	1.05	-4.27	-2.89	-2.16	-1.48	-0.18	109	1.02
σ_D	1.13	0.01	0.17	0.81	1.01	1.13	1.24	1.49	902	1
σ_{CNG}	1.29	0.01	0.21	0.89	1.15	1.29	1.43	1.73	772	1.01
σ_{LPG}	2.2	0.02	0.41	1.49	1.92	2.17	2.45	3.09	601	1
σ_H	1.42	0.01	0.21	1.04	1.28	1.41	1.55	1.86	1162	1
σ_{E-ob}	2.08	0.04	0.59	0.97	1.68	2.05	2.44	3.3	257	1.01
σ_{E-lb}	1.67	0.03	0.5	0.82	1.3	1.62	1.98	2.77	241	1.02
$d_{0,PP}$	-0.42	0	0.03	-0.49	-0.44	-0.42	-0.4	-0.35	1641	1
$d_{0,AOC}$	-2.62	0.01	0.26	-3.15	-2.79	-2.62	-2.45	-2.11	1758	1
$d_{0,R}$	1.28	0.02	0.43	0.45	0.99	1.28	1.57	2.14	361	1
σ_{PP}	0.28	0	0.03	0.22	0.25	0.27	0.3	0.34	1268	1
σ_{AOC}	2.27	0.01	0.24	1.84	2.1	2.25	2.42	2.78	1423	1
σ_R	2.01	0.02	0.37	1.31	1.76	2	2.24	2.74	383	1
β_A	0.03	0	0.03	-0.03	0.01	0.03	0.05	0.09	1992	1
β_{RD}	-0.02	0	0	-0.03	-0.02	-0.02	-0.02	-0.01	8000	1
β_{RE}	7.43	0.25	3.42	0.96	5.11	7.42	9.68	14.29	186	1.01
c_A	0.52	0.01	0.28	-0.02	0.33	0.53	0.72	1.08	869	1
c_F	-0.84	0.01	0.29	-1.41	-1.04	-0.84	-0.64	-0.29	886	1

Table 5 – Results of the Model 2

Parameters	mean	se_mean	sd	2.5%	25%	50%	75%	97.5%	n_eff	Rhat
μ_D	0.44	0.01	0.25	-0.05	0.28	0.45	0.61	0.92	567	1.01
μ_{CNG}	0.24	0.01	0.27	-0.31	0.06	0.24	0.42	0.76	657	1
μ_{LPG}	0.04	0.02	0.43	-0.87	-0.23	0.06	0.34	0.85	533	1.01
μ_H	0.06	0.01	0.27	-0.47	-0.12	0.06	0.24	0.59	593	1
σ_D	1.15	0.01	0.18	0.83	1.03	1.14	1.26	1.51	962	1
σ_{CNG}	1.31	0.01	0.21	0.93	1.16	1.3	1.45	1.74	1133	1
σ_{LPG}	2.07	0.02	0.41	1.32	1.79	2.04	2.32	2.96	599	1.01
σ_H	1.48	0.01	0.21	1.1	1.33	1.47	1.61	1.91	1228	1
μ_{E-ob}	-2.97	0.06	0.97	-4.93	-3.63	-2.93	-2.29	-1.21	260	1.02
μ_{E-lb}	-3.05	0.07	1.15	-5.4	-3.79	-3.01	-2.26	-0.92	246	1.02
σ^2_{E-ob}	11.96	0.16	4.02	6.16	9.11	11.28	14	21.64	606	1.01
σ_{E-lb}	3.87	0.1	2.49	-0.18	2.16	3.56	5.23	9.72	662	1
$\sigma_{E-ob, E-lb}$	9.74	0.13	3.08	5.22	7.59	9.27	11.34	17.09	586	1.01
$d_{2,PP}$	-0.01	0	0.07	-0.14	-0.06	-0.01	0.04	0.13	4734	1
$d_{2,AOC}$	-0.46	0.01	0.55	-1.55	-0.82	-0.46	-0.09	0.61	5066	1
$d_{2,R}$	-0.55	0.01	0.68	-1.92	-1	-0.54	-0.09	0.76	2331	1
$d_{1,PP}$	-0.07	0	0.07	-0.21	-0.12	-0.07	-0.03	0.06	4687	1
$d_{1,AOC}$	0.1	0.01	0.53	-0.94	-0.25	0.1	0.45	1.15	4348	1
$d_{1,R}$	-0.48	0.01	0.64	-1.76	-0.9	-0.48	-0.06	0.74	2279	1
$d_{0,PP}$	-0.4	0	0.05	-0.5	-0.43	-0.4	-0.36	-0.3	3052	1
$d_{0,AOC}$	-2.63	0.01	0.42	-3.48	-2.9	-2.62	-2.35	-1.83	3085	1
$d_{0,R}$	1.73	0.02	0.56	0.65	1.35	1.72	2.11	2.84	902	1
σ_{PP}	0.29	0	0.03	0.23	0.27	0.29	0.31	0.36	1545	1
σ_{AOC}	2.41	0.01	0.25	1.96	2.24	2.4	2.58	2.95	1926	1
σ_R	2.17	0.02	0.45	1.31	1.86	2.16	2.47	3.05	593	1.01
β_A	0.03	0	0.03	-0.03	0.01	0.03	0.05	0.09	2347	1
β_{RD}	-0.02	0	0	-0.03	-0.02	-0.02	-0.02	-0.01	8000	1
β_{RE}	7.69	0.17	3.47	0.91	5.34	7.73	10	14.4	405	1.01
c_A	0.59	0.01	0.29	0.03	0.39	0.59	0.78	1.16	1205	1
c_F	-0.83	0.01	0.3	-1.42	-1.03	-0.83	-0.63	-0.25	1101	1
ρ_E	0.34	0.01	0.18	-0.03	0.23	0.36	0.47	0.65	1218	1
$diff_{\mu_E}$	0.01	0.03	0.76	-1.49	-0.49	0.01	0.51	1.48	918	1

Table 6 – Results of the Model 3

Parameters	mean	se_mean	sd	2.5%	25%	50%	75%	97.5%	n_eff	Rhat
μ_D	0.46	0.01	0.27	-0.08	0.28	0.46	0.64	0.97	353	1.01
μ_{CNG}	0.25	0.01	0.28	-0.33	0.06	0.26	0.44	0.79	446	1.01
μ_{LPG}	0.02	0.02	0.46	-0.96	-0.27	0.05	0.34	0.86	538	1
μ_H	0.08	0.01	0.29	-0.5	-0.11	0.09	0.28	0.64	394	1
σ_D	1.15	0	0.17	0.83	1.03	1.14	1.26	1.51	1251	1
σ_{CNG}	1.32	0.01	0.22	0.92	1.17	1.32	1.46	1.79	991	1
σ_{LPG}	2.13	0.02	0.42	1.41	1.83	2.09	2.39	3.01	678	1.01
σ_H	1.47	0.01	0.21	1.09	1.33	1.46	1.6	1.9	1304	1
$\mu_{E(ob&lb)}$	-3.02	0.05	0.9	-4.82	-3.61	-2.99	-2.41	-1.34	323	1.01
σ^2_{E-ob}	11.51	0.1	3.47	6.13	9.03	11.01	13.44	19.61	1118	1
$\sigma_{E-ob, E-lb}$	3.65	0.07	2.37	-0.2	2.02	3.4	4.91	9.23	1282	1
σ^2_{E-lb}	9.41	0.08	2.73	5.19	7.45	9.02	10.99	15.67	1126	1
$d_{0,PP}$	-0.43	0	0.04	-0.5	-0.45	-0.43	-0.41	-0.37	1909	1
$d_{0,AOC}$	-2.71	0.01	0.27	-3.25	-2.89	-2.71	-2.53	-2.2	2869	1
$d_{0,R}$	1.33	0.02	0.44	0.45	1.03	1.33	1.62	2.2	698	1.01
σ_{PP}	0.29	0	0.03	0.23	0.26	0.28	0.31	0.36	1525	1
σ_{AOC}	2.37	0.01	0.25	1.92	2.19	2.36	2.53	2.89	1755	1
σ_R	2.07	0.03	0.47	1.14	1.76	2.08	2.39	2.97	342	1.02
β_A	0.03	0	0.03	-0.03	0.01	0.03	0.04	0.08	4036	1
β_{RD}	-0.02	0	0	-0.03	-0.02	-0.02	-0.02	-0.01	8000	1
β_{RE}	8.12	0.15	3.29	1.86	5.85	8.03	10.33	14.65	490	1
c_A	0.53	0.01	0.29	-0.04	0.33	0.53	0.73	1.11	646	1
c_F	-0.84	0.01	0.3	-1.42	-1.04	-0.84	-0.63	-0.25	833	1
ρ_{E}	0.34	0	0.17	-0.02	0.23	0.35	0.46	0.64	1678	1

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank Prof. Romeo Danielis to put at our disposal the data collected through the research project “Un Electric Car Club for the Friuli Venezia Giulia” in which the second author was involved.

We also thank Georgios Alaveras (JRC Seville), Francesco Pauli (University of Trieste), Matilde Trevisani (University of Trieste) for their useful advices about R software, and Michael Betancourt for teaching the “Bayesian Data Analysis” training course attended by the second author at IPTS (Seville), 15-19 June 2015, and for initial hints regarding our case study.

ANNEX

Table 7 – Description of the estimated parameters

Parameter	Parameter description
μ_D	Population mean of the ASC in the Diesel car alternative
μ_{CNG}	Population mean of the ASC in the CNG car alternative
μ_{LPG}	Population mean of the ASC in the LPG car alternative
μ_H	Population mean of the ASC in the Hybrid car alternative
μ_{E-ob}	Population mean of the ASC in the Electric car (with owned battery) alternative
μ_{E-lb}	Population mean of the ASC in the Electric car (with leased battery) alternative
$\mu_{E(ob\&lb)}$	Common mean of the ASC's in the two Electric cars' alternatives
σ_D	Population Standard deviation of the ASC in the Diesel car alternative
σ_{CNG}	Population Standard deviation of the ASC in the CNG car alternative
σ_{LPG}	Population Standard deviation of the ASC in the LPG car alternative
σ_H	Population Standard deviation of the ASC in the Hybrid car alternative
σ_{E-ob}	Population Standard deviation of the ASC in the Electric car (with owned battery) alternative
σ_{E-lb}	Population Standard deviation of the ASC in the Electric car (with leased battery) alternative
σ^2_{E-ob}	Population variance of the ASC in the Electric car (with owned battery) alternative
$\sigma_{E-ob, E-lb}$	Population covariance between the ASC's in the two Electric car alternatives
σ^2_{E-lb}	Population variance of the ASC in the Electric car (with leased battery) alternative
$d_{0,PP}$	Hyper-parameter (constant term) of the hierarchical model for Purchase Price random parameter
$d_{0,AOC}$	Hyper-parameter (constant term) of the hierarchical model for the Annual Operating Cost random parameter
$d_{0,R}$	Hyper-parameter (constant term) of the hierarchical model for the Range (non-Electric cars) random parameter
$d_{1,PP}$	Hyper-parameter (Female parameter) of the hierarchical model for the Purchase Price random parameter
$d_{1,AOC}$	Hyper-parameter (Female parameter) of the hierarchical model for the Annual Operating Cost random parameter
$d_{1,R}$	Hyper-parameter (Female parameter) of the hierarchical model for the Range (non-Electric cars) random parameter
$d_{2,PP}$	Hyper-parameter (Age parameter) of the hierarchical model for the Purchase Price random parameter
$d_{2,AOC}$	Hyper-parameter (Age parameter) of the hierarchical model for the Annual Operating Cost random parameter
$d_{2,R}$	Hyper-parameter (Age parameter) of the hierarchical model for the Range (non-Electric cars) random parameter
σ_{PP}	Population Standard deviation of the Purchase Price random parameter
σ_{AOC}	Population Standard deviation of the Annual Operating Cost random parameter
σ_R	Population Standard deviation of the Range (non-Electric cars) random parameter
β_A	Acceleration parameter (fixed parameter)
β_{RD}	Refuelling Distance parameter (fixed parameter)
β_{RE}	Range (electric cars) parameter (fixed parameter)
c_A	Coefficient of the respondent's Age (1 = age>29, 0 = otherwise) variable (fixed parameter)
c_F	Coefficient of the respondent's Gender (1 = female, 0 = otherwise) variable (fixed parameter)
ρ_E	Population Correlation between the ASCs of the two Electric car alternatives
$diff-\mu_E$	Difference of the population means between the ASCs of the two Electric car alternatives

References

- ALBERT, J.H., CHIB, S. (1993) “Bayesian Analysis of Binary and Polychotomous Response Data“, *Journal of the American Statistical Association*, 88(422), pp. 669-679.
- BLIEMER, M.C., ROSE, J.M. (2010) “Construction of experimental designs for mixed logit models allowing for correlation across choice observations“, *Transportation Research Part B: Methodological*, 44(6), pp. 720-734.
- BLIEMER, M.C., ROSE, J.M. (2011) “Experimental design influences on stated choice outputs: An empirical study in air travel choice“, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 45(1), pp. 63-79.
- BROWNSTONE, D. (2001) “Discrete choice modeling for transportation“, in: HENSHER, D. (eds), *Travel Behaviour Research: The Leading Edge*. Pergamon, Amsterdam, pp. 97–124.
- CHERCHI, E., MORRISSEY, P., O’MAHONY, M., WELDON, P., KELPIN, R., MANCA, F., MABIT, S., VALERI, E., CORCHERO, C. (2015) *Deliverable 9.1 - Consumers’ preferences and attitudes to, demand for, and use of electric vehicles (EV)*, Green eMotion project, version 5, available at: http://www.greenemotion-project.eu/upload/pdf/deliverables/D9_1-Consumers-preferences-and-attitudes_public.pdf.
- DAZIANO, R.A. (2010) *A Bayesian approach to Hybrid Choice models*, PhD thesis, Sciences Sociales, Université Laval Québec.
- DAZIANO, R.A. (2015) “Inference on mode preferences, vehicle purchases, and the energy paradox using a Bayesian structural choice model“, *Transportation Research Part B: Methodological*, 76(C), pp. 1-26.
- DAZIANO, R.A., BOLDUC, D. (2009) “Canadian consumers’ perceptual and attitudinal responses towards green automobile technologies: An application of hybrid choice models“, *EAERE-FEEM-VIU European Summer School in Resources Environmental Economics: Economics, Transport and Environment*, Venice International University, Italy.
- DAZIANO, R.A., BOLDUC, D. (2013a) “Incorporating pro-environmental preferences towards green automobile technologies through a Bayesian hybrid choice model“, *Transportmetrica A: Transport Science*, 9(1), pp. 74-106.
- DAZIANO, R.A., BOLDUC, D. (2013b) “Covariance, identification, and finite-sample performance of the MSL and Bayes estimators of a logit model with latent attributes“, *Transportation*, 40(3), pp. 647-670.
- DUANE, A., KENNEDY, A., PENDLETON, B., AND ROWETH, D. (1987) “Hybrid Monte Carlo“, *Physics Letters B*, 195(2), pp. 216-222.

- GELFAND, A., SMITH A.F.M. (1990) "Sampling-based approaches to calculating marginal densities", *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 85, pp. 398-409.
- HAAF, C.G. (2014) "Vehicle Demand Forecasting with Discrete Choice Models: 2 Logit 2 Quit", Dissertations, Paper 491.
- HOFFMAN, M.D., GELMAN, A. (2011) The no-U-turn sampler: Adaptively setting path lengths in Hamiltonian Monte Carlo, <http://arxiv.org/abs/1111.4246>.
- HOFFMAN, M.D., GELMAN, A. (2012) "The no-U-turn sampler: Adaptively setting path lengths in Hamiltonian Monte Carlo", *Journal of Machine Learning Research*, In press.
- HOFFMAN, M.D., GELMAN, A. (2014) "The No-U-Turn Sampler: Adaptively Setting Path Lengths in Hamiltonian Monte Carlo", *Journal of Machine Learning Research*, 15, pp. 1593-1623.
- KOOP, G., POIRIER D.J. (1993) "Bayesian analysis of logit models using natural conjugate priors", *Journal of econometrics*, Vol. 56, pp. 323-340.
- IEA, (2011), Technology Roadmap - Electric and plug-in hybrid electric vehicles (updated June 2011), available at: https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EV_PHEV_Roadmap.pdf
- LAVE, C., TRAIN K.E. (1979) "A disaggregate model of auto-type choice", *Transportation Research Part A*, 3(1), pp. 1-9.
- MACLEAN, H.L., LAVE, L.B., GRIFFIN, M., (2004) "Alternative transport fuels for the future", *International Journal of Vehicle Design*, 35 (1/2), pp. 27-49.
- NEAL, R.M. (1994) "An improved acceptance procedure for the hybrid monte carlo algorithm", *Journal of Computational Physics*, Vol. 111, pp. 194-203.
- NEAL, R.M. (2011), "MCMC using Hamiltonian dynamics". In Brooks, S., Gelman, A., Jones, G. L., and Meng, X.-L. (eds), *Handbook of Markov Chain Monte Carlo*, pp. 116-162. Chapman and Hall/CRC.
- POIRIER, D.J. (1996) "A Bayesian Analysis of nested logit models". *Journal of econometrics*, Vol. 75, pp. 163-181.
- RUSICH, A., DANIELIS, R. (2013) "The private and social monetary costs and the energy consumption of a car. An estimate for seven cars with different vehicle technologies on sale in Italy", Società Italiana di Economia dei Trasporti e della Logistica (SIET), Working paper n. 13.01.
- SCACCIA, L., MARCUCCI, E. (2010) "Bayesian flexible modelling of mixed logit models", Proceedings from the 19th International Conference on Computational Statistics (Lechevallier, Yves, Saporta, Gilbert eds.), Paris, France, August 22-27.
- TANNER, M.A., WONG, W.H. (1987) "The calculation of posterior distributions by data augmentation (with discussion)", *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 82, pp. 528-50.
- The Stan Development Team* (2014) RStan getting started. <https://github.com/stan-dev/rstan/wiki/RStan-Getting-Started>.
- The Stan Development Team* (2015) Stan Modeling Language - User's Guide and Reference Manual. Stan Version 2.8.0, Tuesday 8th September 2015, <http://mc-stan.org/documentation/>.
- TRAIN, K.E. (2001) "A Comparison of hierarchical bayes and maximum simulated likelihood for mixed logit", Working Paper, Department of Economics, University of California, Berkeley.

- TRAIN, K.E. (2002) *Discrete choice methods with simulations*. Cambridge University Press, Cambridge.
- VALERI, E., DANIELIS, R. (2015), “Simulating the market penetration of cars with alternative fuel powertrain technologies in Italy“, *Transport Policy*, Vol. 37, pp. 44-56.

Mobilità e utilizzo potenziale di automobili elettriche: un'analisi sulla base dei dati censuari per il Friuli Venezia Giulia

ADRIANA MONTE, ROMEO DANIELIS

DEAMS, Università di Trieste

1. INTRODUZIONE

Pur cominciando ad essere abbastanza numerosi i modelli di auto elettrica presenti sul mercato (circa 24, non tutti però al momento disponibili in Italia), la loro diffusione è ancora abbastanza limitata. Le caratteristiche dell'auto elettrica e le variabili che incidono sulla loro diffusione sono oggetto di numerosi studi (alcuni anche a cura degli autori, Rusich et al., 2014; Rusich et al., 2015; Danielis, 2014; Valeri et al., 2015). L'auto elettrica presenta interessanti proprietà dal punto di vista ambientale (emissioni zero durante l'utilizzo e basso rumore), ma alcuni limiti sia di natura tecnica che di natura economica: oltre al prezzo ancora elevato, vi è un limite nell'autonomia delle batterie. Esistono modelli di auto elettrica con una autonomia abbastanza ampia (400-450 km), come la Tesla Model, ma ad un costo elevato (circa 70 mila euro) e modelli con un'autonomia (dichiarata) più limitata¹ come Renault Zoe (130-140 km), Smart Fortwo (130 km), Nissan Leaf (175-199 km), BMW i3 (115 km), Kia Soul Eco-electric (140-200 km). L'autonomia reale è in genere più bassa del 20-25% in considerazione della velocità (maggiore è la velocità, più si riduce l'autonomia), dello stile di guida (aggressivo, tranquillo), delle condizioni meteorologiche e dell'uso del climatizzatore, che ovviamente consuma energia elettrica. In conclusione, sulla base delle esperienze di guida riportate sui giornali specializzati, 100 km, quindi un'andata e ritorno di 50 km ciascuno, è l'autonomia attualmente possibile con le auto elettriche di gamma iniziale, che balza a 400 km con le auto elettriche di lusso.

Quanto esposto fino ad ora fa riferimento alle auto completamente e solo elettriche. Nel mercato esistono però altre due tipologie di alimentazione: le auto ibride e le ibride *plug-in*. Le prime (es. la Toyota Prius e la Toyota Yaris) usano anche il motore elettrico a supporto di un motore termico a combustione

¹ Il costo di listino a febbraio 2015 è il seguente: RENAULT ZOE (€25.000), SMART FORTWO (€19.900), NISSAN LEAF (€30.690), BMW I3 (€36.500) Kia Soul Eco-electric (€36.000).

interna. Possono funzionare solamente in elettrico ma con un'autonomia di solito molto limitata (10-20 km). Le ibride *plug-in*, con l'aggiunta della versione *range-extended*, usano invece un motore termico a supporto di quello elettrico per aumentare l'autonomia di quest'ultimo, hanno un'autonomia puramente elettrica di circa 40-50 km, e possono essere ricaricate da una presa della corrente. In questo contributo si farà però riferimento alle auto puramente e solamente elettriche.

La domanda di ricerca centrale che motiva questo articolo è la seguente: sulla base delle risultanze del recente Censimento della popolazione 2011, quale percentuale della mobilità sistematica potrebbe essere svolta con auto elettriche dati gli attuali livelli di autonomia? Si risponderà a questa domanda con riferimento al Friuli Venezia Giulia (FVG).

Come è noto il Censimento della popolazione 2011, che verrà presentato più in dettaglio nella prossima sezione, contiene dati solamente sulla mobilità sistematica o abituale per motivi di studio e di lavoro. Rimane non considerata quindi la mobilità non sistematica, per motivi diversi dallo studio o lavoro.

I risultati ottenuti hanno implicazioni rilevanti per valutare la capacità di penetrazione e di utilizzo delle auto elettriche nel FVG e per comprendere che tipo di infrastrutture di ricarica, in luoghi pubblici o nei parcheggi aziendali, sono necessarie per rendere possibile l'utilizzo dell'auto elettrica e per sfruttare i suoi vantaggi in termini di minori emissioni atmosferiche ed acustiche.

2. LE CARATTERISTICHE DEI DATI SULLA MOBILITÀ DERIVANTI DAI CENSIMENTI

Il Censimento Generale della Popolazione e delle Abitazioni, condotto a scadenza decennale dall'Istat, ha come principale obiettivo “il conteggio della popolazione e la rilevazione delle sue caratteristiche strutturali, l'aggiornamento e la revisione delle anagrafi, la determinazione della popolazione legale necessaria sia a fini giuridici generali sia a fini elettorali...”². Nelle occasioni censuarie vengono raccolte una mole di informazioni ad un dettaglio territoriale estremamente elevato (comunale e subcomunale), tra le quali anche informazioni relative al movimento della popolazione. In particolare il Censimento rileva quel segmento della popolazione che si sposta giornalmente tra la propria dimora abituale e il luogo di studio o di lavoro, cioè i pendolari. Domande relative a questo aspetto sono state introdotte per la prima volta nel Censimento del 1971, ma solo un campione di quelle informazioni fu allora elaborato dall'Istat. Dal Censimento del 1981 si è invece iniziato ad elaborare tutte le informazioni e proprio con i dati del 1981 furono costruite le prime tavole riferentisi al movimento in entrata e al movimento in uscita dai vari comuni (Istat, 2014). Da allora e in tutti i successivi Censimenti sono state rilevate le informazioni relative alla mobilità della popolazione, con delle domande pressochè omogenee nel tempo³. Ciò che viene rilevato è il movimento pendolare sistematico (ossia che implica il ritorno in giornata all'abitazione di partenza e che viene svolto per motivi di studio o lavoro), con riferimento al mercoledì precedente o (se in quel mercoledì non ha avuto luogo) ad un giorno “tipo”. La mole di informazioni raccolte e il dettaglio territoriale raggiunto ha ovviamente un costo notevole sia in termini economici, che organizzativi e temporali. La necessità di rispettare i vincoli imposti dal Regolamento europeo⁴

2 tratto da <http://www.istat.it/it/censimento-popolazione>

3 “Le uniche modifiche significative alle domande hanno riguardato la sostituzione delle classi per il tempo impiegato con un'ora puntuale e con una medesima richiesta specifica, dal 2001, sull'ora di uscita di casa che sostituisce la domanda della classe di orario di avvio delle attività” (Istat, 2014).

4 *Framework Regulation*, Regolamento Quadro del Parlamento Europeo e del Consiglio relativo ai Censimenti della Popolazione e delle Abitazioni, adottato a maggioranza dal Parlamento Europeo a febbraio, approvato a luglio 2008 e pubblicato nella Gazzetta Ufficiale dell'Unione europea ad agosto 2008, impone vincoli sui tempi (consegna dei dati entro il 1° Aprile 2014), sulle variabili obbligatorie, sulle classificazioni e sulle tavole statistiche).

oltre all'invito delle Raccomandazioni UNECE⁵ relativamente ai possibili approcci metodologici per il Censimento, tra cui l'utilizzo dei registri amministrativi e di indagini a campione, ha determinato l'introduzione di importanti innovazioni nel Censimento del 2011⁶.

In particolare ai fini della conoscenza del fenomeno del pendolarismo ci soffermiamo su due di esse:

- l'utilizzo di lista. Il Censimento del 2011 è stato per la prima volta un censimento da lista, ossia sono stati costruiti elenchi delle famiglie residenti (LAC - liste anagrafiche comunali aggiornate al 31.12.2010), il che ha reso possibile la spedizione per posta del questionario. Le LAC sono state integrate con le LIFA (liste integrative da fonti ausiliarie comprendenti individui non presenti nelle LAC e costruite a partire da vari archivi, come Anagrafe Tributaria, Archivi permessi di soggiorno, etc.) e le LIAC (lista integrativa autonoma comunale) relativamente agli iscritti dal 1.1.2011 fino alla data di riferimento del Censimento (8.10.2011). Questo ha reso possibile ridurre la sottocopertura delle LAC. Gli iscritti alle LAC potevano accedere al sistema di gestione della rilevazione on line (SGR) e questo ha consentito non solo il confronto e il controllo contestuale di tutte le operazioni di inserimento, ma anche una accelerazione dei tempi.
- L'utilizzo congiunto di due questionari, uno *short* in forma ridotta e uno *long* in forma completa, nei comuni di maggiori dimensioni. Le informazioni derivanti dalla forma ridotta sono state raccolte su tutta la popolazione, come nei precedenti Censimenti, mentre quelle informazioni di approfondimento contenute nella forma estesa sono state raccolte mediante campionamento. Questo significa che mentre un blocco di informazioni (richieste sia in *short* che in *long*) sono state rilevate su tutta la popolazione, un secondo blocco (approfondimento in *long*) è stato invece oggetto di stima.

Con l'approccio utilizzato nel Censimento 2011 quindi, i dati demografici e familiari derivano dal conteggio, sono pertanto esaustivi e non campionari (da domande presenti sia nella *long form* che nella *short*), mentre alcuni dati di tipo socio-economico e il loro incrocio con variabili demografiche sono frutto di stime campionarie (informazioni contenute solo nel questionario *long*). Varie sperimentazioni effettuate utilizzando i dati del Censimento 2001 hanno portato alla scelta di utilizzare la strategia di campionamento da lista delle famiglie e in particolare di un campionamento semplice, in quanto la stratificazione delle famiglie non comportava vantaggi. Inoltre si è optato per una frazione di campionamento del 33% che ha permesso di ottenere delle stime più accurate soprattutto con riferimento a domini di piccole dimensioni. Per il riporto all'universo delle informazioni sono stati poi utilizzati stimatori di ponderazione vincolata (Borrelli et al., 2011; Borrelli et al., 2012; Carbonetti et al., 2008).

Il questionario in forma ridotta è stato somministrato a tutte le famiglie residenti e alle convivenze⁷ rilevando anche i temporaneamente presenti.

Il questionario in forma completa è stato invece somministrato solo ad una parte delle famiglie, precisamente si sono suddivisi i comuni in base alla loro dimensione demografica al 31.12.2010. Nei comuni con almeno 20000 abitanti e nei capoluoghi di provincia è stato somministrato il questionario completo solo ad un campione rappresentativo di famiglie estratto dalle liste anagrafiche, mentre alle

5 la Commissione Economica per l'Europa delle Nazioni Unite (UNECE) in cooperazione con l'Ufficio Statistico della Comunità Europea (Eurostat) ha redatto un documento contenente le *Recommendations for the 2010 Censuses of Population and Housing*, formalmente adottate giugno 2006, in occasione della Conferenza degli Statistici Europei.

6 A livello internazionale ed europeo molti sono i paesi che si sono già mossi in questo senso in tempi precedenti all'Italia.

7 Insieme di persone che, senza essere legate da vincoli di matrimonio, parentela, affinità e simili, conducono vita in comune per motivi religiosi, di cura, di assistenza, militari, di pena e simili. Le persone addette alla convivenza per ragioni di lavoro, se vi convivono abitualmente, sono considerate membri permanenti della convivenza purché non costituiscano famiglia a sé stante. I principali tipi di convivenza sono: istituti d'istruzione, istituti assistenziali, istituti di cura pubblici e privati, istituti penitenziari, convivenze ecclesiastiche, convivenze militari e di altri corpi accasermati, alberghi, pensioni, locande e simili, navi mercantili, altre convivenze (ad esempio, case dello studente), da <http://www3.istat.it/cgi-bin/glossario/indice.pl>.

altre è stato somministrato il questionario nella forma ridotta. In tutti gli altri comuni invece è stato utilizzato il questionario in forma estesa per tutte le famiglie. Nel caso del Friuli Venezia Giulia i comuni coinvolti nel campionamento sono stati sei, e precisamente i quattro capoluoghi di provincia (Udine, Gorizia, Pordenone e Trieste) e due comuni non capoluogo con almeno 20000 abitanti (Monfalcone e Sacile) (Tavola 1). Nei restanti 212 comuni della regione è stato utilizzato solo il questionario nella forma estesa.

Tavola 1 – Popolazione residente in Friuli Venezia Giulia al 31.12.2010

	Numero di comuni	Popolazione residente
Comuni con almeno 20000 abitanti	6	440787
Comuni con meno di 20000 abitanti	212	795021
Totale	218	1235808

Fonte: Elaborazione su dati Istat

Nel particolare caso del pendolarismo entrambi i questionari pongono a ciascuno dei componenti della famiglia (o della convivenza) le seguenti domande:

1. “Si reca giornalmente al luogo di studio o di lavoro?” (SI, studio; SI, lavoro; NO)
2. “Dove si trova il luogo abituale di studio o di lavoro?” (In questo comune; in altro comune – specificare; all'estero – specificare)

Vi sono inoltre altre due domande che permettono di identificare il rispondente come pendolare (“Rientra giornalmente al domicilio da cui è partito?”) e di attribuire il suo pendolarismo al comune in cui viene rilevata la sua presenza (“Si reca giornalmente al luogo abituale di studio o di lavoro da questo alloggio?”).

Le domande di approfondimento contenute nel questionario più esteso (*long*) in tema di pendolarismo riguardano le modalità con cui si svolge il movimento giornaliero:

3. L'ora di uscita dall'abitazione (in ore e minuti).
4. Il tempo impiegato per raggiungere il luogo di studio o lavoro, comprensivo dell'eventuale tempo utilizzato per portare anche i figli a scuola (in minuti).
5. Il mezzo di trasporto utilizzato per il tragitto più lungo in termini di distanza e non di tempo (treno, tram, metropolitana, autobus urbano o filobus, corriera o autobus extra-urbano, autobus aziendale o scolastico, auto privata come conducente, auto privata come passeggero, motocicletta o ciclomotore o scooter, bicicletta, altro mezzo (battello, funivia, ecc.), a piedi).

Le informazioni raccolte sono state inoltre utilizzate per costruire le matrici del pendolarismo⁸ come già fatto in occasione di tutti i precedenti censimenti a partire dal 1981. Ciascun record della matrice rappresenta uno strato di pendolari che per ciascuna delle variabili contenute nella matrice (comune di

⁸ <http://www.istat.it/it/archivio/139381>

residenza, motivo dello spostamento, sesso, luogo di studio o lavoro, comune abituale di studio o lavoro, mezzo di trasporto utilizzato, orario di uscita dall'abitazione e tempo impiegato per raggiungere il luogo di studio o lavoro), presentano le medesime modalità. Inoltre per ciascuno strato viene riportato anche il peso, ossia il numero di pendolari appartenenti allo strato stesso. Le matrici del pendolarismo del 2011 si differenziano dalle precedenti per la presenza di due tipi di record al loro interno (si veda ad esempio il caso del Friuli Venezia Giulia in Tavola 2), S e L, che richiamano *short* e *long*, ossia le modalità di raccolta delle informazioni. Solo i record di tipo L contengono le informazioni relative a mezzo di trasporto, orario e tempi, che nel Censimento 2011 sono state raccolte solo con il questionario in forma completa (*long*) e utilizzando il campionamento come sopra già accennato. Per questo in tali record i pesi sono stime del numero di pendolari appartenenti a ciascun record.

Tavola 2 – Pendolari e strati di pendolari secondo tipo di record e tipo di residenza. Friuli Venezia Giulia, Censimento 2011

	Strati di pendolari			Pendolari		
	Residenti in famiglia	Residenti in convivenza	Totale	Residenti in famiglia	Residenti in convivenza	Totale
Record di tipo L	106167	-	106167	616993	-	616993
Record di tipo S	28126	98	28224	616993	446	617439

Fonti: Elaborazioni su dati Istat – Matrice del pendolarismo 2011

Per quanto riguarda la copertura⁹ è stato stimato che la popolazione rilevata tramite il Censimento nel 2011 risulta sottostimata di 3848 unità nel Friuli Venezia Giulia, si tratta prevalentemente di stranieri e la classe di età in cui la sottocopertura è stata maggiore è quella tra i 15 e i 29 anni¹⁰.

Il Censimento ha raccolto informazioni che riguardano:

- Un solo mezzo di trasporto per ciascun componente della famiglia
- Il movimento giornaliero di tipo sistematico (studio o lavoro)

Dai dati censuari non è possibile conoscere il pendolarismo non sistematico (movimento per escursioni o per altre ragioni) e neppure se vengono utilizzati più mezzi di trasporto tra quelli indicati. Inoltre il tempo impiegato non è riconducibile all'unico mezzo di trasporto indicato, ma al tempo complessivamente impiegato, il che fa ritenere che vi sia una sottostima relativamente al numero di persone che utilizzano per il pendolarismo sistematico l'auto propria (basti pensare all'uso combinato di treno e auto, il cui utilizzo non viene rilevato qualora la distanza maggiore venga percorsa con il treno). Per alcuni di questi aspetti può venire in aiuto un'altra indagine, che rientra nell'ambito delle Indagini multiscopo sulle famiglie, avviate dal 1993 dall'Istat. Vengono rilevati annualmente aspetti della vita quotidiana e del comportamento delle famiglie, tra cui anche quelli relativi alle modalità con cui i componenti raggiungono il luogo di studio o lavoro. Si tratta di un'indagine campionaria che coinvolge circa 20000 famiglie a livello nazionale (50000 individui circa) e le stime che l'indagine fornisce sono riferite a vari livelli territoriali; il maggior dettaglio è il livello regionale. Dal punto di vista delle informazioni raccolte rela-

9 L'indagine di copertura (*Post Enumeration Survey*) è normata dalla Commissione Europea (Commission Regulation n. 1151/2010). Gli Stati membri erano obbligati a fornire, entro il 30 marzo 2014, stime della sotto-copertura e sovra-copertura del Censimento della popolazione.

10 Dato a livello nazionale

tivamente al pendolarismo, la differenza più evidente rispetto al Censimento è che in questa indagine si rileva una informazione in più e cioè l'informazione relativa al numero di mezzi che vengono utilizzati per raggiungere il luogo di studio o lavoro e a quali sono, ma non vi è l'informazione di dettaglio relativa al luogo in cui si svolge l'attività lavorativa o di studio.

L'informazione è utile ad aggiornare in parte le indicazioni ricavate dal Censimento almeno a livello regionale e a conoscere cosa è accaduto nei periodi intercensuari e permette inoltre di integrare l'informazione censuaria sul mezzo di trasporto utilizzato con l'informazione relativa al numero e tipo di mezzi di trasporto utilizzati (oltre all'indicazione del prevalente) laddove se ne usino più di uno.

4. LA MOBILITÀ PER LAVORO E STUDIO NEL FRIULI VENEZIA GIULIA

4.1 UNO SGUARDO COMPLESSIVO ALLA MOBILITÀ PER LAVORO E STUDIO

Rispetto ad una popolazione censita al 2011 pari a 1161581 persone, il 53% dichiara di recarsi al luogo abituale di studio o di lavoro (Tavola 3). Il restante 47% abitualmente non si muove da casa (Tavola 4). Tale proporzione non è molto diversa tra le province. Il 71% degli spostamenti sono per motivi di lavoro ed il 29% per motivi di studio (Tavola 5). Chi non si muove abitualmente, lo fa per diversi motivi, tra i quali il fatto di studiare o lavorare nel proprio alloggio o di non avere una sede di lavoro fissa. Di gran lunga prevalente però è il non studiare o lavorare, in quanto pensionato o disoccupato.

Tavola 3 – Popolazione che si muove e non si muove secondo provincia di residenza – 2011 (valori assoluti)

	UD	GO	TS	PN	FVG
Popolazione residente in famiglia che si reca al luogo abituale di studio o di lavoro	270726	68319	114820	163128	616993
Occupati residenti in famiglia che si recano al luogo abituale di lavoro	192895	48311	81501	115702	438409
Popolazione residente in famiglia che si reca al luogo abituale di studio	77831	20008	33319	47426	178584
Popolazione residente che non si reca giornalmente al luogo abituale di studio o di lavoro	237871	65716	109970	130585	544142
Popolazione residente che si sposta giornalmente	270895	68356	114967	163221	617439

Fonte: Censimento 2011

Tavola 4 – Popolazione che non si muove: le motivazioni, secondo provincia di residenza – 2011 (valori assoluti)

Motivo per il quale non si è recato al luogo abituale di studio o di lavoro	UD	GO	TS	PN	FVG
Studia nel proprio alloggio	3224	1004	1502	2332	8062
Lavora nel proprio alloggio	9986	2152	2475	5711	20324
Non ha una sede fissa di lavoro	15537	3507	5366	9215	33625
Non studia o non lavora o non frequenta corsi di formazione professionale	209124	59053	100627	113327	482131
Totale	237871	65716	109970	130585	544142

Fonte: Istat, Censimento 2011

Tavola 5 – Popolazione che si muove: le motivazioni, secondo provincia di residenza – 2011 (valori assoluti)

Motivo dello spostamento	UD	GO	TS	PN	FVG
Studio	77844	20015	33345	47433	178637
Lavoro	193051	48341	81622	115788	438802
Totale	270895	68356	114967	163221	617439
% studio	28.70%	29.30%	29.00%	29.10%	28.90%
% lavoro	71.30%	70.70%	71.00%	70.90%	71.10%

Fonte: Elaborazioni su dati Istat, Censimento 2011

4.2 I MEZZI DI TRASPORTO USATI

Relativamente ai mezzi di trasporto usati per la mobilità casa o lavoro, abbiamo attinto sia a tre dati disponibili per il 1991, 2001 e 2011. Il grado di dettaglio con cui i mezzi sono classificati è cambiato nel tempo, così come anche il numero di persone che si spostano. È possibile comunque effettuare alcuni confronti e fare alcune osservazioni.

Cominciando dall'anno più recente, si può osservare come l'auto privata sia la modalità maggiormente usata (50,8%) per gli spostamenti per motivi di lavoro e di studio, a cui di deve aggiungere il 13,3% di persone che si spostano in auto come passeggeri. Segue lo spostarsi a piedi. I mezzi pubblici (treno, tram, autobus urbano, filobus, corriera, autobus extra-urbano, autobus aziendale o scolastico) ammontano ad un totale del 15,6%, in cui prevalgono nettamente gli autobus urbani e quelli extra-urbani. Giova ricordare che il dato riguarda il numero di spostamenti e non di km totali percorsi.

Significative sono le differenze tra le provincie. In particolare, la provincia di Trieste in cui è preponderante la città di Trieste, vede un minore utilizzo dell'auto privata ed un maggiore utilizzo dell'autobus urbano e della motocicletta, ciclomotore o scooter.

Tavola 6 – Popolazione che si muove secondo mezzo di trasporto utilizzato e provincia di residenza – 2011 (valori assoluti)

Mezzo	UD	GO	TS	PN	FVG
Treno, Tram	4391	2821	1143	3286	11641
Autobus urbano, filobus	6976	1198	25065	2902	36141
Corriera, autobus extra-urbano	16642	3055	1128	7942	28767
Autobus aziendale o scolastico	11319	1666	671	6127	19783
Auto privata (come conducente)	149353	34826	37855	91300	313334
Auto privata (come passeggero)	36721	10016	12815	22768	82320
Motocicletta, ciclomotore, scooter	3366	1447	14703	2172	21688
Bicicletta	14862	4716	667	12016	32261
Altro mezzo	1232	221	240	521	2214
A piedi	25863	8352	20532	14096	68843

Fonte: Istat, Censimento 2011

Tavola 7 – Popolazione che si muove secondo mezzo di trasporto utilizzato e provincia di residenza – 2011 (valori percentuali)

Mezzo di trasporto	UD	GO	TS	PN	FVG
Treno, Tram	1.6	4.1	1,0	2.0	1.9
Autobus urbano, filobus	2.6	1.8	21.8	1.8	5.9
Corriera, autobus extra-urbano	6.1	4.5	1.0	4.9	4.7
Autobus aziendale o scolastico	4.2	2.4	0.6	3.8	3.2
Auto privata (come conducente)	55.2	51.0	33.0	56.0	50.8
Auto privata (come passeggero)	13.6	14.7	11.2	14.0	13.3
Motocicletta, ciclomotore, scooter	1.2	2.1	12.8	1.3	3.5
Bicicletta	5.5	6.9	0.6	7.4	5.2
Altro mezzo	0.5	0.3	0.2	0.3	0.4
A piedi	9.6	12.2	17.9	8.6	11.2
Totale	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Fonte: Elaborazione su dati Istat, Censimento 2011

Tavola 8 – Popolazione che si muove secondo mezzo di trasporto utilizzato e provincia di residenza – 1991 (valori assoluti)

Mezzo di trasporto	UD	GO	TS	PN	FVG
Treno, Tram	6468	3756	1552	4403	16179
Autobus + filobus aziendale o scolastico	45230	7254	32215	20281	104980
Auto privata (conducente)	111517	30217	43303	64025	249062
Auto privata (passeggero)	23188	6123	9797	12773	51881
Moto	8193	2798	10434	6037	27462
Altro mezzo, bicicletta, a piedi	52977	14100	21283	29054	117414
Totale	247573	64248	118584	136573	566978

Fonte: Istat, Censimento 1991

Tavola 9 – Popolazione che si muove secondo mezzo di trasporto utilizzato e provincia di residenza – 2001 (valori assoluti)

Mezzo di trasporto	UD	GO	TS	PN	FVG
Treno, Tram	4201	2418	968	2636	10223
Autobus urbano, filobus	5446	847	19769	2013	28075
Corriera, autobus extra-urbano	16172	2257	1107	7506	27042
Autobus aziendale o scolastico	11942	1728	872	5720	20262
Auto privata (come conducente)	130433	32512	36763	79652	279360
Auto privata (come passeggero)	29303	8287	11113	17530	66233
Motocicletta, ciclomotore, scooter	5294	2172	17342	3857	28665
Bicicletta, a piedi, altro mezzo	37159	10227	17790	21701	86877
Totale	239950	60448	105724	140615	546737

Fonte: Istat, Censimento 2001

Tavola 10 – Popolazione che si muove secondo mezzo di trasporto utilizzato e provincia di residenza – 1991, 2001, 2011 (valori percentuali)

	Piedi, bicicletta, altro mezzo	Treno, tram, metro	Autobus, filobus aziendale o scolastico	Auto privata (conducente)	Auto privata (come passeggero)	Moto	Totale
Censimento 1991							
Udine	21,4	2,6	18,3	45,0	9,4	3,3	100,0
Gorizia	21,9	5,9	11,3	47,0	9,5	4,4	100,0
Trieste	17,9	1,3	27,2	36,5	8,3	8,8	100,0
Pordenone	21,3	3,2	14,8	46,9	9,4	4,4	100,0
FVG	20,7	2,9	18,5	43,9	9,2	4,8	100,0
Censimento 2001							
Udine	15,5	1,7	14,0	54,4	12,2	2,2	100,0
Gorizia	16,9	4,0	8,0	53,8	13,7	3,6	100,0
Trieste	16,8	0,9	20,6	34,8	10,5	16,4	100,0
Pordenone	15,4	1,9	10,8	56,7	12,5	2,7	100,0
FVG	15,9	1,9	13,8	51,1	12,1	5,2	100,0
Censimento 2011							
Udine	15,5	1,6	12,9	55,2	13,6	1,2	100,0
Gorizia	19,4	4,1	8,7	51,0	14,7	2,1	100,0
Trieste	18,7	1,0	23,4	33,0	11,1	12,8	100,0
Pordenone	16,3	2,0	10,4	56,0	14,0	1,3	100,0
FVG	16,7	1,8	13,7	50,8	13,3	3,5	100,0

Fonte: Elaborazioni su Istat, Censimenti 1991, 2001, 2011

A livello regionale, l'uso dell'auto privata come conducente è aumentato dal 44% nel 1991 al 51% nel 2001 e nel 2011. È aumentato anche l'uso dell'auto come passeggero. È calato il numero di coloro che vanno a piedi e in bicicletta e l'utilizzo dei mezzi pubblici su ferro e degli autobus collettivi. Si è leggermente ridotto anche l'uso della moto. Complessivamente quindi si è rafforzato l'uso del mezzo privato. I cambiamenti tra il 2001 ed il 2011 sono risultati poco significativi.

4.3 MEZZO E TEMPO DI TRASPORTO

In questa sezione vengono incrociati i dati sul mezzo di trasporto usato con quelli sui tempi del trasporto, con riferimento solo al 2011.

La Tavola 11 e la Tavola 12 ci mostrano il numero di spostamenti per tipo di mezzo e per tempo impiegato per raggiungere il luogo di studio o lavoro. Le distribuzioni dei pendolari per tempo impiegato dipendono ovviamente dalla natura del mezzo: il treno ha una più elevata percentuale di viaggi che superano i 60 minuti, mentre ciò avviene molto raramente per le moto, la bici o per gli spostamenti a piedi. L'interesse del presente lavoro però si concentra sull'auto privata. Una nota limitazione delle auto elettriche è la loro autonomia. La domanda di ricerca è: data l'attuale mobilità per lavoro e studio, quanti spostamenti potrebbero essere effettuati con un'auto elettrica?

I dati raccolti dal Censimento sono relativi alle durate del viaggio e non ai km percorsi e si riferiscono al solo viaggio di andata. È quindi necessario fare delle ipotesi e delle stime.

Nella Tavola 13 sono riportati i km che i pendolari percorrono giornalmente in auto, come conducente, per raggiungere il luogo di studio o lavoro. La prima riga riprende dalla Tavola 11 il numero di spostamenti effettuati dal conducente di un'auto privata. La seconda riga ne calcola il valore percentuale sul totale degli spostamenti. Si osserva che il 53% dei viaggi dura fino a 15 minuti, il 35% da 16 a 30 minuti e così via. La riga successiva riporta il valore cumulato della percentuale, da cui si nota che l'88% dei viaggi dura fino a 30 minuti. Le righe successive sono relative agli spostamenti per motivi di studio e sono tratte dalla Tavola 12. Si osserva che questi tendono ad essere più lunghi, in termini di tempo, degli spostamenti per motivi di lavoro.

Si facciano ora delle ipotesi sulla relazione tra tempo di viaggio e km percorsi. La Tavola 14 è calcolata come segue: se il viaggio in auto dura 15 minuti ed è effettuato alla velocità di 30 km/ora, la distanza percorsa è 7,5 km; se il viaggio in auto dura 15 minuti ed è effettuato alla velocità di 40 km/ora, la distanza percorsa è 10 km.

Tavola 11 – Occupati residenti in famiglia che si recano al luogo abituale di lavoro secondo mezzo di trasporto e tempo impiegato - 2011(valori assoluti)

	fino a 15 minuti	16-30 minuti	31-45 minuti	46-60 minuti	61 minuti e più	Totale
Treno, Tram	140	741	944	1353	2622	5800
Autobus urbano, filobus, corriera, autobus extra-urbano	4502	11836	3789	2327	1228	23682
Autobus aziendale o scolastico	473	474	245	276	145	1613
Auto privata (come conducente)	162796	107787	23383	9124	5077	308167
Auto privata (come passeggero)	8872	5211	1134	614	420	16251
Motocicletta, ciclomotore, scooter	13414	4295	377	107	88	18281
Bicicletta	19118	3209	334	167	293	23121
Altro mezzo	913	658	214	194	110	2090
A piedi	33580	4800	399	306	319	39404
Tutte le voci	243808	139011	30820	14468	10301	438409

Fonte: Istat, Censimento 2011

Tavola 12 – Popolazione residente in famiglia che si reca al luogo abituale di studio secondo mezzo di trasporto e tempo impiegato - 2011(valori assoluti)

	fino a 15 minuti	16-30 minuti	31-45 minuti	46-60 minuti	61 minuti e più	Totale
Treno, Tram	190	709	918	1607	2417	5840
Autobus urbano, filobus, corriera, autobus extra-urbano	6989	16682	8411	5855	3289	41226
Autobus aziendale o scolastico	10106	6184	1267	402	210	18170
Auto privata (come conducente)	1465	2331	764	409	198	5167
Auto privata (come passeggero)	55508	8592	1053	451	467	66070
Motocicletta, ciclomotore, Scooter	2592	756	30	15	14	3407
Bicicletta	8038	958	51	38	55	9140
Altro mezzo	89	16	12	4	3	125
A piedi	26776	2409	102	86	66	29438
Tutte le voci	111753	38637	12608	8867	6718	178584

Fonte: Istat, Censimento 2011

Tavola 13 – Spostamenti effettuati giornalmente in auto (come conducente) per lavoro o per studio dai pendolari residenti in FVG, secondo tempo impiegato per il solo viaggio di andata

	fino a 15 minuti	16-30 minuti	31-45 minuti	46-60 minuti	61 minuti e più	Totale
Spostamenti per lavoro						
Auto privata (come conducente)	162796	107787	23383	9124	5077	308167
Auto privata (come conducente) in %	53%	35%	8%	3%	2%	100%
% cumulata	53%	88%	95%	98%	100%	
Spostamenti per studio						
Auto privata (come conducente)	1465	2331	764	409	198	5167
Auto privata (come conducente) in %	28%	45%	15%	8%	4%	100%
% cumulata	28%	73%	88%	96%	100%	

Fonti: Elaborazioni su dati Istat, Censimento 2011

Tavola 14 – Tabella di conversione dal tempo di viaggio ai km percorsi

velocità\tempo	15 minuti	30 minuti	45 minuti	60 minuti
30 km\ora	7.5 km	15 km	22,5 km	30 km
40 km\ora	10 km	20 km	30 km	40 km
50 km\ora	12.5 km	25 km	37,5 km	50 km
60 km\ora	15 km	30 km	45 km	60 km

Ipotizzando che il rientro abbia la stessa durata del viaggio di andata, si possono effettuare le seguenti stime:

- Se l'autonomia dell'auto elettrica è di 100 km e la velocità è di 60 km\ora, ciò è sufficiente a permettere tutti i viaggi di andata e ritorno entro i 45 minuti, vale a dire il 95% dei viaggi per lavoro e l'88% dei viaggi per motivi di studio.
- Se l'autonomia dell'auto elettrica è di 100 km e la velocità è di 50 km\ora, ciò è potenzialmente sufficiente a permettere tutti i viaggi di andata e ritorno entro i 60 minuti, vale a dire il 98% dei viaggi per lavoro e l'96% dei viaggi per motivi di studio. L'autonomia sarebbe quasi completamente esaurita e ciò non va considerato prudente (sia per possibili perdite di autonomia delle batterie che per eventuali allungamenti di percorso). Prudenzialmente è bene dunque limitarsi ai valori precedenti di 95% e 88% degli spostamenti, rispettivamente per lavoro e per studio.
- Se l'autonomia dell'auto elettrica è di 100 km e la velocità è di 40 km\ora – ipotesi realistica in ambito urbano – ciò è sufficiente a permettere tutti i viaggi di andata e ritorno entro i 60 minuti, vale a dire il 98% dei viaggi per lavoro e l'96% dei viaggi per motivi di studio. I viaggi oltre i 60 minuti vengono prudenzialmente non contati.
- Se l'autonomia dell'auto elettrica è di 100 km e la velocità è di 30 km\ora, è evidente che tutti i viaggi entro i 60 minuti sono da considerarsi fattibili.

Una prima conclusione è che, date le evidenze del Censimento 2011, la gran parte degli spostamenti effettuati per motivi di studio e di lavoro, almeno 9 su 10, sono da considerarsi fattibili con un'auto elettrica che abbia un'autonomia di 100 km (ovvero la gran parte delle auto elettriche attualmente in vendita), permettendo il rientro, senza la necessità di ricaricare l'auto nel luogo di lavoro\studio.

Ovviamente tale conclusione è rafforzata se: a) l'auto elettrica ha un'autonomia superiore ai 100 km, scenario sempre più realistico a prezzi accessibili e se b) sul luogo di lavoro o durante il percorso sono installate stazioni di ricarica elettrica delle batterie.

Queste conclusioni presuppongono però che le batterie dell'auto elettrica possano essere giornalmente caricate nel luogo di residenza, ovvero che le famiglie dispongano di un garage con apparecchi di ricarica per una o più auto o, in alternativa, che esista una rete di ricarica delle automobili nei punti di parcheggio pubblico.

5. CONCLUSIONI

Il Censimento Generale della Popolazione e delle Abitazioni, condotto a scadenza decennale dall'Istat rileva informazioni relative alle modalità e ai tempi di trasporto del pendolarismo sistematico presso tutta la popolazione residente con un dettaglio territoriale che non è presente in nessuna altra fonte informativa. La debolezza del dato censuario è la sua cadenza temporale, appena decennale.

Relativamente alle modalità del pendolarismo, non vi sono state nel tempo delle forti variazioni per quanto riguarda l'uso dell'automobile come conducente, almeno dal Censimento 1991 a quello del 2011. Tale modalità di trasporto è l'unica che è stata considerata per la stima della domanda potenziale di auto elettriche nel presente lavoro. Viste le risultanze censuarie e sulla base delle ipotesi fatte relativamente al consumo e alle distanze percorse, si è potuto concludere che la gran parte degli spostamenti per motivi di studio e di lavoro, in Friuli Venezia Giulia, può essere effettuata con un'auto elettrica che abbia un'autonomia di 100 km, permettendo il rientro. Ciò presuppone però che le famiglie possano ricaricare le batterie dell'auto elettrica giornalmente nel luogo di residenza. Questo potrebbe essere garantito, anche alle famiglie che non dispongono di un garage, dall'esistenza di una rete di ricarica delle automobili nei punti di parcheggio pubblico. I dati censuari consentono di conoscere i comuni di residenza dei pendolari che usano l'automobile e ciò rappresenta una base informativa necessaria per la strutturazione di una rete di ricarica.

Riferimenti bibliografici

- BORRELLI, F., CARBONETTI, G., DE FELICI, L., FIORELLO, E., MARRONE, M. (2011) “La progettazione dei censimenti generali 2010-2011: disegni campionari e stima di errori di campionamento”, *ISTAT Working Papers* n.2-2011.
- BORRELLI, F., CARBONETTI, G., DE FELICI, L., SOLARI, F. (2012) “Metodologia di stima per piccole aree applicabili a variabili di censimento”, *ISTAT Working Papers* n.3-2012.
- CARBONETTI, G., DARDANELLI, S., FIORELLO, E., MASTROLUCA, S., VERRASCINA, M. (2008) “Ipotesi di innovazione per il censimento della popolazione del 2011: una valutazione degli effetti su un possibile piano di diffusione”, *XXIX Conferenza Italiana di Scienze Regionali*.
- DANIELIS, R. (2014) “Quale politiche per promuovere le automobile elettriche in Italia? Un commento”, *Rivista di Economia e Politica dei Trasporti*, 1.
- ISTAT (2014) *Censimenti e società: mutamenti sociodemografici della Sicilia in 150 anni di storia*, <http://www.istat.it/it/archivio/114928>, cit. giugno 2015.
- RUSICH, A., DANIELIS, R. (2014) “Scenari simulativi del costo privato e sociale dell’automobile. Una stima per 7 modelli con diverse tecnologie propulsive in vendita in Italia”, *Rivista di Economia e Politica dei Trasporti*, n. 1.
- RUSICH, A., DANIELIS, R. (2015) “Total cost of ownership, social lifecycle cost and energy consumption of various automotive technologies in Italy”, *Research in Transportation Economics*, 50, 3-16.
- VALERI, E., DANIELIS, R. (2015) “Simulating the market penetration of cars with alternative fuel powertrain technologies in Italy”, *Transport Policy*, 37, 44-5.

The elusive foundations of Electric Vehicle supporting policy: a study of claims in the public debate in Italy

JÉRÔME MASSIANI

Università di Venezia

INTRODUCTION

The interest in Electric Vehicles (EV) that has emerged with renewed impetus at the beginning of the decade is still vivid notwithstanding disappointing commercial penetration and the evolution of some context variables, like fuel price, in sharp decrease while we write these lines. Generally, the public opinion seems to adhere to the general view that EV will expand considerably in the close future. This expectation is, as will be illustrated in this paper, substantiated by a consensus of media and policy makers on a strong market potential. Possible doubts on EV potential seem then suspect: if “everyone”, including specialised media, authoritative sources, automotive industry and prestigious consulting companies predicts that Electric Vehicles are on the verge on a massive development, why would anyone reject such an optimistic vision – moreover when it is anxietytic for our fear that life style in rich countries should otherwise drastically adapt to long term depletion of natural resources?

However, one may want to check the validity of such a consensus on EV diffusion prospects. After all, in the past, many claims, consensually supported in the public sphere, have proved wrong (not to mention earlier EV bubbles like in France in the 90’s). Then, it is legitimate that one seeks to better understand the reasonableness of the claims supporting this broad consensus. In this article, **we investigate claims made in the public debate, in order to verify whether they are open to scrutiny and to check for their scientific soundness**. One would, for instance, be interested to check whether the figures that enter the public debate are based on methods with good predictive values (e.g. figures based on declared interest by potential purchasers are less reliable than other methods) and if they are even just “checkable”. We use Italy as a case study considering, in this preliminary analysis, 97 occurrences of claims made in written media and parliamentary hearings.

Our results indicate that, beyond variability in the diffusion figures, claims in the public sphere very rarely report their sources, or, in the few cases where they do, do not provide sufficient information to

perform even basic checks on the soundness of the proposed quantification. On 97 claims none appears to be sufficiently documented to be considered as a valid input for policy design. Our findings support the thesis, or are at least compatible with the idea, that an information bubble exists on EV diffusion and that high care should be taken in using EV diffusion claims for the design of policy.

This article has three sections. In a first section, we show that analysis of data present in the public sphere, although neglected by economic analysis, actually provides instruments that are useful in this field. In a second section, we present the various methods available for EV diffusion forecast and show their main merits and limitations. In a final section, we present the data collected for our analysis and show that they are substantially unavailable for scrutiny.

PHILOLOGY OF PUBLIC CLAIMS, WHY WOULD IT MATTER FOR PUBLIC ECONOMICS?

The analysis of representations conveyed in the public debate has attracted the attention of psychologists, sociologists, linguists and, in a more applied fashion, from lobbyists with, instead, limited interest from the economists.

The field has been profoundly influenced by the work of Jurgen Habermas on the so called “public sphere” and by the Chomskian school of thoughts. This field has soon concentrated on the role of media in shaping general public perceptions. Although remote from our topic, we posit useful to quote Haper and Philo¹ research, showing that exposure to a reportage on handicapped stressing the problem of frauds to public benefits will generate strong overestimate of actual fraud rates².

Another, more minor, stream of research relates to the accuracy of media forecast on various socio economic issues. In an original work, Tetlock and al. review 284 experts’ claims in the media and find very limited predictive validity. This field of research is relevant for economists in that these claims may however be influential in the shaping of policies.

A field of research that is closer to our, relates to the formation of claims in media. Koomey and al investigate four figures frequently used by media in the coverage of energy issues³. Their analysis shows that improper representations of well understood phenomenon (like electricity production and consumption) easily enter into the public representations.

Generally, these different fields of research question the factual or substantial accuracy of the media. The question is approached in sociologic or influential stakeholders terms. Some applications exist in the political field (see for instance the emblematic analysis of Chomsky of media coverage of Timor Oriental war) but they are more limited in the economics.

The invitation to consider claims present in the public debate with suspicion meets layman wisdom: it is common sense that one should not trust the newspapers (not to the mention the politicians). Even children in their young ages are educated by their parents to distrust the media. It may then appear useless (or just good for academics) to investigate how claims on a given topic could be ill-formed. Such a comforting view should however be dismissed. People may actually **profess to distrust what the media tell, but actually do the contrary**: everyone’s view is deeply shaped by media message. This turns

1 The Role of the Media in the Construction of Public Belief and Social Change, Catherine Happer, Greg Philo, journal of social and political psychology 2013 vol 1. Role of media in shaping public opinion beligeds and policies.

2 “When we asked the groups to consider what the percentage of people who were fraudulently claiming disability benefits was the responses varied from ‘about 10%’ right up to 70%. The official figure is closer to 0.5%”.

3 Sorry, wrong number: The Use and Misuse of Numerical Facts in Analysis and Media Reporting of Energy Issues, Annual Review of Energy and the Environment Vol. 27: 119-158 (publication date November 2002) DOI: 10.1146/annurev.energ.27.122001.083458. Jonathan G. Koomey, Chris Calwell, Skip Laitner, Jane Thornton, Richard E. Brown, Joseph H. Eto, Carrie Webber, and Cathy Cullicott.

out to be specifically true for our area of investigation, where the general public adheres to the positive message conveyed in the public sphere; public opinion shares the belief of large EV diffusion potential, and that EV will deploy the short term.

It then becomes useful to investigate the validity of figures present in the public debate as they are just consistent with, and probably influential of, public opinion beliefs.

COMPARING METHODS FOR EV DIFFUSION FORECAST

In order to assess the soundness of EV claims it is useful to review methods available for EV forecast, and the scientific soundness of the various methodologies. It is a prerequisite to investigate whether figures entering the public debate are based on sound scientific principles. Table 1 provides a synoptic of such methods together with an, arguably subjective, assessment of their validity. We then present more in detail the various methods.

Table 1 – different methods available for innovative vehicles forecasts

Type	Declinations	Our informal assessment
Survey	• Willingness to buy	• Requires correction to accommodate for distortion
	• Survey among professionals	• Good or Excellent consumer knowledge, but predictive validity to be better explored
	• Conjoint Analysis – Stated preferences	• Good predictive validity for goods investigated in other areas. Proved validity to measure marginal rates of substitution among attributes, but predictive validity for innovative vehicles still to be tested.
	• Synthetic Utility Function	• Improves over other survey methods by consolidating across several SP surveys so as to reduce the impact of idiosyncrasies.
Total Cost of Ownership	• Pure TCO models	• Low: Consumers do not base their choices on TCO.
	• Various elaboration of TCO	• Usually constrained by the limitations of TCO
Diffusion models	• Bass diffusion	• Provides shape of diffusion curve but not the potential level. Makes it of limited use, unless complemented by other method.
	• Other mathematical formulations	• Similar to “Bass diffusion” with some variations
Flair	• Goes under many unspecified declinations	• What can I say?

SURVEYS

A first category of approaches relates to surveys. These come with different flavours that exhibit various scientific validity.

SURVEY AMONG CONSUMERS

The most straightforward approach to forecast sales relies on market surveys, where potential buyers are asked whether they would be willing to buy a certain technology. An example is provided by Pike Research which asked, in 2011, to 1051 Americans whether they would be interested in purchasing an electric vehicle, and collected a positive answer from 40% of them. An obvious limitation to such

surveys is that there is a gap between what people say and what people do. For this reason, marketing research has developed techniques that provide “correction factors” for willingness to buy expressed by consumers⁴. When uncorrected, survey results are of little use. The situation is probably better for survey results that operate corrections, but we are unaware of such results in our field of investigation.

SURVEY AMONG PROFESSIONALS

Another type of survey is directed toward professionals. This could be car industry representatives, concessionaires or any type of professional involved in automotive industry. The face value of such surveys is high as it recognizes that such professionals are knowledgeable of their business. Whether it can provide a good basis for forecasts needs careful consideration.

CONJOINT ANALYSIS OR STATED PREFERENCES

A different approach is based on what is called Conjoint Analysis or Stated Preference. In these surveys, the consumer is asked to express her preferences among various alternatives (such as cars technologies) defined by a set of attributes (for example: speed, price, or range). Using the answers provided by the interviewees, an analyst can infer information about the trade-offs made by consumers among the different attributes (for instance, how much range they can forgo in order to save on the purchase price). Usually, one of the attributes of the alternatives is price, allowing for the computation of willingness-to-pay for the other attributes.

SP have flourished in a number of forms and under a number of labels: Conjoint Analysis, Choice-Based Conjoint, and Stated Preference (although these different names capture differences that are sometimes relevant, for the purposes of this article we will, unless explicitly specified, use these different labels as synonyms) that share a common conceptual setting: analyzing the preferences of consumers based on preferences among hypothetical attribute combinations. Important is that the survey process responds to the specific features of Electric Vehicles⁵.

Eventually, Synthetic Utility Function, as illustrated by Massiani (2013, 2015)⁶ provided an innovative yet powerful way to consolidate across various studies through a meta analysis and to avoid results carrying too much idiosyncrasies of a given survey.

Frame 1 – SP surveys, advantages and limits

SP offer a number of advantages compared with competing approaches in the area of alternative fuel vehicles diffusion forecasting. First, they provide information about the effect of non-monetary attributes. As long as an attribute is present in the SP survey, information can be extracted on how it impacts on consumer choices. This appears to be of crucial importance in the case of electric cars, in that they have certain non-monetary features (such as range and refuelling time) that make them very distinctive from conven-

4 Morwitz (2007) When do purchase intentions predict sales? *International Journal Of Forecasting* Volume: 23 Issue: 3 (2007-01-01) ISSN: 0169-2070.

Manohar U. Kalwani and Alvin J. Silk (1982) On the Reliability and Predictive Validity of Purchase Intention Measures *Marketing Science* Summer 1982 1:243-286; doi:10.1287/mksc.1.3.243.

5 Massiani (2013) Stated preference surveys for electric and alternative fuel vehicles: are we doing the right thing?. DOI:10.1179/1942787514Y.0000000022. pp.152-160. In *TRANSPORTATION LETTERS* - ISSN:1942-7867 vol. 6.

6 Massiani (2012). Using Stated Preferences to forecast alternative fuel vehicles market diffusion. DOI:10.3280/SCRE2012-003006. pp.93-122. In *SR SCIENZE REGIONALI* - ISSN:1720-3929 vol. Vol. 11.

Massiani (2015). Cost-Benefit Analysis of policies for the development of electric vehicles in Germany: Methods and results. DOI:10.1016/j.tranpol.2014.10.005. pp.19-26. In *TRANSPORT POLICY* - ISSN:0967-070X vol. 38.

tional cars. Second, SP are intrinsically calibrated to consumer choice data. This contrasts with TCO, which is not, strictly speaking, calibrated to behavioural information, and with the Bass diffusion model, which sometimes is, but sometimes not, calibrated to *ad hoc* data. Third, SP survey results replicate consumer preferences in given market conditions. This can be an advantage in situations where the decision-maker is interested in consumer response in a given setting. For instance, he may be interested in purchase intentions relating to a given national or regional market, or over a given period of time, or he may be interested in the effect of certain specific attributes. One advantage of SP is that it is easy to tailor the data-collection process to the market conditions of interest. Fourthly, SP are intrinsically attribute-responsive, and consider both the alternative of interest and its competitors, which means that the forecasted choice probability of a given alternative will always be dependent on the level of the attributes under consideration.

Parallel to these advantages, some potential drawbacks of SP surveys are also discussed in the literature. These relate primarily to the hypothetical distortion that may occur in the survey. In some cases, it is possible to correct for possible hypothetical distortion by performing an additional calibration of the model on real-world data. This usually occurs through the calibration of an Alternative Specific Constant to actual market share. This technique is, however, of little help for alternative fuel vehicles, in that market share is close to 0. How to take into consideration the possible effect of hypothetical distortion for AFV diffusion forecasting is still on the agenda of transport economists. Besides hypothetical distortion, a slightly more challenging issue consequence relates to the framing effects that make SP results strongly dependent on the *modus operandi* of a survey. This issue may result in a caveat when using the outcome of a given SP survey uncritically. This is a line of argument that has partly motivated this paper, as will become apparent in the following sections. These issues should not be exaggerated, however. Generally, the scientific literature has gathered a body of evidence that SP exhibit a good level of predictive validity despite these issues (for a survey, see Massiani, 2005: 141-149).⁷

TOTAL COST OF OWNERSHIP

Total Cost of Ownership considers that the sum of operating and purchasing costs is the key determinant of vehicle purchase decision. In many applications of this method, it is considered that buyers will select the technology with the minor cost. TCO does not have a large echo in the literature on vehicle purchase, at least in transportation sciences. This relates to the variety of dimensions in car purchase mechanisms that do not seem to be summarized in cost considerations. Services provided by a car (think about autonomy, recharging time, not to mention style and others) are relevant factors while some economic aspect seem to have comparatively little effect (this applies for instance to fuel costs that are heavily discounted in real purchase situations). Whilst this approach is fairly simplistic in its assumptions, it has gained popularity in studies deriving from industry or consulting organizations, while it has received less attention in the scientific literature.

DIFFUSION THEORY

This approach aims at quantifying the future diffusion of a novel technology. The focus of method is to describe the path of diffusion from the current figures to an hypothesised potential. Among the various mathematical formulations, the one proposed by Bass is the most influential. It relies basically on two mechanisms that correspond to two different types of social influence: (1) adoption where individuals decide to buy the good autonomously and (2) imitation where purchase is determined by the growing popularity of a product. Mathematically:

⁷ Massiani (2005) La valeur du temps en transport de marchandises, Thèse de doctorat, Université Paris XII Créteil.

$$n_t = \frac{dN}{dt} = p(M - N_t) + q\left(\frac{1}{M}\right)N_t(M - N_t)$$

with:

n_t : purchase in period t

N_t : cumulative purchase up to period t

M : Market potential (first time purchase for the whole life cycle of the product)

p : innovation coefficient

q : imitation coefficient

$(M - N_t)$: residual sales at time t (difference between potential and achieved sales).

A typical diffusion pattern resulting from Bass diffusion model is illustrated in Figure 1.

There are several reasons for the success of this method (Massiani, 2012, 2015)⁸. Part of it relies on the good predictive value of this method as exhibited in the seminal works of Bass. However, the method presents some limitations relating to, among others, the focus on diffusion mechanisms considering a given potential, while the attention dedicated to long term potential is much less analysed.

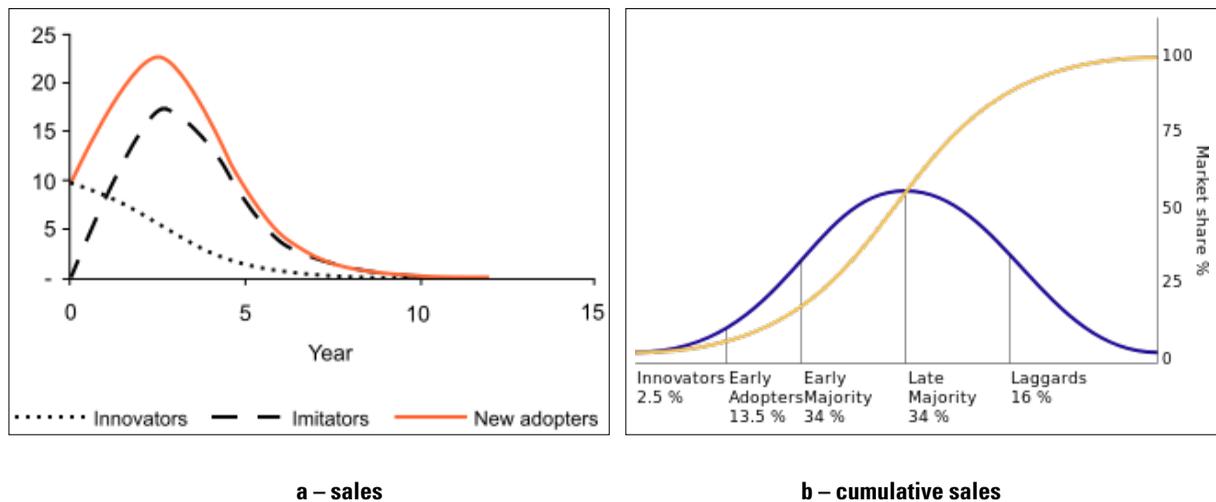


Figure 1 – typical diffusion pattern in Bass diffusion model

FLAIR

Another method is based on informal aggregation of one's information into a personal assessment, or, in our words : flair. Flair just depends on the personal ability and level of information of its proponent. In some cases, it elaborates on a very wide set of information and a large personal experience. While one can not a priori rule out such informal knowledge, it is however difficult to base a public policy on such features.

⁸ Massiani (2012). Using Stated Preferences to forecast alternative fuel vehicles market diffusion. DOI:10.3280/SCRE2012-003006. pp.93-122. In SR SCIENZE REGIONALI - ISSN:1720-3929 vol. Vol. 11

Massiani (2015) The choice of Bass model coefficients to forecast diffusion for innovative products: An empirical investigation for new automotive technologies. DOI:10.1016/j.retrec.2015.06.003. In RESEARCH IN TRANSPORTATION ECONOMICS - ISSN:0739-8859.

As we can see, **various tools are available to evaluate the future diffusion of innovative technologies**. In some cases, elaborated models mix various approaches (for instance SP surveys can be used together with Bass diffusion models: Stated Preference provides the potential while diffusion theory indicates how this potential is reached). **Each method comes with different scientific validity**: some of them are inappropriate for market diffusion forecast, others are more (Bass) or less (Synthetic Utility Function) problematic. It then becomes relevant to investigate how figures present in the public discussion were obtained, if there is some tropism in favour of a given method, and if the most frequent methods are the ones with the best predictive capability.

EV DIFFUSION: THE NUMBERS ON THE TABLE

To provide a corpus for analysis, we have systematically gathered written public claims made by a variety of agents about the future development of EV's. Our analysis provides a wide coverage of various segments of the public debate. For practical purpose, we restrict to written media and exclude audio and video messages. In our analysis, we refer to "quoting document" as the text in which a claim on EV diffusion is made. "Quoted source" refers, conversely, to the source from which the data derives (if specified). Table 2 presents the various quoting documents used in our analysis.

Table 2 – quoting document used as corpus (Oct. 2010- June 2012)

Category	Considered documents
Specialized press	<ul style="list-style-type: none"> • Al Volante • Auto • Gente Motori • Quattro Ruote • Autoage.it • Interautonews
Generalist press	<ul style="list-style-type: none"> • Lettera43 • Corriere della Sera • La Repubblica • Il Sole 24 Ore • Il Giornale
Professional Associations	<ul style="list-style-type: none"> • ACEA (Associazione Europea Costruttori Automobili) • FIA (Federazione Internazionale Automobili) • Unione Petroliera (Association of Italian oil Industry)
Parliament	<ul style="list-style-type: none"> • Hearing of specialized parliamentary commissions
Specialized Web sites	<ul style="list-style-type: none"> • GreenValue.it (blog on sustainable mobility) • ConsulenteEnergia.com (web site on energy issues) • GreenMe.it, (web site on green issues) • SicurAuto.it, (web site for italian car users) • RuotePerAria.com, (web site on sustainable mobility) • VirgilioGreen.it, (web site on green issues) • GreenStart.it, (web site on sustainable mobility) • ItaliaNoleggioNews.it, (web site on car rental)
Other	<ul style="list-style-type: none"> • ANSA, agenzia nazionale stampa associata • RaiTelevideo.it (Italian public national broadcast) • LaVoce.it, (online economic journal) • SoldiBlog.it (online financial blog)

Each source of information was investigated for:

- Prevision (relative or absolute numbers, subsequently translated in %)
- Indication of whether the prevision relates to Fleet share or Sales share
- Year for prevision
- Type of vehicles (EV, Hybrid or both)
- Date of issue
- Quoting document
- Quoted source of data
- Quoted method used for prevision
- Prevision presented as a policy objective or as a factual forecast

Whenever possible, we also investigated whether the quoted sources was supported by documents available for scrutiny.

CAN ONE BELIEVE, OR AT LEAST CHECK, THESE NUMBERS?

The initial purpose of our analysis was to check whether the figures present in the public debate correspond to methods with high or with low scientific validity. Our analysis actually unveiled a much more worrying situation, where it is substantially impossible to access any documentation on these claims. In this section, we first present the quantifications present in the public debate and successively investigate how much credit can be placed on them.

DIVERGING CLAIMS

We first **review the claims present in the public debate**. As a first step, we discard claims relating to “objectives” rather than to forecasts. After all, saying you want 1 million vehicles on German roads in 2020 is different than stating it will probably be so. Even restricting to forecasts, our analysis shows large deviations in market share prevision. Obviously, the comparison has to consider carefully the categories of vehicles accounted for, basically: Battery Electric Vehicle, Plug In Hybrid, Hybrid. It appears that the claims usually relate to two categories, a first one relating to Electric Vehicles (whether BEV whether Plug in Hybrids⁹), and another to (unplugged) Hybrid Vehicles. Figure 2 shows the various shares forecasted for these two categories of vehicles.

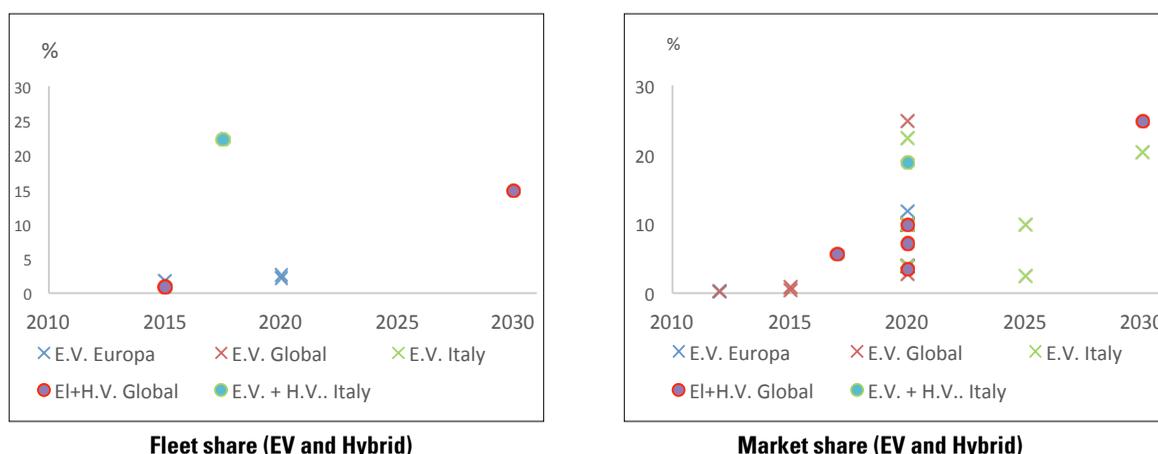


Figure 2 – EV diffusion forecast present in the public debate in Italy

⁹ There is however usually no explicit consideration of how Plug in Hybrids are considered, but its affinity to BEV is strong, so it is reasonable that claims on Electric Vehicles would also include Plug in Hybrids.

The tone is usually optimistic with only a couple of texts claiming that the market may be not so high as expected. Many statements refer to authority of their authors: “scrupulous” analysis by Milan Polytechnic, “prestigious” institution, “gurus” of consulting companies. Interestingly (or worryingly) we find many quantifications are ambiguous. It is often guessed, rather than made explicit, whether the figure relates to market shares or to fleet share (that accumulates sales on the life duration of the vehicles, and is, by construction, much lower than the former one for an emerging technology). In one case, a figure larger than 20 % of Electric Vehicles (both categories together) for Italian vehicles in 2017 is explicitly referred to as “fleet share” as we suspect it may refer to market share.

In this context, we explore now to which method, if available, these claims refer.

FIGURES DO NOT EXPLICIT THEIR SOURCES, OR THESE SOURCES ARE NOT PUBLICLY AVAILABLE, OR THEY DO NOT MINIMALLY DOCUMENT THEIR CLAIMS

First, it appears that **35 % of the claims do not refer to any source of information**. This seems to be more a substantial than a formal issue. The multiplication of undocumented claims can be seen as a symptom of ill configured public debate. In the remaining cases, when source of data is quoted, 38 % of the total number of claims refer only to the author (person or organization) that formulated the claim, with no reference to a proper document. In some cases, one can retrieve the study based on the author and some contextual information, but this is an uncertain reconstruction as appears from Table 3.

This table materializes the quest from the original document that a cautious analyst would need to go through in order to identify proper sources of data. It indicates that most of the data sources identified by author information, cannot be identified with sufficient reliability or are available upon payment.

The alternative case, where a reference **to an identified document is provided, represents 7 %** of the claims. But, in most of these cases, the referred document does not appear publicly available. In some cases again, the document can be obtained only upon payment (this applies for instance to Pike Research results). This materializes a **“trust us or pay us”** attitude in which the provider of the information seems to be winning in all cases – although the quality of public debate, and public policy resulting from it, may ultimately be harmed.

Considering these different factors, we observe that **only one claim among 97 is open to scrutiny** (a survey among concessionaires), but it has a rather limited scientific status and does not really express a quantified forecast (it states that half of the concessionaires estimate the market share of EV to be smaller than 1% in the near future). Two others claims (Deloitte report and a Unione Petroliere) provide publicly available reports, however they offer a low (Deloitte report) or inexistent (Unione Petroliere) level of detail on the calculations.

The picture that emerges from our analysis can be summarized in Figure 3: a tiny fraction of the claims are documented, and more worrying, none of documented claims is based on a method with scientific credentials.

Another relevant aspect relates to the method that is associated with these claims. As far as method are concerned, **94 % of quoting documents do not explicit methodology (or correspond to “flair”)**, and the remaining 6 % refer to Expert survey, or in one case, to “market survey”. When the original methodology used in the source paper is investigated, only limited information can be found. No evidence can be found of a penetration in the public debate of results based on TCO, Bass and other diffusion models, SP surveys or, better, Synthetic Utility Function.

Another striking feature is that independent (typically academic) research, and especially peer reviewed contributions, are substantially absent from the public debate. One claim refers to Milan Polytechnic study, but there is no unambiguous way to identify the corresponding document in which this claim was made. **Publications made by scientific journals have no echo in the public discussion.**

This situation is not positive as academic studies would normally exhibit a better level of scrutiny, if not of competence. This could signal a situation of capture of the debate by industrial stakeholders, which can prosper due to low interest of academics in promoting their results in the public sphere, or to good communication skills of other stakeholders, typically industrial and consultants.

This situation challenges our initial purpose to assess the tropism of claims based on the validity of the underlying methodology. The quality of these claims is not checkable which implies that it should be considered very low confidence.

Table 3 – The quest for the original data: most claims cannot be scrutinized in publicly available documents

Certainty of the source	Document title or description	Author	Availability
Weak	2013 report containing information on electric vehicles in Europe	Pike research	Pike research reports usually available upon payment
Weak	2011 report containing information on electric vehicles worldwide	Pike research	Idem
Weak	2012 report containing information on Electric vehicle sales worldwide in 2020	Alix Partners	Document could not be identified with sufficient certainty
Weak	2009 report containing information on Electric Vehicle sales in Europe in 2015	Frost and Sullivan	Idem
Weak	2012 report on global penetration of Electric vehicles*	Exxon Mobile	Idem
Weak	2010 and 2011 reports containing information on worldwide diffusion of electric vehicle	JD Power	Idem
Weak	2011 reports	Global Insight, Deloitte, Deutsche Bank	Document could not be identified with sufficient certainty
Limited	"The-electric-and-range-extended-electric-light-vehicle-report" (2012)	HIS automotive	HIS report made available upon payment
Acceptable	Pre 2012 Deloitte report containing information on US EV penetration (3,1% in 2020).	Deloitte	A report with similar figures is: Gaining Traction: A customer view of electric vehicle mass adoption in the U.S. automotive market, Deloitte, 2010**
Reasonable	Previsioni di domanda energetica e petrolifera italiana 2010-2025	Unione Petroliere	Only report of year 2011 appears available. Table 13 indicates 100 000 electric vehicles in 2025. No methodological report is present.
High	"Plug-in electric vehicles (2012)" ****,*****	Pike research	13 p. Free excerpt Full version upon payment
Acceptable	Pre 2012 Deloitte report containing information on US EV penetration (3,1% in 2020).	Deloitte	A report with similar figures is: Gaining Traction: A customer view of electric vehicle mass adoption in the U.S. automotive market, Deloitte, 20105
Reasonable	"Previsioni di domanda energetica e petrolifera italiana 2010 - 2025"	Unione Petroliere	Only report of year 2011 appears available. Table 13 indicates 100 000 electric vehicles in 2025. No methodological report is present.
High	"Plug-in electric vehicles (2012)" 6,7	Pike research	13 p. Free excerpt Full version upon payment

* Full title of free excerpt: Plug-in electric vehicles (2012) Battery Electric and Plug-in Hybrid Electric Vehicles: OEM Strategies, Demand Drivers, Technology Issues, Key Industry Players, and Global Market Forecasts.

** The method is based on interviews: "The key component of Pike Research's analysis is primary research gained from phone and in-person interviews with industry leaders including executives, engineers, and marketing professionals".

*** Not the energy outlook 2012, as it contains figures on 2040 worldwide diffusion while the quoting documents refers to 2030.

**** "Primary research includes interviews with executives from auto companies, start-ups, dealers, energy companies and survey of 2,000 current vehicle owners. Quantified an "early majority segment" of the U.S. by matching criteria against U.S. census data as 1.3 million, or 3.1% of US auto sales in 2020".

Note: year quoted in column "document title" is the year of the quoting document. Actual source of data may be anterior.

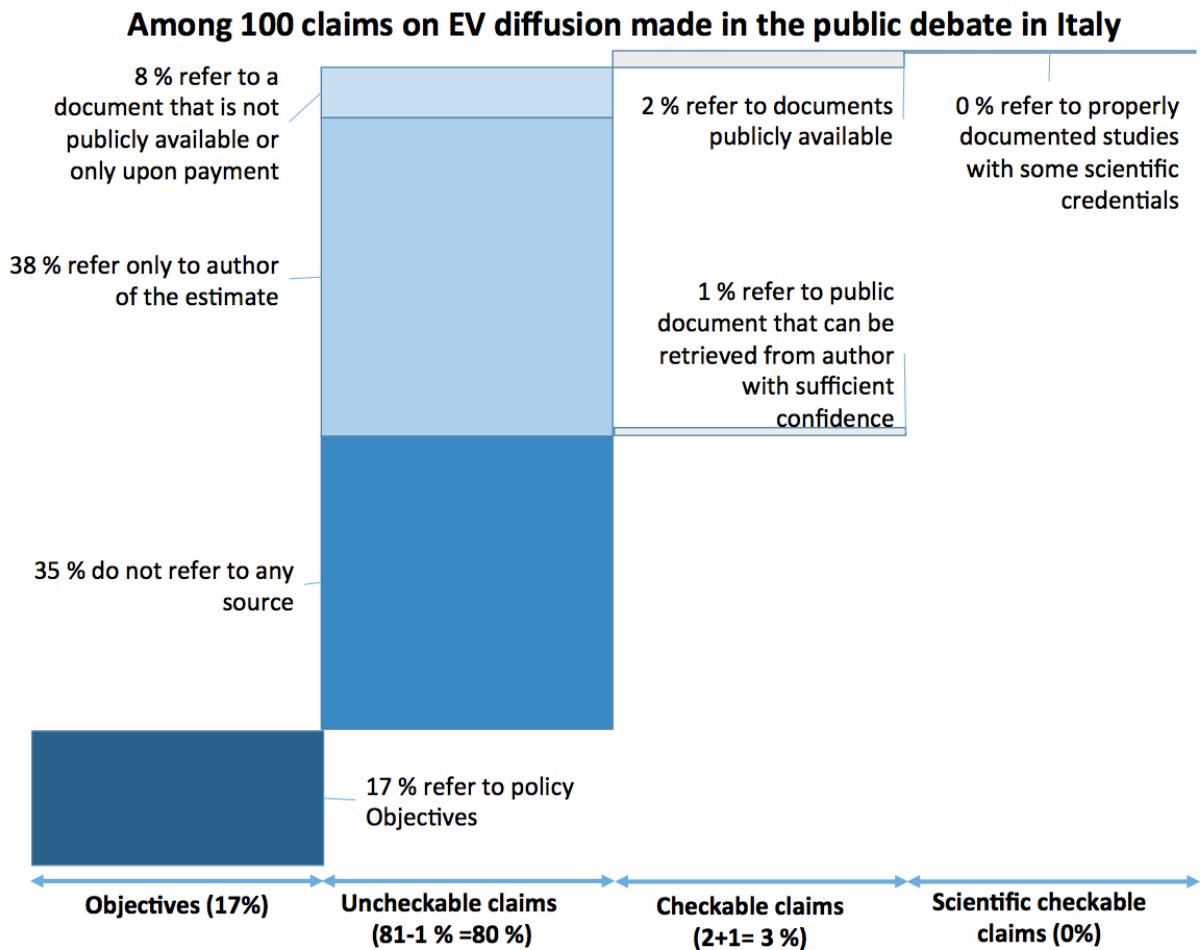


Figure 3 – Decomposition of EV claims based on the level of documentation (and use of sound scientific method)

CONCLUSIONS

Electric Vehicles, and associated technologies like Hybrids and Plug in Hybrids are frequently referred to as technologies with high potential in the next years. Our purpose to investigate the scientific validity of these claims quickly vanished considering the low level of “accountability” of such figures. A very limited fraction of such figures makes its source explicit in a way that allows for minimal scrutiny. In the most favorable situation, the analyst faces the, strongly dishonest, injunction “if you don’t trust us just pay us” or, in one occurrence, a slightly better reference to unidentified Milan Polytechnic University “scrupulous analysis”. Generally, **estimates providing scrutiny and neutrality do not enter the public debate.**

It is to fear that this situation is symptomatic of a drift in public debate. It also creates a context in which cross validation of claims is the easy way to go. If everyone says EV will reach more than 10%, 10 years from now and there is no way to check for these claims, then the easy way is just to make similar statements. In a way, it is like “*l’homme qui a vu l’homme, qui a vu l’homme, ... qui a vu l’ours* » (a

French saying referring to a situation where people beliefs elaborate on other peoples beliefs with low correspondence to the original phenomenon). This generates as well hypermediality (people referring to media contents is a way of reinforcing beliefs) in the professional community of car industry analysts.

This situation could result in two possible attitudes. The **first, probably naïve, one** relies heavily, and arguably excessively, on the professional capacity of car industry analysts: “*these guys probably know what they are doing*”. This is nice, but should one believe that car industry analysts did their jobs, if journalists and other public debate participants did not, by not exerting minimal checks or at least providing material for such checks from the recipient of the message. The other possible reaction, a **more skeptical, if not nihilist one**, is to reject claims, consistent with layman’s conviction that one should not believe what the media convey. This comfortable position allows to adhere to personal beliefs without considering third part information. It however seems that this claimed skepticism is ineffective in preventing against abuses in the way the public debate portraits the future of Electric Vehicles.

Riferimenti bibliografici

- HAPPER, CATHERINE and GREG PHILO. "The Role of the Media in the Construction of Public Belief and Social Change", *Journal of social and political psychology* 2013 vol 1. Role of media in shaping public opinion beliefs and policies.
- KALWANI, MANOHAR U. and ALVIN J. SILK (1982), *On the Reliability and Predictive Validity of Purchase Intention Measures Marketing Science* Summer 1982 1:243-286; doi:10.1287/mksc.1.3.243
- KOOMEY, JONATHAN G., CHRIS CALWELL, SKIP LAITNER, JANE THORNTON, RICHARD E. BROWN, JOSEPH H. ETO, CARRIE WEBBER, and CATHY CULLICOTT. "Sorry, wrong number: The Use and Misuse of Numerical Facts in Analysis and Media Reporting of Energy Issues", *Annual Review of Energy and the Environment* Vol. 27: 119-158 (publication date November 2002) DOI: 10.1146/annurev.energy.27.122001.083458.
- MASSIANI JÉRÔME (2012). "Using Stated Preferences to forecast alternative fuel vehicles market diffusion". DOI:10.3280/SCRE2012-003006. pp.93-122. In *SR SCIENZE REGIONALI* - ISSN:1720-3929 vol. Vol. 11
- MASSIANI JÉRÔME (2015). "Cost-Benefit Analysis of policies for the development of electric vehicles in Germany: Methods and results". DOI:10.1016/j.tranpol.2014.10.005. pp.19-26. In *TRANSPORT POLICY* - ISSN:0967-070X vol. 38
- MASSIANI JÉRÔME (2013) "Stated preference surveys for electric and alternative fuel vehicles: are we doing the right thing?". DOI:10.1179/1942787514Y.0000000022. pp.152-160. In *TRANSPORTATION LETTERS* - ISSN:1942-7867 vol. 6
- MASSIANI JÉRÔME (2005). *La valeur du temps en transport de marchandises*, Thèse de doctorat, Université Paris XII Créteil.
- MASSIANI JÉRÔME (2012). "Using Stated Preferences to forecast alternative fuel vehicles market diffusion". DOI:10.3280/SCRE2012-003006. pp.93-122. In *SR SCIENZE REGIONALI* - ISSN:1720-3929 vol. Vol. 11
- MASSIANI JÉRÔME (2015). "The choice of Bass model coefficients to forecast diffusion for innovative products: An empirical investigation for new automotive technologies". DOI:10.1016/j.retrec.2015.06.003. In *RESEARCH IN TRANSPORTATION ECONOMICS* - ISSN:0739-8859.
- MORWITZ, VICKY G. (2007) "When do purchase intentions predict sales?", *International Journal of Forecasting* Volume: 23 Issue: 3 (2007-01-01) ISSN: 0169-2070.

Environmental impact of electric car production shifts

TULLIO GREGORI

DISPES, Università di Trieste

1. INTRODUCTION

Concerns about the future availability of fossil fuels, increasing greenhouse emissions and air pollution have motivated governments and manufacturers to consider alternative transport energy pathways. Globalization and growth in developing countries such as BRICS pose a threat as, according to the CIA Factbook, US oil consumption is about 61 barrels per day per 1000 people, while in Brazil and China is less than 10 and only 3 in India. Due to rapidly growing countries' car demand, the target of 1.1 billion cars on the road in 2013 and 1.5 in 2050 predicted by Lee and Lovellette (2011) might be achieved sooner. Hence, targeting the private transportation sector as a major emitter of carbon dioxide equivalents is a step in the right direction in regards to reducing emissions. For instance, of all the oil consumed in the U.S., 70% is used for transport and American passenger vehicles use 70% of transportation oil (Todd et al. 2013). It is clear that the current pattern of fuel consumption and pollution is not sustainable. Maybe in an almost near future technical change, subsidies and oil price increases might change the picture and shift consumer demand away from internal combustion engine powered cars (ICE) to battery electric vehicles (BEV) or fuel cell electric vehicle (FCEV). For the time being "*the relative costs of electric vehicles remain elevated for consumers and even more so for society under current conditions and typical use scenarios*" (Crist, 2012, p. 5). Moreover it is important to remember that BEV are displaced emission rather than zero emitters as electricity production can use fossil oil too and generate standard pollution. In the last decade, many papers and reports have examined various scenarios about the introduction of electric vehicles including environmental impacts, employment shifts, impacts on the electrical grid, private and economic costs. They have looked at a vast variety of issues ranging from potential demand of BEV to job creation potential or quality of life (Todd et al. 2013, Massiani, 2015) but a major task is to evaluate the complete life cycle of the vehicle. Well-to-wheel (WTW) assessments are questionable as they only considers the production of the fuel or electricity (Well-to-Tank) and the

tailpipe emissions (Tank-to-Wheel). “This creates a bias towards zero-tailpipe emission vehicles, as the environmental impacts associated with the production of specific components, such as batteries, are not taken into consideration” (Messagie et al., 2013, p. 1468). Life cycle assessment (LCA) is a better technique to analyse the total impacts of a good or service through the different stages of fabrication, usage, and end-of-life treatment. As shown in Figure 1, this analysis is sometimes termed “cradle-to-grave” as it includes the extraction of raw materials embodied in a product all the way to disposal or recycling.

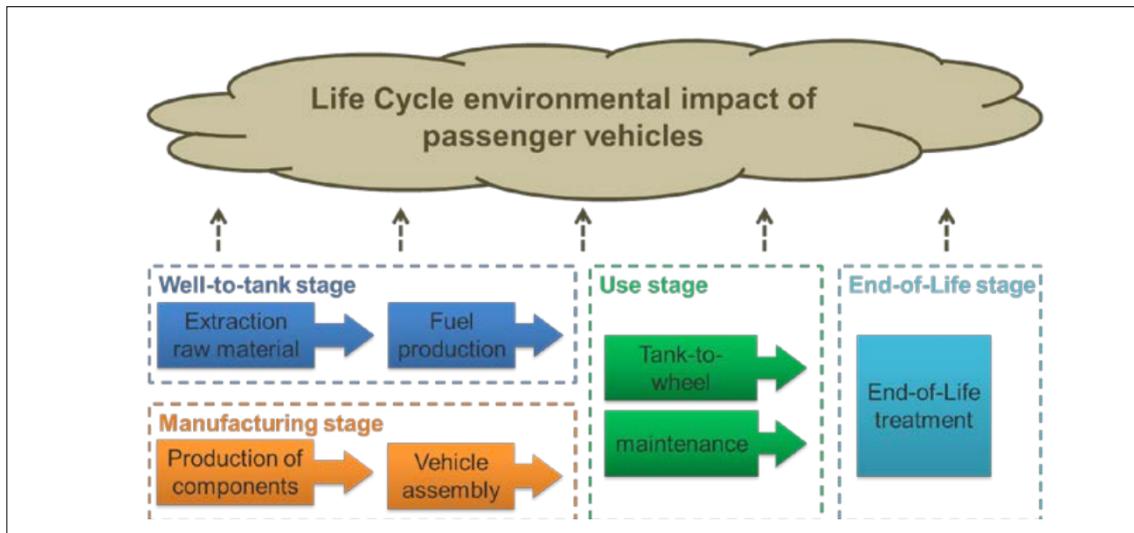


Figure 1 – Schematic representation of the different life cycle stages of a vehicle
 Source: Messagie et al. (2013)

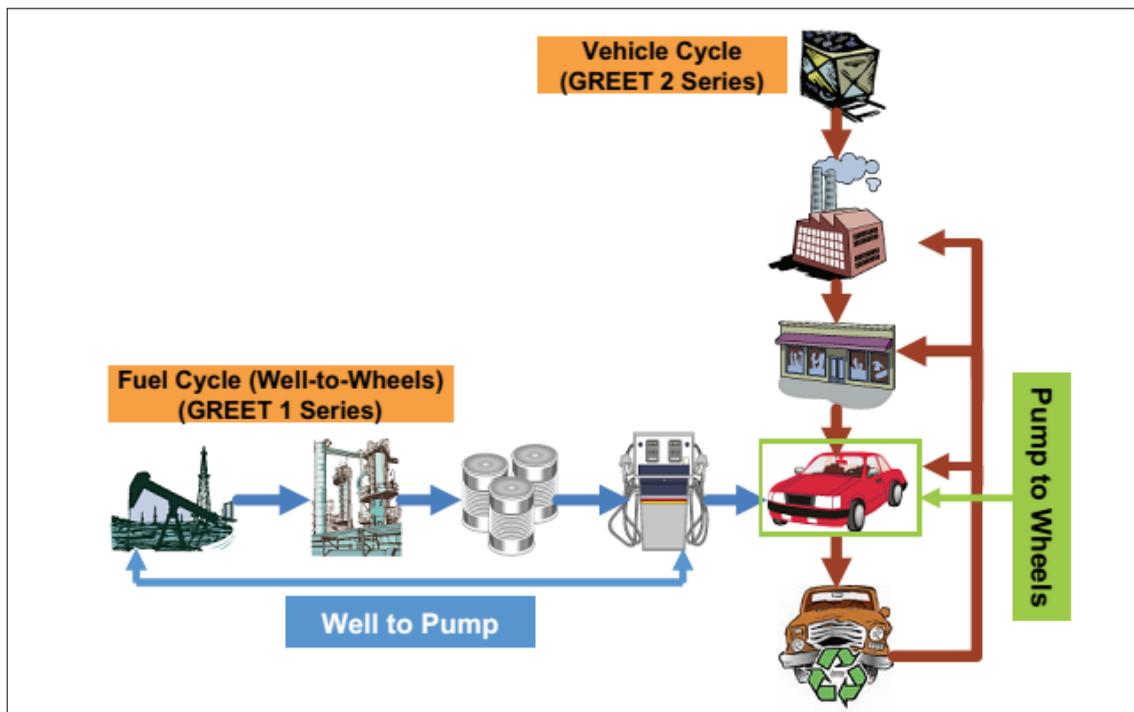


Figure 2 – Total Energy Cycle for Transportation Technologies (Burnham et al., 2006)

LCA is an important tool but capturing all the environmental consequences of fabricating a BEV or FCEV is far from being easy and several reviews stress the uncertainty underlying these analyses (Contestabile et al., 2012, Hawkins et al., 2013, Wilson, 2013). Actually, analysts must draw boundaries as in Figure 1 and it is easy to omit relevant outputs or stages in the supply chains, given the complexity of this product. For instance, the life-cycle model GREET 2.7 by Burnham et al. (2006) combines a *fuel-cycle*, which contains data on fuel cycles and vehicle operations, with a *vehicle-cycle* about the energy and emission effects associated with vehicle material recovery and production, component fabrication, assembly, and disposal/recycling. Figure 2 shows the basic scheme about this lifecycle-based study that has been used to compare the energy use and emissions of conventional and hybrid electric vehicles or fuel cell vehicles. The task is somehow daunting since requires a huge amount of data about energy use and emissions of four major groups: vehicle materials; batteries; fluids; and vehicle assembly, disposal, and recycling (ADR). Each of them can have thousands of parts and for every activity involved within these groups, the energy use and emissions (including emissions from both fuel combustion and specific processes) should be estimated.

Then we should provide several production trees, each one shows upstream inputs required for the production of every item included in figure 2. However, each product tree can continue back for a potentially very large number of production layers and loops or cycles will soon appear in these graphs. If an analyst stops after a few levels, he will underestimate environmental effects and reported total emissions will suffer from truncation errors. This is the likely reason why many vehicle-LCA studies provide contradictory results making it difficult to suggest appropriate decisions to policy makers. Moreover, confidential information cannot be easily available to practitioners, as carmakers often do not disclose their production recipes. Finally, double counting is a very likely issue, as it is difficult to impute carbon emissions to specific production trees. Summing up, we can state that LCA methodology is time-consuming, expensive and questionable as often the system boundaries that define the relevant processes are set arbitrarily and private information sometimes does not allow to validate or even compare data and results.

The purpose of this paper has a quite narrow task as I focus on the manufacturing stage in figure 1. The importance of car making pollution is recognized in the literature. Yet “*a few studies consider battery/or EV production explicitly, at varied levels of details and transparency*” (Hawkins et al., 2012, p. 54). This an interesting issue as it has been claimed that manufacturing emissions “*have the potential to be very different between petrol cars and electric vehicles... (due to) both energy intensive manufacturing and a lifetime mileage that is expected to be lower for an electric car, due to range restrictions and battery life*” (Wilson, 2013, p.16). The literature shows CO₂ emissions resulting from manufacturing should be very significant (Van den Bossch et al., 2006, Matheys et al., 2008, Samaras et al., 2008, Ou et al., 2010, Zackrisson et al., 2010, Kushnier and Sanden, 2011, Majeau-Bettez et al., 2011). Although, “*the high sensitivity of the environmental impacts of battery production to particular manufacturing processes and to the energy mix prevalent in the geographic location of production, coupled with the limited number of studies available, means that it is not possible at this stage to say with any confidence what the range of environmental impacts of battery production are*” (Contestabile et al., 2012, p. 5).

I adopt Environmental Extended Input Output models (EEIO) or IO LCA (Lifset, 2009). EEIO is a powerful tool in supporting information-based environmental and economic policies that result from a particular technological change. This technique is so successful since adopts a comprehensive accounting framework that, in principle, can cover all economic activities and products. Input-output analysis integrate information from energy or material use or pollution into the standard Input-Output model (Miller and Blair, 2009). It has been observed that this approach has limitations as the amount of sectoral/product disaggregation may be insufficient for the desired level of analysis and these models includes sectors that produce homogenous products rather than processes (Hendrickson et al, 1998). Furthermore, the standard symmetric input-output model assumes that each industry sells its characte-

ristic output to all other economic activities and to final consumers at the same price. Practitioners must accept these and other questionable assumptions, which can bias and alter results. Furthermore, IO data are in often in monetary values while environmental analyses need physical units, and their integration is far from being trivial. However, in the following I show how Environmentally Extended Input-Output (EEIO) models are a valuable source of information as they consistently connect consumption, production and environmental impacts into a transparent system of equations, which allow to examine the direct and indirect effects of different economic activities.

The paper is divided into three sections. First, I introduce IO accounting. While symmetric tables are commonly used in EEIO they rely on Make and Use rectangular matrices, which show production of domestic industries and purchases of commodities by firms and final users. Second, I discuss how to assess technical change due a shift from ICE to BEV production. Third, I introduce our dataset and provide a tentative economic and environmental assessment using different scenarios about BEV adoption. Finally, I discuss directions for further research.

2. INPUT-OUTPUT ACCOUNTING

Input-output transactions can be arranged in several tables, which records flows for a particular period of time in physical or monetary value terms. The standard Leontief system deals with both sides of each market allowing for discretionary consumption and non-produced primary factors. The demand side includes both intermediate and final components, while supply displays production by firms. Let f_i final demand for the i -th commodity and u_{ij} is the quantity of the same commodity bought by j -th industry. Then, the total use of commodities is described by the following system:

$$q_i = \sum_{j=1}^n u_{ij} + f_i \quad i = 1, \dots, m, \quad (1)$$

where m commodities are demanded by n industries and final users. From (1) we can derive the Use matrix U , which records the commodities, purchased and used by each industry as intermediate inputs to current production. The Use matrix can be in either physical quantities or monetary values. The latter have to be adopted when its columns show payments for intermediate inputs and primary inputs, that is value added given by compensation of employees, taxes less subsidies on production, depreciation and operating surplus.

Table 1 – Make and Use matrices

	PRODUCTS	INDUSTRIES		FINAL	DEMAND		TOTAL
Products		Use Matrix	Private consumption	Government consumption	Gross capital formation	Exports	Total use of products
Industries	Make matrix						Total domestic output
Value Added		Value added					
Imports	Imported products						
Total	Total supply of products	Total domestic output					

Sectoral total output is the sum of its deliveries of any commodity measured at basic prices (net of trade and transport margins and taxes on products):

$$g_i = \sum_{j=1}^m v_{ij} \quad i = 1, \dots, n. \quad (2)$$

This system of equations can be arranged in the Make matrix where rows reveal the value of each commodity produced by each industry. Industries are classified according to the principal product and the value of the primary product is on the main diagonal while other entries along the i -th row present secondary products. Entries in a column represent the value of production by each industry of the commodity named at the head of the column. Adding commodities taxes and subsidies we get domestic supply, while total supply include imported goods at c.i.f. prices.

The complete set of matrices is represented in table 1, where matrix dimensions have been previously defined as \mathbf{V} is the $(n \times m)$ Make matrix, \mathbf{U} the $(m \times n)$ Use matrix, \mathbf{q} is the $(m \times 1)$ commodity gross output vector as defined by (1), while \mathbf{f} has the same dimension and refers to final demand. Vectors \mathbf{g} and \mathbf{w} are $(n \times 1)$ industry output and value added vectors. The former can be diagonalized to get the commodity by industry direct requirement matrix is:

$$\mathbf{B} = \mathbf{U}(\hat{\mathbf{g}})^{-1}, \quad (3)$$

whose entry $b_{ij} = u_{ij}/g_j$ shows the amount of the i -th commodity required to produce one unit of the j -th industry. While dividing the Make matrix by sectoral output we see how much of the total production in any industry is attributable to the production of the j -th commodity:

$$\mathbf{C} = \mathbf{V}'(\hat{\mathbf{g}})^{-1}. \quad (4)$$

Dividing \mathbf{V} by commodity total production, we get commodity quotas produced by each industry:

$$\mathbf{D} = \mathbf{V}(\hat{\mathbf{q}})^{-1}. \quad (5)$$

Commodity output \mathbf{q} is equal to intermediate commodity production that is actual commodity by industry direct requirements times total industry output, plus commodity deliveries to final demand:

$$\mathbf{q} = \mathbf{B}\mathbf{g} + \mathbf{f} \quad (6)$$

where \mathbf{q} and \mathbf{g} span very different spaces. For instance, United Nation's International Standard Industrial Classification (ISIC) contains 17 major sections and 291 classes with four digit coding, while Central Product Classification (CPC) consists of 10 sections (one-digit coding) up to 1,787 sub-classes (five-digit coding) or the Harmonised commodity description of the UN with the Combined Nomenclature has 19.000 classes. However, empirical applications have been criticized as “*even with 519 economic sectors represented¹, the amount of disaggregation may be insufficient for the desired level of analysis*” (Hendrickson et al, 1998, p. 190).

The model is simplified further as most of empirical analyses deals with Symmetric Input Output (SIO) table where the same classification is used in both rows and columns. Either an industry-by-industry or a commodity-by-commodity table can be derived. In the former, product technologies are depi-

1 As in the US IO tables.

cted in columns of the SIO matrix, while rows represent the distribution of products to intermediate and final uses. The latter considers industries as groups of establishments or enterprises. In the commodity or product SIO matrix secondary products must be transferred and inputs associated with secondary outputs must be removed from the industry in which that secondary output actually takes place to the activity to which characteristically belong. Questionable assumptions must be made (Miller and Blair, 2009, Gregori, 2009) and nowadays national and international statistical agencies publish both symmetric transaction flows and rectangular ones, i.e. the Make and Use matrices. In the former, we can distinguish between two distinct forms of equilibrium. If \mathbf{T} is the symmetric interindustry transaction flow matrix then total output by industry \mathbf{x} is the sum of final (\mathbf{y}) and interindustry demands:

$$\mathbf{x} = \mathbf{T}\mathbf{i} + \mathbf{y} \quad (7)$$

and supply of primary (i.e. value added \mathbf{v}) and interindustry inputs from all sectors forming the national economy:

$$\mathbf{x}' = \mathbf{v} + \mathbf{i}'\mathbf{T}. \quad (8)$$

As for the Use matrix, (7) can be either in physical or in value terms while (8) makes sense in monetary flows only. This system provides the analytical framework for most of EEIO models that assume the following input or technical matrix:

$$\mathbf{A} = \mathbf{X}(\hat{\mathbf{x}})^{-1}, \quad (9)$$

where \mathbf{X} is the physical flow matrix. From the value table \mathbf{T} we get:

$$\mathbf{S} = \mathbf{T}(\hat{\mathbf{p}}\hat{\mathbf{x}})^{-1}, \quad (10)$$

where \mathbf{p} is the price vector. With homogeneous prices, it is easy to see that the following relationship holds:

$$\mathbf{S} = \hat{\mathbf{p}}\mathbf{A}(\hat{\mathbf{p}})^{-1}. \quad (11)$$

Standard micro theory shows that profit-maximizing industries endowed with Leontief production functions will choose outputs and prices according to:

$$\mathbf{x} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{y}, \quad (12)$$

$$\mathbf{p} = (\mathbf{I} - \mathbf{A}')^{-1} \mathbf{v}. \quad (13)$$

System (12) is an equilibrium material balance with exogenous final demand, while industries are price setting due to constant returns to scale implied by Leontief production functions (Varian, 1992). We must stress that technological structural relationships are in physical units while most of compiled tables report flows in value. We can derive the input matrix if sectors are compared in a point in time (or period) or the Leontief model is true and the law of unique price holds. However, we must be careful when we assess the impact of a new product with a different price as in the ICV vs BEV comparison. Matrix inverses $\mathbf{L} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$, $\mathbf{K} = (\mathbf{I} - \mathbf{A}')^{-1}$ are useful as their entries depict multipliers. Standard applications concern impact analysis, where a new final demand and/or valued added or their respective projections show by how much output and prices will change. Nonetheless, technical change can modify equilibria too. A new input matrix, due to a modification in production technologies, can change output too. This is our setting, as I assume a new production function to manufacture electric cars. I discuss this issue and environmental extensions in the next section.

3 – ENVIRONMENTAL EXTENSIONS AND TECHNICAL CHANGE IN IO

The IO framework has been extended to include environmental issues since the late ‘60s. Within this huge literature, we can distinguish three strands (Miller and Blair, 2009). The first one augments the basic IO table adding new sectors usually linked with specific spending programs such as pollution abatement. These programs usually require a comprehensive examination of a wide variety of effects ranging from employment to capital provision. A suitable procedure is to introduce new sectors in either the technical coefficient matrix, as suggested by Leontief (1970), or in the Supply-Use tables (Quyum, 1991, Luptacik and Böhm, 1999). With a SIO, in the case of pollution abatement, the added column is the technology needed in such a program while row coefficients depict the amount of this new product needed per each euro’s worth of every industry output. Alternatively, we can deem pollution generation where existing sectors produce a given amount of waste that is included in the new technical matrix. In the latter these “negative inputs” and their associated “pollution multipliers” can require more stringent requirements than the standard Hawkins-Simon conditions, to provide meaningful solutions (Luptacik and Böhm, 1994). However, it can be shown that a non-negative solution exists if the amount of pollution generated by the pollution-abatement sector is less than the amount it eliminates. *“The Hawkins-Simon conditions are satisfied for the extended model when the amount of pollution generated in the economy is greater than the amount desired. More generally, this indicates that in polluted areas where pollution generally exceeds the tolerated or desired levels, the augmented model satisfy the Hawkins-Simon conditions. If this is not the case, this augmented model is not necessary”* (Miller and Blair, 2009, p. 481).

A more comprehensive approach is the so-called Economic–Ecologic model that adds an ecosystem matrix rather than appending one sector only. This extension is similar to interregional IO models where several economies are linked together in a unique framework. Taking advantage of the assumption of linear relationships, the Economic–Ecologic model deems flow matrices within and between both industries and environmental processes, where off diagonal submatrices show links between standard economic activities and the ecosystem. Daly (1968) adopts a highly aggregated industry-by-industry framework while Isard et al. (1972) opt for the commodity-by-commodity accounting scheme with multiple outputs and pollutants. Both approaches are very data demanding. Therefore, Victor (1972) suggests a smaller model with a limited scope that is shown in Table 2. This accounts only for flows of ecological commodities from the environment into the economy and waste products from the economic system into nature. **R** is the matrix of economic commodity by ecological commodity outputs, that is the amount of each ecologic commodity discharged as a result of production, while **B** depict ecologic commodity-by-industry inputs, i.e. the amount of ecological commodities utilized by each sector.

Table 2 – Limited Commodity-by-Industry Economic–Ecologic model

	Economic system			Ecological system	
	Products	Industries	Final demand	Total output	Ecological Commodities
Products		U	y	q	R
Industries	V			x	
Value Added		v			
Total output	q	x'			
Ecological commodities		B			

Our approach is simplified as we consider SIO monetary tables extended with environmental information for every sector. These external effects can be measured in physical or monetary terms and are apt to express the impact of a quantitative change in the economy due to a larger BEV demand.

Let's introduce the direct impact matrix $\mathbf{D} = [d_{ij}]$ that shows the amount of the i -th pollutant, say CO₂, generated per euro's worth of j 's output. \mathbf{D} is sometimes called the intervention matrix. Hence the overall level of pollution associated with a given vector of total output is:

$$\mathbf{x}^P = \mathbf{D}\mathbf{x} = \mathbf{D}(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{y} \quad (14)$$

where \mathbf{x}^P is the total direct and indirect vector of environmental burdens. If we are interested in the contribution to the total burdens from different final demand categories we can turn to Sraffian vertically integrated sector or subsystems (Pasinetti, 1973). This is performed diagonalizing the final demand vector in order to obtain a matrix $\bar{\mathbf{X}}^P$ in which each column gives the burdens attributed to the corresponding category of final demand.

If the intervention matrix is also in monetary values, we can figure out the overall burden in each sector adding up items in a given column: $\mathbf{d}' = \mathbf{i}'\mathbf{D}$, where \mathbf{i} is the usual column summation vector. Hence, we can derive the value per unit of sectoral output simply dividing by actual production: $\lambda_i = d_i/x_i$ $i = 1, \dots, n$ and get the subsystem representation of the EEIO in money value:

$$\bar{\mathbf{X}}^M = \hat{\lambda}(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\hat{\mathbf{y}}, \quad (15)$$

where final demand and direct pollution coefficients have been diagonalised. Gregori e Schachter (2001) show that (15) can be represented by a concatenation of König digraphs that is helpful to stress the role of the Leontief inverse since $\bar{x}_{ij}^M = \lambda_i l_{ij} y_j$. Within this framework, the topological structure of the model, in terms of strategic links between sectors, is still condensed in the multiplier matrix \mathbf{L} . Therefore, we have to open such a black box, as suggested by Gregori e Schachter (2001), to get a better understanding about the multilayer mechanism described in Kitzes (2013).

These models can be written in the so called “*impact analysis form*”:

$$\tilde{\mathbf{x}} = \mathbf{H}\mathbf{y} \text{ where } \mathbf{H} = \begin{bmatrix} \mathbf{D} \\ \mathbf{L} \end{bmatrix}, \tilde{\mathbf{x}} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}^P \\ \mathbf{x} \end{bmatrix}, \mathbf{D}^* = \mathbf{D}\mathbf{L} \quad (16)$$

or in “*planning form*”:

$$\tilde{\mathbf{x}} = \mathbf{G}\mathbf{x}, \text{ where } \mathbf{G} = \begin{bmatrix} \mathbf{D} \\ \mathbf{I} - \mathbf{A} \end{bmatrix}, \tilde{\mathbf{x}} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}^P \\ \mathbf{y} \end{bmatrix}. \quad (17)$$

Impact analysis is the most common framework in the literature that investigates the relationship between industry outputs and other elements items associated with them, ranging from employment and pollution to environmental and energy use (Arden et al., 2009, Miller and Blair, 2009, Nathani, 2009). Final demand is still driving these processes and we can cast even an optimizing model so that public consumption or investment is controlled in order to maximize a social welfare function or multiple objectives (Cohen, 1978, Nijkamp e Rietveld, 1976, Tanino et al., 2003).

This paper's task is different. I would like to analyse the effect of a gradual switch from ICE to BEV in production and consumption. This calls for structural decomposition analysis. Changes in gross output can be decomposed in several ways. However, according to Dietzenbacher and Los (1998), a suitable one is the following:

$$\Delta \mathbf{x}^P = \frac{1}{2} \Delta \mathbf{D}(\mathbf{L}^1 + \mathbf{L}^0)(\mathbf{y}^1 + \mathbf{y}^0) + \frac{1}{2}(\mathbf{D}^1 + \mathbf{D}^0)\Delta \mathbf{L}(\mathbf{y}^1 + \mathbf{y}^0) + \frac{1}{2}(\mathbf{D}^1 + \mathbf{D}^0)(\mathbf{L}^1 + \mathbf{L}^0)\Delta \mathbf{y}$$

where superscript 0 refers to the actual car provision, i.e. ICE, while superscript 1 is the new car industry with larger BEV penetration. In the present setting, we do not allow for changes in \mathbf{y} as we assume an identical car demand by families and public agencies. This is a quite strong hypothesis what will be relaxed in a following paper but, for time being, it allows to consider a straightforward impact model:

$$\Delta \mathbf{x}^P = \frac{1}{2} [\Delta \mathbf{D}(\mathbf{L}^1 + \mathbf{L}^0) + (\mathbf{D}^1 + \mathbf{D}^0)\Delta \mathbf{L}] \mathbf{y}, \quad (18)$$

that can be simplified further if we tackle production technical change only:

$$\Delta \mathbf{x}^P = \mathbf{D} \Delta \mathbf{L} \mathbf{y}. \quad (19)$$

The latter can be addressed using fields of influence (Sonis and Hewings, 1992) that is an extension of the well know Morris- Sherman formula that states how changes in entries in a non-singular matrix is transmitted to changes in elements of its inverse. For a modification in just one entry, say $|\Delta a_{ij}| > 0$, the new inverse $\mathbf{L}^{Nij} = [l_{rs}^N(\Delta a_{ij})]$ is given by:

$$l_{rs}^N(\Delta a_{ij}) = l_{rs} + \frac{l_{ri} l_{js} \Delta a_{ij}}{1 - l_{ji} \Delta a_{ij}}, \quad (20)$$

and technical change is:

$$\Delta l_{rs}^N(\Delta a_{ij}) = l_{rs}^N(\Delta a_{ij}) - l_{rs} = l_{ri} l_{js} k_{ij}^1, \quad (21)$$

with $k_{ij}^1 = \Delta a_{ij} / (1 - l_{ji} \Delta a_{ij})$. It is obvious that Δa_{ij} will produce the largest impact on l_{rs} when $i = r$ and $j = s$ since both elements multiplying k_{ij}^1 are larger than unity. Moreover, next-largest influences will be found in row i and column j of \mathbf{L} since, in virtually all other entries, both elements in the product $l_{ri} l_{js}$ are less than one. The new inverse is given in compact form by:

$$\mathbf{L}(\Delta a_{ij}) = \mathbf{L} + \frac{1}{1 - l_{ji} \Delta a_{ij}} \mathbf{F} \begin{pmatrix} j \\ i \end{pmatrix} \Delta a_{ij}, \quad (22)$$

where the field of influence is

$$\mathbf{F} \begin{pmatrix} j \\ i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} l_{1i} \\ \vdots \\ l_{ni} \end{pmatrix} (l_{j1} \quad \cdots \quad l_{jn}). \quad (23)$$

It has been stated that if matrix inverse \mathbf{L} reflects the economic landscape of interdependence between industries, then equation (23) “provides a comparable landscape generated by change in one or more elements of the direct coefficients matrix, \mathbf{A} . The field of influence provides an assessment of the degree to which the change is concentrated in the sector of origin, diffused only to a small set of linked industries or spread through the economy” (Van der Linden et al., 2000, p. 1290). Yet, the real issue is how to compare these matrices as several matrix norms are available (Sonis and Hewings, 1992).

In EEIO, the main task is to measure environmental impacts of economic activities generated by final demand. If we measure these effects in monetary terms or just using a single dimensions, say CO₂, then we can focus on $\Delta\tilde{x}$ where:

$$\Delta x_r(\Delta a_{ij}) = \frac{l_{ri} x_j \Delta a_{ij}}{1 - l_{ji} \Delta a_{ij}} = l_{ri} k_{ij}^2, \quad (24)$$

and

$$\Delta x_r^P(\Delta a_{ij}) = \lambda_r \frac{l_{ri} x_j \Delta a_{ij}}{1 - l_{ji} \Delta a_{ij}} = \lambda_r l_{ri} k_{ij}^2. \quad (25)$$

Here we are mostly interested in analysing the sensitivity of the Leontief inverse and environmental impacts by a technical change such a switch to BEV production. Let's assume a set of changes in car production technology: $|\Delta a_{hc}| > 0$, $h = 1, \dots, n$. In this case, the extension of (20) is (Sherman and Morrison, 1949):

$$l_{rs}^{N,c} = l_{rs} + \frac{l_{cs} \sum_h l_{rh} \Delta a_{hc}}{1 - \sum_h l_{ch} \Delta a_{hc}}. \quad (26)$$

and

$$\Delta l_{rs}^N(\Delta a_{ij}) = l_{rs}^N(\Delta a_{ij}) - l_{rs} = l_{cs} k_{rc}^3, \quad (27)$$

with

$$k_{rc}^3 = \frac{\sum_h l_{rh} \Delta a_{hc}}{1 - \sum_h l_{ch} \Delta a_{hc}}. \quad (28)$$

This approach implicitly takes for granted that there is no substitution effects between primary inputs and intermediate ones. Alternatively, we can impose some specific pattern as in Van der Linden et al. (2000). In the next section, I will discuss this issue at length.

3. ANALYSIS OF EV PRODUCTION ENHANCEMENT

In this explorative analysis I embrace the short version of well know EXIOBASE-1 database year 2000. EXIOBASE is a global, detailed Multi-regional Environmentally Extended Supply and Use / Input Output (MR EE SUT/IOT) dataset. Supply and Use tables of individual countries are transformed into an international input-output table that can be used for the analysis of environmental impacts associated with final consumption. The actual dataset is quite large since it deems 44 countries with 129 products and can be managed with dedicated applications and graphical user interface only (Tukker et al., 2013, Wood et al., 2015). Therefore, I prefer to work with the simplified IO table aggregated into 3 regions. The three regions are roughly the EU27 + Norway and Switzerland, the OECD countries outside the Europe and finally the non OECD countries. The industry by industry input-output tables are based on fixed industry sales structure assumption (Gregori, 2009). The number of industry sectors is only 60. IO data are supplemented with environmental and economic extensions. Table 3 shows the list about 28 air emissions.

Table 3 – Air emissions: Car manufacturing place in selected rankings

	In the world (180 Sectors)			Within the area (60 sectors)		
	Europe	Other OECD	Rest of the world	Europe	Other OECD	Rest of the world
CO ₂	112	77	126	25	28	48
CH ₄	121	68	110	29	32	43
N ₂ O	132	78	130	38	32	48
SOx	98	55	54	22	18	26
NOx	128	88	96	32	31	42
NH ₃	99	31	115	24	23	34
CO	140	83	63	32	28	39
Benzo(a)pyrene	100	62	58	23	16	31
Benzo(b)fluoranthene	95	63	59	23	16	32
Benzo(k)fluoranthene	105	69	68	25	19	35
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	105	66	62	25	17	34
PAH	155	98	41	35	35	35
PCBs	70	55	46	16	13	24
Dioxins	89	64	61	21	18	32
HCB	114	85	75	34	21	37
NMVOC	31	30	6	6	9	5
PM 10	124	90	96	27	29	41
PM 2.5	121	90	93	27	29	40
TSP	125	91	96	29	31	41
As	112	70	80	26	21	36
Cd	97	57	106	25	21	40
Cr	124	81	117	31	31	44
Cu	118	63	94	24	27	38
Hg	74	56	53	19	16	27
Ni	121	79	145	34	33	46
Pb	108	71	72	23	25	32
Se	107	70	68	24	23	32
Zn	108	74	90	24	27	38

Source: Exiobase _1

Combustion-related air emission accounts are computed directly based on the energy accounts provided by The International Energy Agency. For the non-combustion air emission accounts, emissions are calculated in a similar way by combining various activity statistics such as industrial production and use of products (Wood et al., 2015). Presenting raw data is messy and almost useless as overall values range from million tons for CO₂ to some kilos for dioxins. Hence, as I prefer to show car production place in the industry rankings in order to check if it is one of the most important emitters. In table 3, I provide worldwide place (first three columns) of the Manufacturing of motor vehicles, trailers and semi-trailers in Europe, other OECD countries and the Rest of the World. The last three columns show the position

within these areas. As table 3 shows, car manufacturing stands in the up-middle range where most of the factories are located, i.e. OECD nations, as European and other OECD countries productions account for, respectively, 32% and 62% of the overall output. Its impact is important for Non-methane volatile organic compounds (NMVOC) indeed and, to a lower extent, for benzos in other OECD countries. As we can see from table 3, we cannot expect a big change in global CO₂ pollution if European carmakers switch to BEV production, as they hold the 112-th place as worldwide emitters. However, they have the 25-th place within Europe and the local impact might be relevant.

We can wonder how a different technology can improve such a situation. First, we must change the technology that can be used to produce both BEVs and ICVs and not only the latter, as done in the Exiobase dataset. We rely on the study by Leurent and Windisch (2015), who treat the vehicle body and the battery as separate entities². They assume a vehicle composition, as set out in Table 4, with main input supplied by: Automobile construction itself (30%), Metallurgy and metal processing (12%), Automotive equipment manufacturing (9%), Chemicals, rubber, plastics (7%) and Financial, real estate and rental activities (7%). These are total coefficients, i.e. without separating inputs from different origins, while value added accounts for only 10% of gross output. In the same table other important coefficients are also included and the (almost) comparable ones in European countries (a_{ic}^{EC}) and other OECs economies (a_{ic}^{OO}) technologies from the Exiobase dataset. The last two columns in table 4 refer to total coefficients too. The former resembles the ICV technology provided by Leurent and Windisch for several inputs but value added that is much more relevant in Exiobase.

Table 4 – Intermediate inputs: CV vs EV

	ICV	a_{ic}^{ICV}	BEV	a_{ic}^{BEV}	a_{ic}^{EC}	a_{ic}^{OO}
Electric vehicle construction			3350			
Manufacture of IC vehicle	4350					
Car manufacturing	4350	29.79%	3350	14.19%	26.72%	36.06%
Electrical and electronic equip.	321	2.20%	10321	43.73%	3.17%	2.20%
Metals and metalworking	1742	11.93%	1742	7.38%	10.70%	8.78%
Automotive equipment	1341	9.18%	1341	5.68%	6.98%	5.14%
Financial, real estate, rental	1105	7.57%	1105	4.68%	1.37%	1.92%
Chemicals, rubber, plastics	1084	7.42%	1084	4.59%	6.88%	5.70%
Services to companies	823	5.64%	823	3.49%	5.88%	4.49%
Machinery	770	5.27%	770	3.26%	3.22%	2.25%
Consumer goods	433	2.97%	433	1.83%		
Electrical and electronic comp.	271	1.86%	271	1.15%	1.37%	1.92%
Other items	879	6.02%	879	3.72%		
Value added	1481	10.14%	1481	6.28%	22.63%	24.46%
Total	14600		23600			

Source: Leurent and Windisch, 2015, Exiobase _1

² The very detailed description provided by Hawkins et al. (2013) will be used in forthcoming paper.

Leurent and Windisch devise component values per a hypothetical electric car too. They assign BEV values taken from their ICV counterparts for most fittings of the body, but reduced by €1000 for self-provision since an electric motor is easier to assembly. For the battery, using data from Renault and Nissan, they have counted €10.000 under “Electrical and electronic equipment”. Having assumed the same added value for an EV as for a CV, Leurent and Windisch obtained a total production cost per BEV (before tax) that is €9000 larger than comparable ICV. Finally, they devise technical coefficients for the new activity “BEV manufacturing” simply dividing the cost of each material supplied by BEV production cost, as shown in table 4.

Their analysis is interesting but flawed because they misunderstand the Leontief technology, that is the input quantity needed to produce a unit of output. Since most items are the same these coefficient are not changing. The only ones affected by the new car manufacturing technology refer to “Electrical and electronic equipment” and “Car manufacturing” itself. The latter is reduced while the former is increased a lot. If they are not offsetting each other, value added is decreased too. Such a change is deeper as BEV production is enhanced. For BEV production, Leurent and Windisch state valued added is 6% only, while Electrical and electronic components make about 44% of the car value. The latter coefficient is questionable, as the very little primary input usage. Hence, I assume the following scenarios with variations in Electrical inputs and car production self-provision in European countries alone:

$$a_{CC}^{EC} = \theta a_{CC}, \quad a_{EC}^{EC} = \delta a_{EC} \quad (29)$$

where parameters θ and δ drive technical change. These are set in steps so that, at the edge, car production entails mostly electric vehicles. However, such changes must be linked together in order to satisfy the Bauer-Solow conditions (Takayama, 1985) and cannot have the magnitude suggested by Leurent and Windisch anyway. First of all, I change domestic coefficients alone to simplify algebra. Then, at most, I halve the intra industry coefficient a_{CC} and increase δ up to 12. Hence, the maximum coefficient of Electrical and electronic equipment is about 33% that is somehow away from the figure devised by Leurent and Windisch (44%). Value added is reduced from 22.6% to 5.3%. Any further reduction appears to be unsound.

Table 5 shows changes in air emissions with respect to baseline, i.e. Exiobase data with ICV production only. We expect a reduction in pollution, but this is not always true. Actually, our application has sometimes an unappealing outcome. The BEV technology implies larger Electrical and electronic equipment inputs and lower value added. This enhances multiplicative processes in the economy and generates “negative” impacts. In the first and last columns in table 5 total emissions are larger than in the baseline and switching to BEV production is increasing pollution.

However, due to fixed final demand and emission coefficients, overall variations are rather small and never larger than 1% even in the last scenario where BEV production dominates. Polycyclic Aromatic Compounds (PAH) and Polychlorinated biphenyls (PCBs) are adversely affected in this case as the battery production impact is utmost and value added reaches its lowest level. Quite interestingly, where car production is the greatest polluter, i.e. NMVOC, the change is quite whimsical as for CH_4 and N_2O , while it is even lower for NH_3 . As expected, there is a noticeable impact on Pb whose increase ranges from 0.06% to 0.65%.

Table 5 – Increase in air emissions due to BEV production in European countries

	$\theta = 0.9$ $\delta = 2.5$	$\theta = 0.65$ $\delta = 4$	$\theta = 0.2$ $\delta = 8$	$\theta = 0.6$ $\delta = 10$	$\theta = 0.5$ $\delta = 12$
CO ₂	0.02%	-0.02%	-0.03%	0.19%	0.22%
CH ₄	0.01%	-0.01%	-0.01%	0.06%	0.07%
N ₂ O	0.01%	-0.01%	-0.01%	0.05%	0.06%
SO _x	0.01%	-0.01%	-0.02%	0.13%	0.15%
NO _x	0.01%	-0.02%	-0.03%	0.12%	0.14%
NH ₃	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	0.02%
CO	0.01%	-0.01%	-0.01%	0.10%	0.12%
Benzo(a)pyrene	0.02%	-0.01%	-0.02%	0.17%	0.20%
Benzo(b)fluoranthene	0.02%	-0.01%	-0.02%	0.18%	0.21%
Benzo(k)fluoranthene	0.02%	-0.01%	-0.02%	0.21%	0.24%
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	0.02%	-0.01%	-0.02%	0.15%	0.18%
PAH	0.08%	-0.06%	-0.11%	0.71%	0.83%
PCBs	0.08%	-0.07%	-0.12%	0.74%	0.87%
Dioxins	0.01%	-0.02%	-0.03%	0.10%	0.11%
HCB	0.01%	-0.02%	-0.03%	0.11%	0.13%
NMVOC	0%	-0.07%	-0.13%	0.09%	0.10%
PM 10	0.01%	-0.01%	-0.02%	0.13%	0.15%
PM 2.5	0.02%	-0.01%	-0.02%	0.14%	0.16%
TSP	0.02%	-0.02%	-0.03%	0.16%	0.19%
As	0%	-0.07%	-0.14%	0.10%	0.11%
Cd	0.03%	-0.06%	-0.11%	0.28%	0.33%
Cr	0.06%	-0.04%	-0.07%	0.53%	0.62%
Cu	0.01%	-0.06%	-0.11%	0.12%	0.14%
Hg	0.01%	-0.04%	-0.08%	0.15%	0.17%
Ni	0.02%	-0.02%	-0.03%	0.16%	0.19%
Pb	0.06%	-0.05%	-0.08%	0.56%	0.65%
Se	0.02%	-0.01%	-0.02%	0.13%	0.16%
Zn	0.03%	-0.03%	-0.05%	0.31%	0.36%

Finally, in table 6 a new ranking is introduced. It refers again to the output mix with the largest BEV share, i.e. $\theta = 0.5$, $\delta = 12$. We can focus on the first and fourth columns as other figures are almost identical to the ones presented in table 3. In contrast, there are some significant changes in pollution by European manufacturers. On average, this sector improves its relative position by almost six position in the overall ranking (first column) and some improvements are noticeable as for CO₂, SO_x, Cd and Pb. This result is as expected, as technical change is reducing intra flows and increasing outsourcing of battery production to the Electrical and electronic equipment industry.

Table 6 – Position of car prod. air emissions with large BEV output ($\theta = 0.5$, $\delta = 12$)

	<i>in the world (180 Sectors)</i>			<i>within the area (60 sectors)</i>		
	Europe	Other OECD	Rest of the world	Europe	Other OECD	Rest of the world
CO ₂	126	77	127	32	28	48
CH ₄	127	68	110	31	32	43
N ₂ O	134	78	132	39	32	48
SOx	111	55	54	29	18	26
NOx	135	88	96	34	31	42
NH ₃	102	31	116	25	23	34
CO	143	83	64	35	28	39
Benzo(a)pyrene	107	62	58	27	16	31
Benzo(b)fluoranthene	103	63	59	25	16	32
Benzo(k)fluoranthene	112	69	68	29	19	35
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	109	67	63	27	17	34
PAH	155	98	41	35	35	35
PCBs	72	55	46	17	13	24
Dioxins	95	65	61	25	18	32
HCB	116	85	75	36	21	37
NMVOC	37	30	6	6	9	5
PM 10	131	90	96	32	29	41
PM 2.5	130	91	93	32	29	40
TSP	130	91	96	33	31	41
As	115	70	80	29	21	36
Cd	107	57	106	28	21	40
Cr	128	81	118	34	31	44
Cu	122	63	94	25	27	38
Hg	81	56	53	22	16	27
Ni	124	80	145	36	33	46
Pb	118	71	72	27	25	32
Se	110	70	68	26	23	32
Zn	114	74	90	26	27	38

In order to understand why sometimes we get a larger pollution and sometimes a smaller one we must turn to the Sherman-Morrison formula with perfect substitution between car/battery inputs. Let's assume that the increase in Electrical and electronic equipment input is equal to the Car self-provision reduction:

$$\Delta a_{CC} = -\Delta a_{EC} . \quad (30)$$

Using (28) we get:

$$\Delta l_{rs}^N(\Delta a_{EC}) = l_{Cs} \frac{(l_{rE} - l_{rC}) \Delta a_{EC}}{1 - (l_{cE} - l_{cC}) \Delta a_{EC}}, \quad (31)$$

whose denominator is always positive as $l_{cC} > l_{cE}$. Hence multiplier changes depend on the numerator only. In our case, most of the times $l_{rC} > l_{rE}$ and $\sum_r l_{rE} - l_{rC} = -0.422$. Hence with a symmetric change there is an air pollution reduction, while with an asymmetric shock, as proposed by Leurent and Windisch, the opposite holds.

5 – CONCLUSIONS

Environmental Extended Input Output tables provide detailed information on production, resource utilization and pollution by recording all economic transactions and environmental flows between producers and consumers. Make, Use, SIO, Ecological commodity discharge/usage, intervention matrices provide a framework to analyse the uses of produced goods and available natural resources. The literature on this issue is growing as concurrent concerns about gas availability and greenhouse gas emissions, but most of it focuses on private and social cost comparisons between ICVs and BEVs and adopts Life-Cycle Assessments. Nonetheless, the “analysis of lifecycle GHG emissions of EVs in the peer-reviewed scientific literature is rather incomplete and affected by significant uncertainty” (Contestabile et al., 2012, p. 11). It has been noted that “*LCA obviously encompasses the emissions arising from the assembly of the car, from manufacture of steel used in the car – including the emissions from the energy used to power the factory making the steel – but does not necessarily include the energy used to mine the coal used in the power plant at the steel factory ... it is not the just releases from individual processes that may be overlooked, but also the aggregate of the all of the releases from the processes outside modeled system that may change the results of the LCA*” (Lifset, 2009, p. 9). EEIO or IO LCA models resolve these issues. In the present study, EEIO has been applied to evaluate emission impact by Battery Electric Car manufacturing as “the production phase of EVs proved substantially more environmentally intensive” (Hawkins et al., 2012, p. 61). Actually, IO is the very first step in applying Computable General Equilibrium theory and, despite, its limitations, it continues to grow in popularity (Suh, 2009). Technological change is another key theme in this literature and industrial ecology too. We tackle this issue trying to assess the impact of a gradual shift from ICV to BEV manufacturing. We embrace the small version of the Exiobase dataset with only 60 sectors and 3 macro regions (European countries, other OECD countries, the rest of the world). We could assess land use and energy use but we focus on air emission considering 28 pollutants. Rather than providing an astonishing quantity of data about the absolute amount of pollution due to car manufacturing, we simply discuss the relative position of this industry in term of pollution worldwide and within the 3 macro regions. Car manufacturing contributes very little to some emissions, such as CO₂ and N₂O, while it has an impact on Non-methane volatile organic compounds (NMVOC) pollution and, to a lower extent, for benzos (respectively 6th and 23rd position in Europe, 9th and 16th in other OECD countries). Hence, even if it is not one of the worst emitters, it is reasonable to check the impact of a production shift from ICVs to BEVs.

We rely on the recent work by Leurent and Windisch (2015) to gauge the most important ingredient in this analysis, i.e. input changes. It is quite well known that BEVs require expensive batteries and need a simplified engine, but it is far from being easy to calculate these production costs and associate coeffi-

cients. Leurent and Windisch suggest a decrease by 50% in self-provided inputs and a huge share (about 43%) in Electrical and electronic equipment inputs. These values can vary according to different engines and cars so that we suggest a simple procedure that allows to alter them gradually as BEV production substitutes ICV manufacturing. We get some interesting results.

First, pollution changes are not very relevant. In the worst scenario, the increase in CO₂ emissions, with respect to actual production, is 0.22% alone. Benzofluoranthene and Benzopyrene expand by nearly the same amount (respectively 0.21% and 0.2%). The most noticeable increases are still lower than 1%, i.e. PAH with 0.83% and PCBs with 0.87%. On the contrary, in some different scenarios, there are some pollution reductions, but still with the very same or even lower magnitudes. Most of the impacts are in the range from -0.01% to -0.13%. We can claim that shifting production to BEVs has little impacts on pollution issues.

Second, the relative position of the industry improves by some positions in the overall pollution ranking, when changes are positive yet. For instance, it slips to the 25th position from the 32nd in European CO₂ emissions or from 25th to 29th in Benzo(k)fluoranthene emissions in the same area. Nonetheless, BEV manufacturing emits more. The reason why there is an increase in pollution is due the greater roundness of the input matrix, which produces larger multipliers. When value added is reduced, a given change in final demand pushes production and pollution further. However, this outcome is not always true. Sometimes, when we have an offsetting change between the battery input and intra flows emissions are smaller. To understand this result we have to turn to the Sherman-Morrison formula. It is easy to see that, in our setting without changes in value added, this offsetting input switch reduces multipliers.

Finally, the latter remark calls for a better understanding of these interindustry links in a more complex specification, such as a SAM. An overall decomposition is required, with assessments about consumption changes, i.e. if more cars are demanded and the value of the total expenditure, and pollution per unit of output changes, i.e. modifications in the impact matrix. Further research is still needed in this field.

References

- ARDENT, F., BECCALI, M., CELLURA, M. (2009) “Application of the IO Methodology to the Energy and Environmental Analysis of a Regional Context”, In SUH, S. (ed) *Handbook of Input-Output Economics in Industrial Ecology*, Springer, New York.
- BURNHAM, A., WANG, M., WU Y. (2006) “Development and Applications of GREET 2.7 – The Transportation Vehicle-Cycle Model”, ANL/ESD/06. Argonne, IL, USA: Argonne National Laboratory, University of Chicago, U.S. Department of Energy.
- COHEN, J. L. (1978) *Multiobjective Programming and Planning*, Elsevier, New York.
- CONTESTABILE, M., OFFER, G., NORTH, R. (2012) “Electric Vehicles: A Synthesis of the Current Literature with a Focus on Economic and Environmental Viability”, LCA Works, Technical Paper.
- CRIST, P. (2012) “Electric Vehicles Revisited-Costs, Subsidies and Prospects”, Discussion Paper No. 2012-03, International Transport Forum, OECD, Paris, France.
- DALY, H. (1968) “On Economics as a Life Science”, *Journal of Political Economy*, 76(3), pp. 392–406.
- DIETZENBACHER, E., LOS, B. (1998) “Structural Decomposition Techniques: Sense and Sensitivity”, *Economic Systems Research*, 10(4) pp. 307-324.
- GREGORI, T. (2009) “Input-Output techniques applied to construction” in Les Ruddock (ed) *Economics for the Modern Built Environment*, Taylor & Francis, Oxford.
- GREGORI, T., SCHACHTER, G. (1999) “Assessing Aggregate Structural Change”, *Economic Systems Research*, 11(1), pp. 67-82.
- HAWKINS, T. R., GAUSEN, O. M., STRØMMAN, A. H. (2012) “Environmental impacts of hybrid and electric vehicles – a review”, *International Journal of Life Cycle Assessment*, 17(8), pp. 997–1014.
- HAWKINS, T. R., SINGH, B., MAJEAU-BETTEZ, G., STRØMMAN, A. H. (2012) “Comparative Environment Life Cycle Assessment of Conventional and Electric Vehicles”, *Journal of Industrial Ecology*, 17(1), pp. 53-64.
- HENDRICKSON, C., HORVATH, A., JOSHI, S., LAVE, L. (1998) “Economic Input-Output Models for Environmental Life-Cycle Assessment”, *Environmental Science & Technology*, 32(7), pp. 184A-191A.
- ISARD, W. (1968) “On the Linkage of Socio-Economic and Ecological Systems,” *Papers of the Regional Science Association*, 21(1), pp. 79-99.
- KITZES, J. (2013) “An Introduction to Environmentally-Extended Input-Output Analysis”, *Resources*, 2(4), pp. 489-503.

- KUSHNIR, D., SANDEN, B.A. (2011) "Multi-level energy analysis of emerging technologies: a case study in new materials for lithium ion batteries", *Journal of Cleaner Production*, 19(13), pp. 1405-1416.
- LEE, H., LOVELETTE, G. (2011) "Will Electric Cars Transform the U.S. Vehicle Market? An Analysis of The Key Determinants", Discussion Paper #2011-08, Energy Technology Innovation Policy Discussion Paper Series, Harvard Kennedy School, Cambridge, Mass.
- LEONTIEF, W. (1970) "Environmental Repercussions and the Economic Structure: An Input-Output Approach", *Review of Economics and Statistics*, 52(3), pp. 262-271.
- LEURENT, F., WINDISCH, E. (2015) "Benefits and costs of electric vehicles for the public finances: An integrated valuation model based on input e output analysis, with application to France", *Research in Transportation Economics*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.retrec.2015.06.006>.
- LIFSET, R. (2009) "Industrial Ecology in the Age of Input-Output Analysis", In Suh, S. (ed) *Handbook of Input-Output Economics in Industrial Ecology*, Springer, Heidelberg.
- LUPTACIK, M., BÖHM, B. (1994) "Reconsideration of Non-negative Solutions for the Augmented Leontief Model", *Economic Systems Research*, 6(2), pp. 167-170.
- LUPTACIK, M., BÖHM, B. (1999) "A Consistent Formulation of the Leontief Pollution Model", *Economic Systems Research*, 11(3), pp. 263-275.
- MAJEAU-BETTEZ, G., HAWKINS, T. R., STRØMMAN, A. H. (2011) "Lifecycle environmental assessment of lithium-ion and nickel metal hydride batteries for plug-in hybrid and battery electric vehicles", *Environmental Science & Technology*, 45(10), pp. 4548-4554.
- MASSIANI, JÉRÔME (2015), *Cost-Benefit Analysis of policies for the development of electric vehicles in Germany: Methods and results*, *Transport Policy*, vol. 38, pp. 19-26
- MATHEYS, J., MIERLO, J. V., TIMMERMANS, J. M., VAN DEN BOSSCHE, P. (2008) "Life-cycle assessment of batteries in the context of the EU directive on end-of-life vehicles", *International Journal of Vehicle Design*, 46(2), pp. 189-203.
- MESSAGIE, M. BOUREIMA, F. S., COOSEMANS, T., MACHARIS, C., VAN MIERLO, J. (2013) "A Range-Based Vehicle Life Cycle Assessment Incorporating Variability in the Environmental Assessment of Different Vehicle Technologies and Fuels", *Energies*, 7(3), pp. 1467-1482.
- MILLER, R., BLAIR, P. (2009) *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions*, 2nd ed., Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- NATHANI, C. (2009) "Analysing the Economic Impacts of a Material Efficiency Strategy", In Suh, S. (ed) *Handbook of Input-Output Economics in Industrial Ecology*, Springer, New York.
- NIJKAMP, P., RIETVELD, P. (1976) "Multiobjective Programming Models: New Ways in Regional Decision Making", *Regional Science and Urban Economics*, 6(3), pp. 253-274.
- PASINETTI, L.L. (1973), "The notion of vertically integration in economic analysis", *Metroeconomica*, 25(1), pp. 1-29.
- QAYUM, A. (1991) "A Reformulation of the Leontief Pollution Model", *Economic Systems Research*, 3(4), pp. 428-430.
- SAMARAS, C., MEISTERLING, K. (2008) "Life cycle assessment of greenhouse gas emissions from plug-in hybrid vehicles: Implications for policy", *Environmental Science & Technology*, 42(9), pp. 3170-3176.

- SHERMAN, J., MORRISON, W. J. (1949) “Adjustment of an Inverse Matrix Corresponding to Changes in the Elements of a Given Column or a Given Row of the Original Matrix”, *Annals of Mathematical Statistics*, 20, p. 621.
- SHERMAN, J., MORRISON, W. J. (1950) “Adjustment of an Inverse Matrix Corresponding to a Change in One Element of a Given Matrix,” *Annals of Mathematical Statistics*, 21(1), pp. 124-127.
- SONIS, M., HEWINGS, G. J. D. (1992) “Coefficient Change in Input-Output Models: Theory and Applications”, *Economic Systems Research*, 4(2), pp. 143-157.
- SUH, S. (ed) *Handbook of Input-Output Economics in Industrial Ecology*, Springer, Heidelberg.
- TAKAYAMA, A. (1985) *Mathematical Economics*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK.
- TANINO, T., TANAKA, T., INUIGUCHI, M. (eds.) (2003) “Multi-Objective Programming and Goal Programming: Theory and Applications”, Springer: Heidelberg.
- TODD, J. ET AL. (2013) “Creating the Clean Energy Economy. Analysis of the Electric Vehicle Industry”, International Economic Development Council, Washington, DC.
- TUKKER, A., DE KONING, A., WOOD, R., HAWKINS, T., LUTTER, S., ACOSTA, J. RUEDA CANTUCHE, J.M., BOUWMEESTER, M., OOSTERHAVEN, J., DROSDOWSKI, T., KUENEN, J. (2013) “EXIOPOL—Development and illustrative analyses of a detailed global MR EE SUT/IOT”, *Economic Systems Research*, 25(1), pp. 50-70.
- VAN DEN BOSSCHE, P., VERGELS, F., VAN MIERLO, J., MATHEYS, J., VAN AUTENBOER, W. (2006) “SUBAT: An assessment of sustainable battery technology”, *Journal of Power Sources*, 162(2), pp. 913-919.
- VAN DER LINDEN, J. A., OOSTERHAVEN, J., CUELLO, F. A., HEWINGS, G. J. D., SONIS, M. (2000) “Fields of influence of productivity change in EU intercountry input – output tables, 1970-80”, *Environment and Planning A*, 32(7), pp. 1287-1305.
- VARIAN, H. (1992) *Microeconomic Analysis*, 3rd ed., Norton & co., New York.
- VICTOR, P. A. (1972) *Pollution: Economy and Environment*, George Allen and Unwin Ltd., London: UK.
- WILSON, L. (2013) “Shades of Green. Electric Cars’ Carbon Emissions around the Globe”, Shrink that footprint, mimeo.
- WOOD, R., STADLER, K., BULAVSKAYA, T., LUTTER, S., GILJUM, S., DE KONING, A., KUENEN, J., SCHÜTZ, H., ACOSTA-FERNÁNDEZ, J., USUBIAGA, A., SIMAS, M., IVANOVA, O., WEINZETTEL, J., SCHMIDT, J.H., MERCIAI, S., TUKKER, A. (2015) “Global sustainability accounting-developing EXIOBASE for multi-regional footprint analysis”, *Sustainability*, 7(1), pp. 138-163.
- ZACKRISSON, M., AVELLAN, L., ORLENIUS, J. (2010) “Life cycle assessment of lithium-ion batteries for plug-in hybrid electric vehicles – Critical issues”, *Journal of Cleaner Production*, 18(15), pp. 1519-1529.

L'auto elettrica come innovazione radicale: alcune riflessioni sulla situazione attuale

SAVERIA CAPELLARI

DEAMS, Università di Trieste

1. INTRODUZIONE

L'auto elettrica viene considerata dalla letteratura economica e dalla pubblicistica corrente un'innovazione radicale. In questo paper si vuole proporre qualche riflessione su questo tema confrontando la situazione attuale con quella che usualmente si accompagna (o si dovrebbe accompagnare) alla diffusione di un'innovazione radicale.

Nella prima parte ci si sofferma sul concetto di innovazione radicale cercando di trarre dalla letteratura sul tema le implicazioni che si determinano dall'uso di questo concetto. In quest'ambito verranno anche considerate definizioni vicine e altrettanto importanti come quella di "disruptive innovation", utilizzata maggiormente nell'ambito dell'analisi manageriale, e quella di "Key Enabling Technologies" che identifica le innovazioni più pervasive, destinate a cambiare in profondità i modi di produzione.

Nella seconda parte si considerano alcuni dati sull'innovazione nel settore dell'automobile e nel settore dell'auto elettrica per descrivere nei suoi tratti essenziali la situazione attuale.

Si farà infine cenno al ruolo del settore pubblico che in questo campo è particolarmente importante perché l'auto elettrica si trova al crocevia di due fallimenti del mercato (quello legato alla diffusione dell'innovazione e quello legato all'inquinamento) e perché in tutti i paesi si sta agendo oramai da tempo con un intervento sul piano degli obiettivi molto ambizioso e che agisce "come da manuale" sia sul piano della "demand pull" che su quello del "technology push".

2. INNOVAZIONI RADICALI E IMPLICAZIONI

La definizione di innovazione radicale oltre ad evocare cambiamenti importanti ha un significato piuttosto preciso. Si intende con essa riferirsi ad un'innovazione che consente a colui il quale la mette in atto

e se ne può appropriare – con l’assunzione dei diritti di proprietà attraverso brevetti – di sbaragliare la concorrenza e imporre un prezzo di monopolio sui suoi prodotti. L’introduzione della nuova tecnologia, o del nuovo prodotto, crea dunque un nuovo mercato. In questo contesto semplificato, la creazione dell’innovazione e un regime di protezione forti sembrerebbero sufficienti a generare un drastico cambiamento a vantaggio degli innovatori e dei consumatori.

La definizione così concepita è tuttavia troppo semplificata e ristretta soprattutto per quelle innovazioni che hanno un potenziale effetto su molti settori e (in generale) sugli stili di vita della popolazione.

Questo genere di innovazioni ha bisogno di particolari condizioni per svilupparsi che conviene menzionare: investimenti complementari; diffusione di standard tecnologici; creazione di mercato sufficientemente ampio perché l’impresa (le imprese) possano acquisire una scala di attività che consenta la necessaria riduzione dei costi.

In questi casi si utilizzano spesso definizioni più “descrittive” come quella di General Purpose Technologies o di Key Enabling Technologies che sottolineano, da un lato, l’aspetto sistemico e, dall’altro, il ruolo cruciale che ha la “diffusione” della tecnologia.

In questo contesto, l’attribuzione dei diritti di proprietà non è uno strumento sufficiente e forse nemmeno adatto alla diffusione nel mercato del nuovo prodotto.

In effetti, è stato bene messo in luce dalla letteratura teorica (Katz e Shapiro, 1985; 1992) e dalle recenti analisi dell’esperienza storica (Bessen, 2014; Bessen e Nuvolari, 2011; Moser, 2013) che l’introduzione nell’economia di innovazioni sistemiche ha richiesto nel passato e richiede oggi modalità di collaborazione più aperte.

Sebbene l’impatto dell’auto elettrica possa essere più limitato rispetto ad altre più pervasive tecnologie (dall’ICT all’elettricità) tuttavia essa possiede certamente alcune caratteristiche dell’innovazione sistemica sul fronte del suo utilizzo, ma anche su fronte della produzione. In particolare, è assolutamente evidente che esistono vincoli molto forti al suo sviluppo determinati dalla necessità di investimenti complementari e alla creazione di standards.

Nella visione proposta tra gli altri da Enrietti e Patrucco (2010), nel caso dell’auto elettrica l’innovazione appare un’attività collettiva e distribuita, che beneficia del contributo congiunto di diversi attori, poiché nessuna impresa può dominare interamente tutte le competenze tecnologiche ed organizzative necessarie allo sviluppo della nuove tecnologie. In particolare, la diffusione della tecnologia richiede l’attivazione di complementarità tra gli sforzi innovativi delle imprese e di altri attori quali centri di ricerca e laboratori universitari.

D’altra parte, le innovazioni radicali cambiano i “core technical concepts” e le connessioni tra questi, e ciò implica, da parte degli incumbents, costi elevatissimi per la transizione verso il nuovo “sistema” (Anderson, 1986). In questo senso, l’auto elettrica potrebbe essere anche considerata una “disruptive technology”, o innovazione dirompente Christensen (1997), poiché provoca una rottura con il passato nella struttura dell’impresa, dalla supply chain al modello di business. Altri studi (Bower e Christensen, 1995) mostrano che generalmente gli incumbents non sono in grado di individuare queste tecnologie con sufficiente velocità.

3. ALCUNE CONSIDERAZIONI SULL’INNOVAZIONE NEL SETTORE AUTOMOBILISTICO: R&D E BREVETTI

Quello automobilistico è uno dei settori economici più importanti del manifatturiero. Inoltre, costituisce un esempio classico di settore verticalmente integrato con elevate economie di scala e con un sistema innovativo che potremmo definire “chiuso”, centrato sulla Ricerca e Sviluppo interna e sulle relazioni con i fornitori e con i clienti. Le collaborazioni hanno un ruolo importante ma sono per lo più di carattere formale e legate a regole di appropriabilità precise.

Frequentemente si realizzano alleanze con i fornitori che rivestono ruoli chiave nel processo di determinazione del valore del prodotto e appartengono quindi in pieno alla catena del valore. La collaborazione aperta con l'Università o con i centri di ricerca è meno centrale e quasi inesistente quanto ai brevetti in collaborazione (Aggeri et al. 2009; Lissoni, 2012) Tuttavia altre forme di collaborazione, centrate sull'interazione tra formazione universitaria/ricerca e imprese possono essere molto diffuse, in particolare in sistemi fortemente integrati come quello tedesco.

Benché il settore automobilistico sia considerato un settore a media intensità di ricerca e sviluppo, la spesa in R&D in valore assoluto lo porta in testa alla graduatoria mondiale. Infatti nei primi 10 posti della graduatoria vi sono tre gruppi automobilistici: Volkswagen (prima nel 2013 e nel 2014), Toyota e Daimler (Tavola 1). Google e Daimler entrano tra le top ten nel 2014 (European Scoreboard, 2015).

Tavola 1. Graduatoria mondiale delle imprese per valore degli investimenti in R&D (prime 11 posizioni)

Posizione	Denominazione	Nazionalità	Settore
1	VOLKSWAGEN	Germany	Automobili e parti
2	SAMSUNG	South Korea	App.Elettroniche ed elettriche
3	MICROSOFT	US	Servizi Software & Computer
4	INTEL	US	App. e tecnologie Hardware
5	NOVARTIS	Switzerland	Farmaceutico e Biotecnologie
6	ROCHE	Switzerland	Farmaceutico e Biotecnologie
7	TOYOTA MOTOR	Japan	Automobili e parti
8	JOHNSON & JOHNSON	US	Farmaceutico e Biotecnologie
9	GOOGLE	US	Servizi Software & Computer
10	DAIMLER	Germany	Automobili e parti
11	GENERAL MOTORS	US	Automobili e parti

Fonte: European R&D Scoreboard (2015)

Tavola 2. Graduatoria mondiale delle imprese per valore degli investimenti in R&D (prime 11 posizioni)

Posizione	Denominazione	Nazionalità	Settore
1	VOLKSWAGEN	Germany	Automobili e parti
2	DAIMLER	Germany	Automobili e parti
3	BMW	Germany	Automobili e parti
4	SANOFI-AVENTIS	France	Farmaceutico e Biotecnologie
5	ROBERT BOSCH	Germany	Automobili e parti
6	SIEMENS	Germany	App.Elettroniche ed elettriche
7	GLAXOSMITHKLINE	UK	Farmaceutico e Biotecnologie
8	AIRBUS	The Netherlands	Aerospazio e difesa
9	ERICSSON	Sweden	App. e tecnologie Hardware
10	NOKIA	Finland	App. e tecnologie Hardware
11	FIAT	Italy	Automobili e parti

Fonte: European R&D Scoreboard (2015)

Se consideriamo l'Europa, l'importanza del settore automobilistico è ancora più elevata: le imprese del settore guidano i ranking e, al quinto posto, compare Bosh il più importante produttore europeo di componenti (Tavola 2).

Una misura dell'attività inventiva delle compagnie automobilistiche (ed anche della corsa in atto sulle nuove tecnologie) si ottiene guardando ai brevetti. Come era da attendersi, l'attività delle imprese dominanti appare molto intensa e, nel periodo 2007-2013, fortemente dinamica. L'industria automobilistica è il terzo settore al mondo per numero di brevetti (dopo le telecomunicazioni e dell'informatica; computer and peripherals) ed è anche quello che ha sperimentato la crescita più elevata, in particolare nell'area della propulsione. Le imprese leader assolute per numero di brevetti complessivo sono, nell'ordine, Toyota, Bosch e Hyundai, mentre nell'area tecnologica della propulsione, Toyota, sempre in testa, è seguita da Bosch e da Denso e da GM (Thompson e Reuters, 2015, su dati WIPO). Un altro aspetto molto interessante che emerge dai brevetti è che, nel campo della guida autonoma, fa il suo ingresso Google accanto ai produttori di automobili che, in quest'area tecnologica, sono nell'ordine GM (di cui si osserva un'accelerata decisa nell'ultimo periodo) Toyota e Hyundai.

Guardando ai dati sulle imprese è facile anche costruire un'immagine di quali sono i paesi leader nella produzione. Le imprese giapponesi hanno un ruolo dominante in diretta competizione con le imprese tedesche (Bosh, Daimler), mentre gli USA sembrano avere una posizione meno dominante. Le imprese cinesi non hanno ancora raggiunto una dimensione tale da entrare nella graduatoria mondiale, tuttavia la Cina non ha solo un enorme potenziale dal lato della domanda (OECD, 2014) ma pare determinata a raggiungere posizioni molto significative anche sul fronte dell'offerta di tecnologia, come si sottolineerà più avanti.

Risulta chiaro che il settore è particolarmente forte anche sul piano dell'innovazione, ma può essere molto costoso per gli incumbents transitare verso un nuovo sistema essendo almeno in parte anche intrappolati nella "vecchia" traiettoria tecnologica.

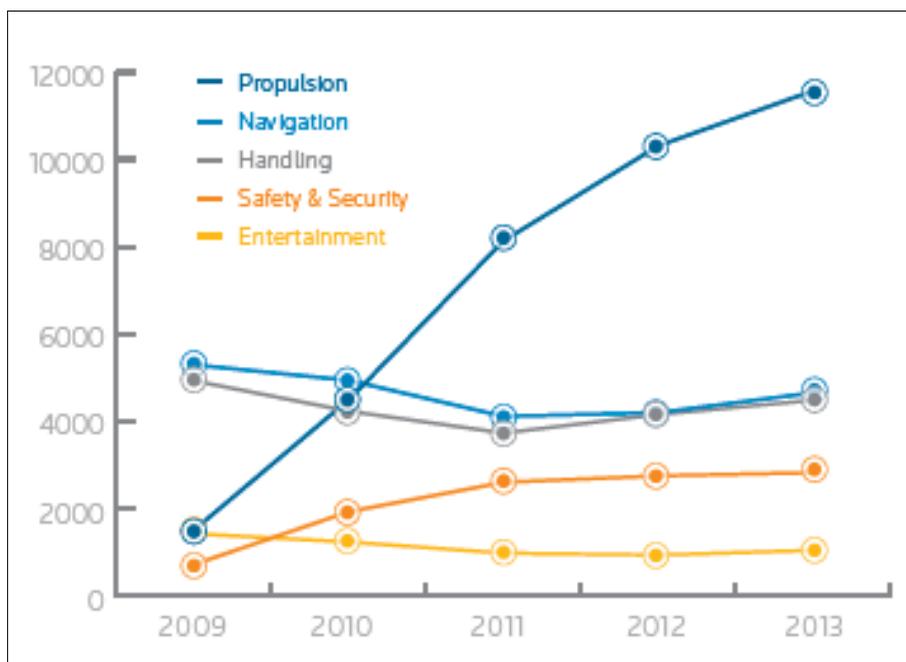


GRAFICO 1 – Numero di invenzioni brevettate per anno nel settore automotive
Fonte Thompson Reuters (2015)

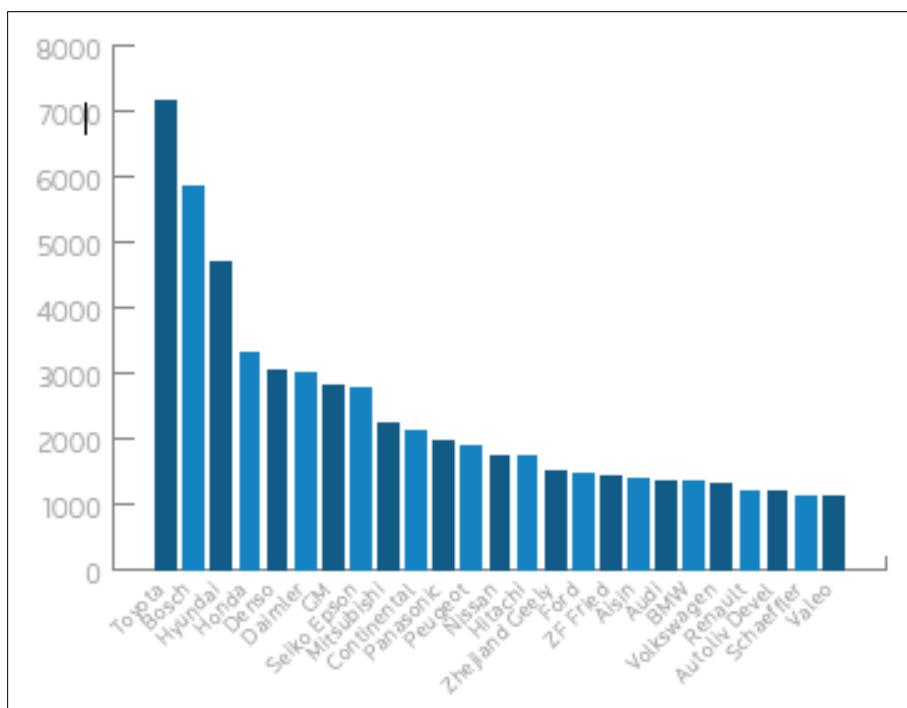


GRAFICO 2 – Top assignees 2009-2013
Fonte Thompson Reuters (2015)

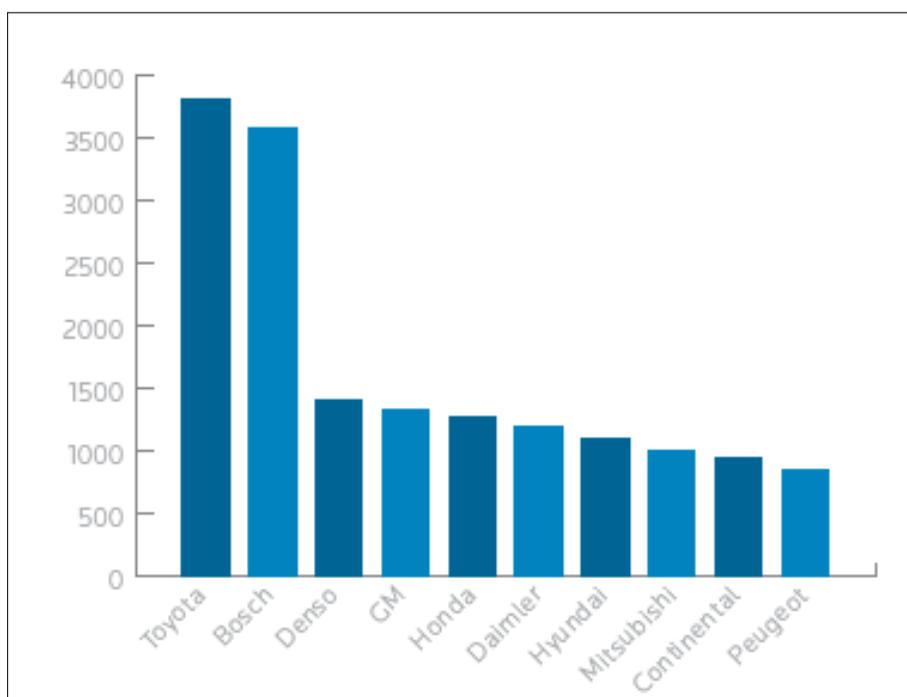


GRAFICO 3 – Top assignees nella propulsione
Fonte Thompson Reuters (2015)

In questo contesto, la questione dei brevetti è tornata prepotentemente alla ribalta, di recente, con la dichiarazione di Tesla Motors – una start up del settore in grande crescita, importante produttore mondiale di auto elettriche e soprattutto impresa produttrice di auto solo elettriche – di mettere a disposizione di tutti il proprio patrimonio brevettuale rinunciando a perseguire chi li utilizzi – “All Our Patent Are Belong To You”, dichiarazione di E. Musk 12 giugno 2014:

“Noi crediamo che Tesla, e le altre aziende che fanno auto elettriche, e il mondo intero, trarrebbero più vantaggi da una piattaforma tecnologica in rapida evoluzione comune”. “La nostra vera concorrenza non è il piccolo rivolo di auto elettriche Tesla non in produzione, ma piuttosto l’enorme flusso di auto a benzina che escono dalle fabbriche di tutto il mondo ogni giorno”.

Tavola 3 – I principali brevetti di Tesla

Brevetto	Titolo	Imprese che hanno citato i brevetti di Tesla
US7698078 (2007)	Electric vehicle communication interface	IBM, Daimler Benz, Denso
US7671565 (2006)	System and method for fusibly linking batteries	Panasonic, Tesla, Audi
US7890218 (2007)	Centralized multi-zone cooling for increased battery efficiency	Tesla, Ferrari, Renault
US8696051 (2012)	System for absorbing and distributing side impact energy utilizing a side sill assembly with a collapsible sill insert	Renault
US7923144 (2007)	Tunable frangible battery pack system	Audi, Panasonic
US7683570 (2007)	Systems, methods, and apparatus for battery charging	Tesla, Toyota
US8720968 (2012)	Charge port door with electromagnetic latching assembly	Tesla, Nissan, Toyota
US8402776 (2012)	Thermal management system with dual mode coolant loops	Hyundai
US8664907 (2011)	Fast switching for power inverter	Tesla, GE
US7841431 (2009)	Electric vehicle thermal management system	Bosch, GM, Renault

Fonte: Ambergite (2015)

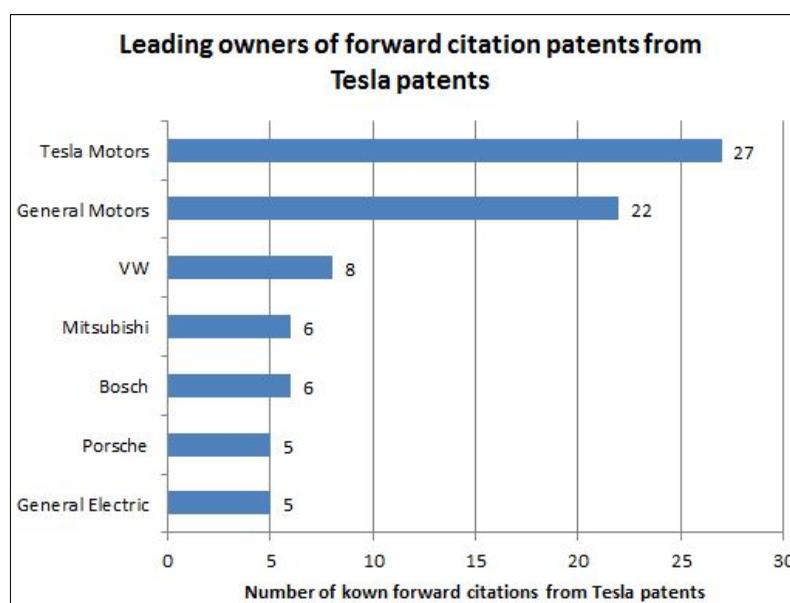


GRAFICO 4 – Le citazioni forward dei brevetti di Tesla Motors
Fonte: Ambergite (2015)

I più importanti brevetti di Tesla Motors, sono tutti piuttosto recenti e sono stati citati fino ad oggi in modo importante General Motors e, a grande distanza da Volkswagen, Mitsubishi e Bosh.

Tesla Motors, evidentemente, spera che i benefici prodotti dalla massiccia diffusione delle auto elettriche saranno maggiori degli svantaggi che possono giungere dal rafforzamento della concorrenza e, aspetto probabilmente centrale, spera in questo modo di imporre uno standard e di beneficiare di un'economia di rete nel momento in cui verranno condivise abbastanza conoscenze da creare una piattaforma tecnologica comune.

In questa scelta Tesla è stata seguita in maggio da Ford, sia pur con una modalità "più protetta". Ford ha annunciato alla fine di maggio 2015 di rendere disponibili agli altri produttori di automobili i brevetti riguardanti le tecnologie dell'auto elettrica, sia pur in cambio di un "compenso" non ancora definito. Ha annunciato, inoltre, che prevede di assumere 200 ingegneri dedicati a risolvere le questioni tecnologiche che rallentano il progresso del settore dell'auto elettrica.

3. I BREVETTI NELL'AUTO ELETTRICA E GLI ELEMENTI DI APERTURA DEL SISTEMA INNOVATIVO

La dinamica tecnologica nell'auto elettrica viene analizzata sulla base dei dati sui brevetti elaborati dall'OECD e confrontata con l'andamento dell'innovazione nelle altre tecnologie ambientali da Hašič e Migotto (2015)¹. Confrontando l'andamento del numero di invenzioni brevettate nei diversi ambiti emerge con tutta evidenza che l'innovazione nel campo delle automobili ha avuto, negli anni più recenti, un andamento molto dinamico, superato solo dalle tecnologie per l'energia eolica² (Grafico 5).

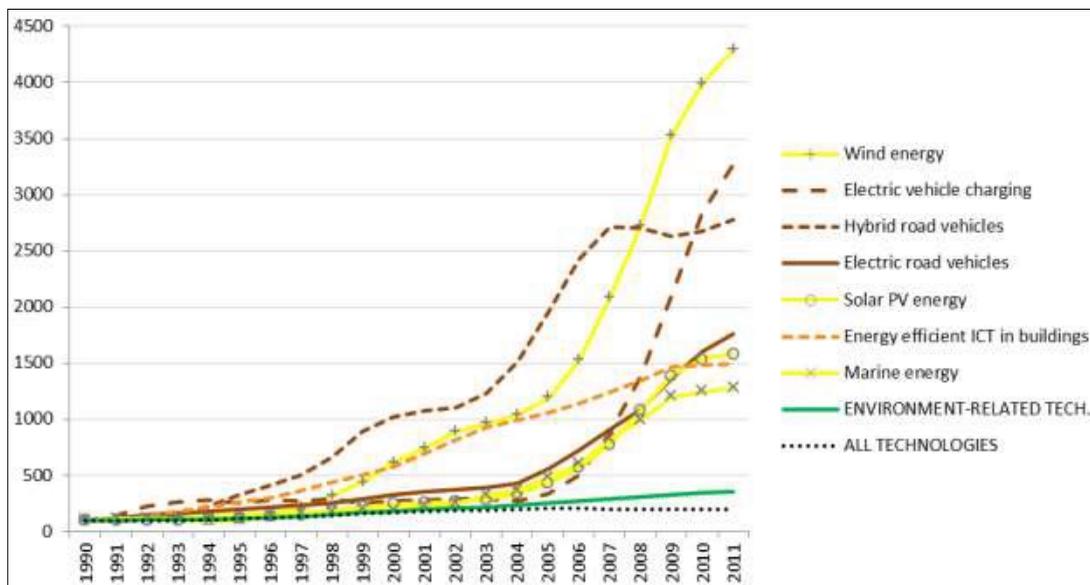


GRAFICO 5 – Andamento delle invenzioni nell'auto elettrica e nelle altre tecnologie ambientali
Fonte: Hašič e Migotto (2015)

1 I dati OECD sui brevetti misurano l'intera popolazione di invenzioni brevettate nel mondo (e non solo quelle assegnate attraverso il Patent Cooperation Treaty (PCT)), consentono una differenziazione per qualità dei brevetti stessi ed anche di distinguere tra le invenzioni "nuove" e le estensioni della protezione brevettuale in altri mercati (Hašič e Migotto, 2015).

2 Si osservi dal grafico che l'innovazione nelle tecnologie ambientali ha comunque un andamento molto più sostenuto della media.

L'innovazione dell'auto elettrica, in particolare, ha avuto un'accelerazione molto significativa a partire dal 2004. Dal 2006, si osserva un'impennata nella brevettazione di invenzioni nell'area delle batterie con un andamento che, alla fine del periodo, permette al settore di superare, in valore assoluto, il numero di invenzioni nelle auto ibride (grazie anche ad una flessione dell'attività inventiva in quest'ultimo settore).

Dall'analisi di Haščič e Migotto (2015) risulta anche che, diversamente da quanto emerso precedentemente, non vi è una dominanza molto forte di un paese sugli altri, anche se il Giappone si pone indubbiamente come un (il) paese leader. L'indice di specializzazione relativa nelle invenzioni legate all'auto elettrica ed ibrida costruito dagli autori, infatti, non assume valori particolarmente elevati: è superiore ad 1 solo per il Giappone (1,8) e per la Germania (1,1) mentre per gli USA è pari a 0,9. Interessante osservare anche i paesi di localizzazione della produzione di auto elettriche e di batterie. Qui emerge con grande forza la posizione della Cina che supera di gran lunga Giappone, Germania e Stati Uniti.

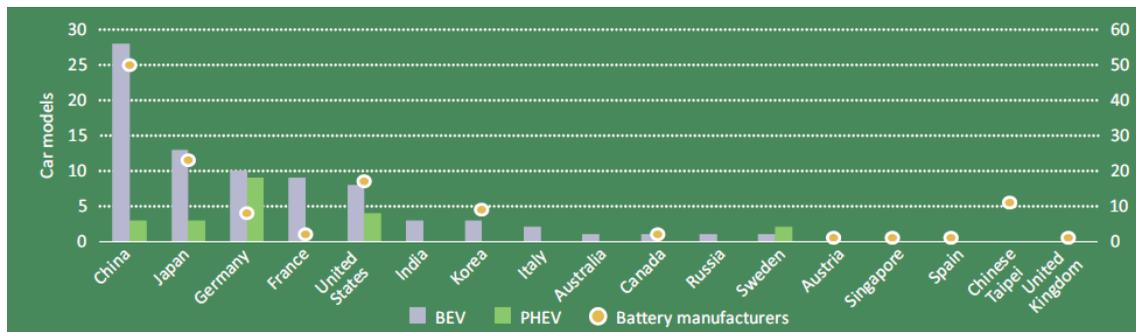


GRAFICO 6 – Modelli di auto elettrica disponibili e produttori di batterie
Fonte: IEA (2015)

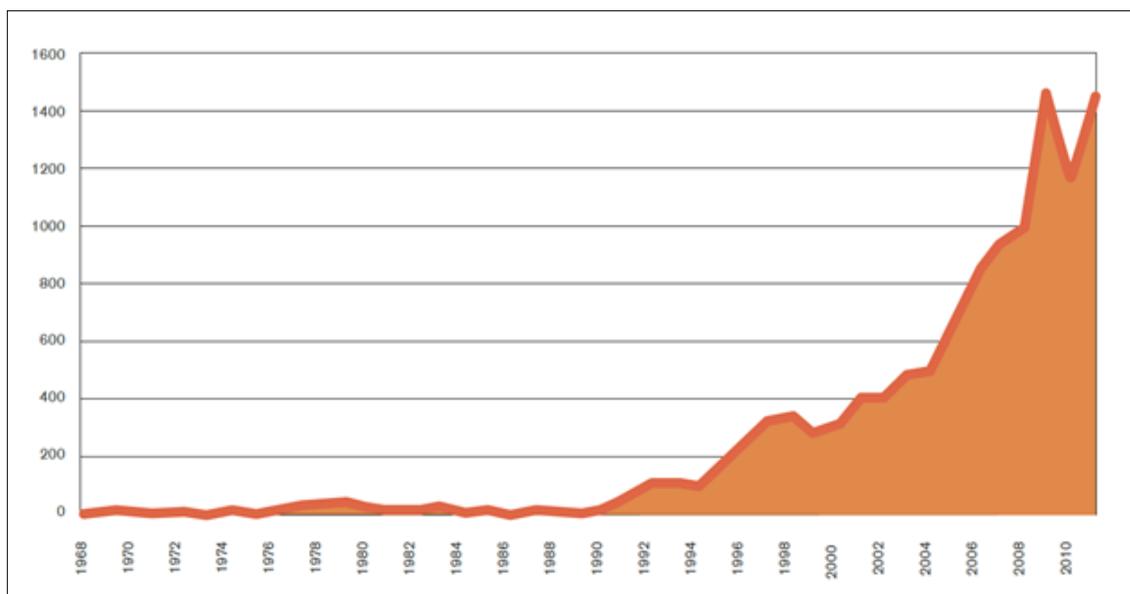


GRAFICO 7 – Pubblicazioni in co-authorship nelle automobili elettriche e ibride.
Fonte: Sarasini et al., 2013

Il passaggio all'auto elettrica sembra richiedere anche da un punto di vista strettamente tecnico, una maggiore apertura del sistema alla collaborazione. L'area delle competenze tecniche nelle innovazioni per l'auto elettrica, in particolare per la batteria, coinvolge non solo la meccanica e l'elettronica ma anche la chimica (mech-chem-tronics).

Complessivamente, la produzione di auto diviene più vicina alla ricerca di base ed anche alla produzione accademica. Evidenze in questa direzione emergono considerando le pubblicazioni realizzate in co-authorship (Grafico 2).

Se le co-brevettazioni con il settore della ricerca pubblica (Università e Centri di ricerca) sono ancora limitate, tuttavia è prevedibile che tendano a crescere grazie ai progetti di R&D in collaborazione incentivati dalle politiche pubbliche. Secondo uno studio della Commissione europea (Zubaryeva e Thiel 2013) che ha fatto un censimento dei progetti di R&D&D per l'auto elettrica messi in campo nei paesi europei per gli anni dal 2007 al 2015 con il supporto di fondi pubblici, la collaborazione tra produttori e università e centri di ricerca appare di una certa importanza anche se obiettivamente non centrale. Tuttavia le università come partner sono particolarmente presenti nell'area delle batterie (Grafico 8). In quest'ambito c'è un forte coinvolgimento delle Università tedesche e qualche presenza delle università inglesi (Surrey, Cambridge e Sheffield) e, infine, per l'Italia il centro di ricerche Fiat e l'università di Genova.

Complessivamente la situazione dei diversi paesi europei è piuttosto variegata (la Germania fa lo sforzo più rilevante per impegno profuso nella R&D&D) sia per le aree in cui si concentra la ricerca ed sia per le specifiche strategie, legate in alcuni casi a progetti che riguardano le grandi città metropolitane tra cui Berlino.

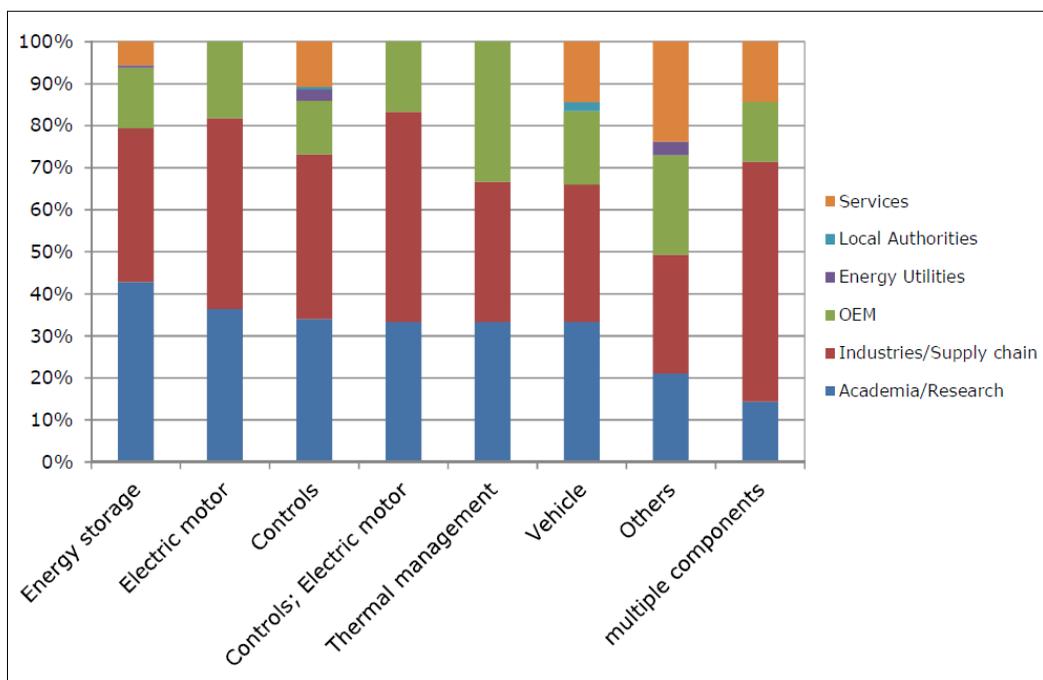


GRAFICO 8 – Progetti R&D in cooperazione nei paesi europei
Fonte: Zubaryeva e Thiel (2013)

4. ALCUNE CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'introduzione nel mercato di innovazioni radicali sembra richiedere, alla luce della teoria così come dell'esperienza storica, sistemi innovativi più aperti di quelli che dominano i mercati già strutturati attorno a grandi imprese come quello dell'automobile. Essa, infatti, richiede lo sviluppo di investimenti complementari (come quelli nella rete) e la definizione di uno standard dominante che renda possibile la creazione di un mercato ampio che generi il potenziale per una riduzione dei costi produzione grazie alle economie di scala. La situazione che emerge dalla analisi proposta in questo lavoro mostra una situazione che appare ancora problematica.

Il primo elemento che appare evidente è che il mercato è ancora fortemente dominato dalle grandi case automobilistiche che sembrano partecipare ad una corsa all'innovazione anche nel settore dell'auto elettrica con modalità molto competitive. La rottura introdotta di recente da Tesla Motors segnala che il contesto presente non è in grado di produrre la quantità di investimenti complementari necessari a permettere il passaggio ad una produzione di massa, ma non sembra, da solo, sufficiente a favorire l'emergere di una piattaforma tecnologica comune, benché la mossa di Ford lasci pensare che un effetto di rottura dello status quo si sia prodotto.

Sul fronte delle invenzioni, segnali di cambiamento del "sistema innovativo" vengono dal fatto che l'innovazione nell'auto elettrica coinvolge aree scientifiche più ampie (Mech-chem-tronics) e più aperte alla collaborazione di quelle che caratterizzano la produzione delle automobili tradizionali.

D'altra parte la dinamica della brevettazione mostra che il piano delle invenzioni è stato in questi anni particolarmente produttivo (grazie anche ad importanti finanziamenti pubblici alla ricerca) e che gli ostacoli principali sembrano trovarsi più a valle, in particolare nella scelta tra tecnologie alternative e nella definizione di standard che possano diventare dominanti.

Questo aspetto interagisce con il fatto che la diffusione dell'auto elettrica genera benefici per l'ambiente in modo territorialmente non uniforme (recentemente, tra gli altri, Holland et al. 2015; Cambing et al. 2015), poiché i benefici sono maggiori della media nelle aree congestionate come quelle metropolitane. L'incentivazione pubblica all'uso dell'auto elettrica si è realizzata perciò a macchia di leopardo, concentrandosi in alcune aree ed in alcune grandi città (ad esempio, Parigi, Berlino e in alcune città cinesi), dove i vantaggi sono maggiori, spesso con una pluralità di scelte tecnologiche, con la coesistenza di più standard, con costi diretti probabilmente rilevanti e, soprattutto, con una riduzione dell'ampiezza potenziale del mercato.

Vi è da chiedersi se questa caratteristica "locale" dei benefici dell'auto elettrica non ne costituisca un aspetto strutturale tale da rendere probabile un persistere, nello spazio, di soluzioni tecnologiche differenziate che possono alla fine competere sulla base della dimensione dei singoli mercati. In questo scenario il ruolo che la Cina potrebbe assumere come produttore sarebbe certamente non marginale.

Riferimenti bibliografici

- AGGERI F., ELMQUIST M., POHL H. (2009), “Managing learning in the automotive industry – The innovation race for electric vehicles”, *International Journal of Automotive Technology and Management* 9 (2), pp. 123-147.
- BESSEN J. (2014), “History Backs Up Tesla’s Patent Sharing”, *Harvard Business Review*, June 15.
- BESSEN, J.E., NUVOLARI A. (2011), “Knowledge Sharing Among Inventors: Some Historical Perspectives in Revolutionizing Innovation: Users, Communities And Open Innovation”, MIT Press, 2012; *Boston Univ. School of Law, Law and Economics Research Paper* No. 11-51; LEM Working Paper 2011/21.
- CANBING LI, YIJIA CAO, MI ZHANG, JIANHUI WANG, JIANGUO LIU, HAIQING SHI, YINGHUI GENG (2015), “Hidden Benefits of Electric Vehicles for Addressing Climate Change Nature Scientific Report 5”, Macmillan.
- CHRISTENSEN C.M. (1997), *The innovator’s dilemma: when new technologies cause great firms to fail*, Boston, Massachusetts, USA: Harvard Business School Press.
- CHRISTENSEN C. M., BOWER J. L. (1995), “Disruptive technologies: catching the wave”, *Harvard Business Review*. January–February.
- ENRIETTI A., PATRUCCO P.P. (2010), “Open Innovation and Systemic reconfiguration in the car industry: the case of electric vehicles”, *Bureau of research in innovation*.
- European Commission (2014), *The 2014 EU Industrial R&D Investment Scoreboard*, Bruxelles.
- HAŠČIČ I., MIGOTTO M., (2015), “Measuring Environmental Innovation Using Patent Data: Policy Relevance”, *OECD Environment Working Papers*.
- HOLLAND S.P., MANSUR E.T., MULLER N.Z., YATES A.J. (2015), “Environmental Benefits from Driving Electric Vehicles?” *NBER Working Paper* No. 21291.
- KATZ M.L., SHAPIRO C. (1985), “Network Externalities, Competition and Compatibility”, *The American Economic Review*, 75 (3), pp. 424-40.
- KATZ M.L., AND SHAPIRO C. (1992), “Product Introduction with Network Externalities”, *The Journal of Industrial Economics*, 40 (1), pp. 55-83.
- International Energy Agency (2015), *Tracking clean energy progress*, Geneva.
- LISSONI F. (2012), “Academic patenting in Europe: An overview of recent research and new perspectives”. *World Patent Information*, 34, pp.197-205.

- MOSER P. (2013), “Patents and Innovation: Evidence from Economic History”, *Journal of Economic Perspectives*, 27(1): 23-44.
- OECD (2014), *CHINA – The Case of Electric Vehicles*, Parigi.
- ZUBARYEVA, A. THIEL C. (2013), “Paving the way to electrified road transport – publicly funded research, development and demonstration projects on electric and plug-in vehicles in Europe”, *JRC Scientific and Technical report*, Publications Office of the European Union, Luxembourg.

Un'analisi della sostenibilità della mobilità urbana dei passeggeri nei comuni capoluogo di provincia italiani

ROMEO DANIELIS, ADRIANA MONTE

DEAMS, Università di Trieste

1. INTRODUZIONE

Lo scopo di questo articolo è quello di presentare i dati relativi ad alcuni indicatori di mobilità sostenibile riferiti ai capoluoghi di provincia italiani, di commentarli e discuterli al fine di rispondere alla domanda se la sostenibilità della mobilità nei comuni capoluogo di provincia italiani è migliorata nel tempo oppure no.

La risposta a questa domanda solleva preventivamente alcuni interrogativi: cosa si intende per mobilità sostenibile? Come si misura? Sono disponibili dati e indicatori su tutti gli aspetti della mobilità sostenibile? A che livello geografico sono disponibili? Per quali anni?

Nel testo daremo una risposta a queste domande. Vedremo che in alcuni casi la risposta che si può dare è sufficientemente precisa e completa, in altri casi invece potremo solo evidenziare aspetti problematici, aspetti discrezionali o limiti informativi che non sono però al momento attuale superabili.

L'unità geografica di riferimento per questo lavoro sono i comuni capoluogo di provincia. La scelta deriva per lo più dalla disponibilità dei dati. Avrebbe potuto essere la regione, la macroregione o includere anche comuni non capoluogo di provincia. Il comune capoluogo di provincia è una unità geografica comunque interessante perché comprende città di medie-grandi dimensioni (con una elevata differenza di dimensione) con un organo di governo ben preciso, l'amministrazione comunale, che ha gestito e gestisce il tema della mobilità urbana con impostazioni differenziate. È pertanto interessante confrontare le impostazioni e i risultati ottenuti nei diversi comuni capoluogo.

Il numero delle province italiane è cambiato negli ultimi vent'anni¹, fino ad arrivare alle attuali 110. Le statistiche ISTAT che ricostruiscono alcuni indicatori a livello di comuni capoluogo di provincia ne

¹ Nel 1992 vennero create 8 nuove province: Biella, Crotone, Lecco, Lodi, Prato, Rimini, Verbania e Vibo Valentia. Contestualmente, Forlì venne rinominata Provincia di Forlì-Cesena. Nel 2001 la Regione a statuto speciale della Sardegna istituì

individuano 116, in quanto alcune province hanno un doppio o triplo capoluogo. Le tabelle presentate in questo lavoro sono quindi relative a 116 capoluoghi di provincia. Per alcuni indicatori non ci sono però valori disponibili per tutti i 116 capoluoghi per il 2001.

Le considerazioni e i confronti che faremo non sono in termini assoluti (per questo si rimanda a Danielis et al. 2015), ma in termini di variazione percentuale tra il 2011 e un anno base, il 2001 o l'anno disponibile più vicino al 2001. Non risulterà quindi una valutazione su quale città ha la mobilità più sostenibile ma su quale è migliorata/peggiorata di più nel periodo preso in considerazione, indipendentemente dal livello di partenza.

2. IL CONCETTO DI MOBILITÀ SOSTENIBILE

Come abbiamo recentemente scritto (Danielis et al., 2015), il concetto di mobilità sostenibile è importante ma vago. È un concetto importante perché sottolinea che la mobilità delle persone e delle merci, pur essendo intrecciata con lo sviluppo economico dei territori, con la circolazione delle idee e con la crescita culturale dei popoli, genera anche impatti ambientali negativi e consumo delle risorse energetiche, contribuendo quindi a peggiorare la qualità dell'ambiente che lasciamo alle future generazioni.

Il concetto di mobilità sostenibile è derivato dal concetto di sviluppo sostenibile promosso nel documento "Our Common Future" del 1987, redatto dalla World Commission on Environment and Development, noto come Brundtland Report (WCED, 1987). È stato coniato per evidenziare l'esigenza di soddisfare i bisogni di mobilità della presente generazione senza compromettere la possibilità alle generazioni future di soddisfare i propri. La European Conference of Ministers of Transport (ECMT 2004) definisce sostenibile un sistema di trasporto che è accessibile, sicuro, rispettoso dell'ambiente e poco costoso.

Riconosciuta l'importanza del concetto dal punto di vista economico, ambientale e sociale, si pone il problema di misurarlo, in modo che esso diventi operativo e orienti la valutazione e le decisioni pubbliche. È bene infatti essere chiari sul fatto che non esiste, né può esistere, un modo univoco e comunemente accettato di definire e misurare la sostenibilità della mobilità (Litman, 2008, 2009). Come sempre nelle scelte sociali, la definizione e la misura di una grandezza contengono elementi di discrezionalità e giudizi di valore. L'analista è costretto a fare delle scelte e a operare delle semplificazioni. Vediamone alcuni esempi.

Centrale nella analisi della mobilità è il concetto di accessibilità, definita come la possibilità per le persone di venire a contatto con luoghi, beni o attività (Litman, 2015), in quanto essenziale per lo sviluppo economico e sociale. Ma come si definisce e misura l'accessibilità? L'idea prevalente è misurarla in termini di costo generalizzato (costo monetario + tempo impiegato). Ma come considerare i diversi utenti: automuniti e non, minorenni, disabili, persone con redditi bassi? Probabilmente avranno a disposizione diverse modalità di trasporto o dovranno integrare più modalità di trasporto (es., piedi+bus+treno). Ciascun gruppo sociale avrà un diverso valore del tempo, anche in relazione ai motivi del viaggio. Tutto ciò complica notevolmente l'individuazione dell'indicatore e la sua misurazione. Senza considerare che esso è influenzato dal modo in cui sono localizzate le attività (ad esempio, sono i centri commerciali accessibili con i mezzi pubblici o meno?), dalla configurazione del sistema di trasporto (da quale modalità è privilegiata in termini infrastrutturali e regolamentari, ad es. lo spazio ai parcheggi delle auto rispetto alle piste ciclabili), da come i mezzi di trasporto pubblico sono integrati tra di loro dal punto di vista fisico e temporale, dalla qualità delle informazioni fornite, ecc. (per una discussione più dettagliata si veda Litman, 2015).

4 province poi divenute operative nel 2005, Olbia-Tempio, l'Ogliastra, il Medio Campidano e Carbonia-Iglesias. Nel 2004, il Parlamento istituì le 3 province di Monza e Brianza, di Fermo e di Barletta-Andria-Trani, che divennero poi operative nel 2009 portando il numero complessivo delle province geografiche a 110.

Ancora, il termine sostenibilità fa indubbiamente riferimento alla minimizzazione dell'impatto ambientale e al consumo di energia, ma esistono diverse tipologie di impatti ambientali (locali o globali) e diverse fonti di energia (carbone, petrolio, gas naturale, solare, ecc.). Come devono essere valutate in termini relativi? Ad esempio, avendo a disposizione 5 indicatori di inquinamento atmosferico (CO, PM₁₀, NO_x, SO₂, CO₂) vanno considerati tutti, alcuni o uno rappresentativo? Avendo le città mix di emissioni diverse, la scelta ha un'influenza sull'esito finale.

L'aspetto sociale richiama il fatto che il trasporto e l'accessibilità sono un diritto che dovrebbe essere, almeno in una misura base, disponibile a tutti, indipendentemente dal reddito o dalla localizzazione. Ma in che misura? Solo i servizi essenziali? Come possono essere definiti? E quale tipo di mobilità deve essere garantita (solo quella sistematica sulle brevi distanze o anche quella non sistematica)?

Tutto ciò costringe a scelte discrezionali e a giudizi di valore. Un esempio di applicazione di giudizi di valore si ha nella valutazione degli indicatori: il numero di automobili per abitante va valutato positivamente (aumenta l'accessibilità) o negativamente (aumenta l'occupazione del suolo pubblico e la congestione e riduce l'uso del mezzo pubblico)?

Questi interrogativi, apparentemente teorici, hanno invece notevolissime implicazioni pratiche, politiche e anche metodologiche con cui ci dovremmo confrontare nello studio della mobilità sostenibile nei capoluoghi di provincia italiani.

C'è un ulteriore aspetto problematico. Gli indicatori selezionabili per definire la mobilità sostenibile sono assai numerosi, nell'ordine delle decine. Valutare, comunicare e orientare le scelte usando un numero così elevato di indicatori non è pratico per cui, inevitabilmente:

- si selezionano solo alcuni indicatori tra i molti disponibili;
- si dà una interpretazione positiva o negativa all'indicatore rispetto al contributo che esso dà alla mobilità sostenibile;
- e spesso, e anche noi in questo contributo proveremo a muoverci in quella direzione, si elabora un indicatore sintetico di mobilità sostenibile aggregando gli indicatori elementari, per confrontare città diverse.

La costruzione di un indicatore sintetico, come evidenzia la letteratura (Nardo et. al., 2008), implica usare dei pesi e dei metodi di aggregazione che non sono neutri.

L'esito di quanto affermato sulla discrezionalità nella definizione e misurazione del concetto di mobilità sostenibile è che vengono prodotte da ricercatori o enti di ricerca classifiche di mobilità sostenibile con ordinamenti diversi che possono disorientare i decisori e rendere il concetto non interessante o contenente troppe aleatorietà per essere usato come strumento per orientare le decisioni.

Per quanto abbiamo detto finora, un certo grado di discrezionalità e giudizio di valore da parte dell'analista è inevitabile. Si tenga comunque presente che ciò non è proprio solo del concetto di mobilità sostenibile: lo stesso problema è presente ogni qual volta si elaborino indicatori economico-sociali, di sviluppo economico, di innovatività, di livello di istruzione, di salute, ecc.. Pur tuttavia, come la letteratura e la manualistica sugli indicatori in generale e sugli indicatori di sintesi in particolare hanno ben evidenziato, esistono metodologie che correttamente utilizzate e presentate possono rendere chiara la relazione che c'è tra il dato di partenza e l'indicatore di sintesi ottenuto. In questo modo, il fruitore potrà meglio interpretare gli indicatori elementari e sintetici prodotti, valutandone il grado informativo e la loro utilizzabilità per le decisioni con cui si confronta.

Questo è lo sforzo che abbiamo inteso fare in questo scritto che mira a illustrare le variazioni intervenute nella mobilità nelle città capoluogo di provincia italiane dal punto di vista della sostenibilità, avendo come riferimento gli anni 2001 (o un anno prossimo al 2001, quando questo non disponibile) e l'anno 2011, evidenziando:

- quali indicatori sono stati da noi scelti in vista della costruzione di un indicatore sintetico di mobilità sostenibile;
- le variazioni intervenute nel decennio 2001-11 a livello complessivo e per comune capoluogo;
- i primi passi verso la costruzione di un indicatore sintetico di mobilità sostenibile e la variazione di questo a livello di città nel decennio considerato.

Il tema oggetto di questo articolo è stato oggetto di interessanti contributi anche da parte di altri autori italiani. Zito e Salvo (2011) hanno elaborato un indice per un confronto tra città europee. Mamei e Marletto (2014) hanno affrontato il problema della scelta degli indicatori interrogando i cittadini in merito alle loro preferenze. Perialice e Trepiedi (2015) hanno elaborato un indice di sostenibilità, applicandolo a livello nazionale in relazione ad altri paesi europei. Infine, Brini (2015) propone un sistema integrato di indicatori per la mobilità sostenibile nelle aree urbane italiane.

3. INDICATORI E FONTI UTILIZZATI

In questo articolo saranno presentati dati relativi a 15 indicatori:

- *Offerta di trasporto pubblico locale (autobus, filobus, tram e metropolitana)*: per il 2001 tratta da Istat (2012c) – Tavola 10 – Posti-km offerti dagli autobus nei comuni capoluogo di provincia – Anni 2000-2010 (milioni) (a) e successive 11, 12 e 13, e per il 2011 tratta da Istat (2014a) -Tavola 10 – Posti-km offerti dagli autobus nei comuni capoluogo di provincia – Anni 2008-2012 (milioni).
- *La domanda di trasporto pubblico locale*: per il 2001 tratta da Istat (2012a) -Tavola 2 – Domanda di trasporto pubblico nei comuni capoluogo di provincia (a) – Anni 2000-2011 (passeggeri annui trasportati dai mezzi di trasporto pubblico per abitante) e per il 2011 tratta da Istat (2014a) – Tavola 16 – Domanda di trasporto pubblico nei comuni capoluogo di provincia (a) – Anni 2008-2012 (passeggeri annui trasportati dai mezzi di trasporto pubblico per abitante).
- *Tasso di motorizzazione*: per il 2001 tratta da Istat (2012a) – Tavola 3 – Tasso di motorizzazione per i comuni capoluogo di provincia – Anni 2000-2011 (autovetture per 1.000 abitanti) e per il 2011 tratta da Istat (2014a) – Tavola 17 – Tasso di motorizzazione per i comuni capoluogo di provincia – Anni 2008-2012 (autovetture per 1.000 abitanti).
- *La tecnologia delle automobili*: per il 2005 tratta da Istat (2012a) – Tavola 5 – Tasso di motorizzazione per le autovetture euro IV ed euro V nei comuni capoluogo di provincia – Anni 2005-2011 (autovetture per 1.000 abitanti) e per il 2011 tratta da Istat (2014a) – Tavola 18 – Autovetture per standard emissivo nei comuni capoluogo di provincia – Anni 2008-2012 (composizione percentuale).
- *Consistenza dei motocicli*: per il 2001 tratta da Istat (2012a) – Tavola 6 – Consistenza dei motocicli per i comuni capoluogo di provincia – Anni 2000-2011 (motocicli per 1.000 abitanti) e per il 2011 tratta da Istat (2014a) – Tavola 26 – Consistenza dei motocicli per i comuni capoluogo di provincia – Anni 2008-2012 (motocicli per 1.000 abitanti).
- *Gli incidenti stradali*: per il 2004 e per il 2011 tratta da Istat (2014b) – Tavola 12.10 – Tasso di incidenti stradali per comune capoluogo di provincia – Anni 2004-2013 (per 100.000 abitanti).
- *Le emissioni inquinanti locali*: per il 2004 e per il 2011 tratta da Istat (2015b) – Tavola 10.2 – Numero massimo di giorni di superamento del limite per la protezione della salute umana previsto per il PM10 nei comuni capoluoghi di provincia – Anni 2004-2013 (numero di giorni).

- *Le politiche:*
 - *La densità delle zone a traffico limitato:* per il 2001 tratta da Istat (2012a) – Tavola 29 – Densità delle zone a traffico limitato (ZTL) (km² per 100 km² di superficie comunale) nei comuni capoluogo di provincia – Anni 2000- 2010 (a) e per il 2011 tratta da Istat (2014a) – Tavola 30 – Densità delle zone a traffico limitato (Ztl) nei comuni capoluogo di provincia – Anni 2008-2012 (a) (b) (km² per 100 km² di superficie comunale)
 - *La disponibilità di aree pedonali:* per il 2001 tratta da Istat (2012a) – Tavola 30 – Disponibilità di aree pedonali (m² per 100 abitanti) nei comuni capoluogo di provincia – Anni 2000-2010 (a) e per il 2011 tratta da Istat (2014a) – Tavola 31 – Disponibilità di aree pedonali nei comuni capoluogo di provincia – Anni 2008-2012 (a) (b) (m² per 100 abitanti)
 - *La sosta a pagamento:* per il 2001 tratta da Istat (2012a) – Tavola 31 – Stalli di sosta a pagamento su strada per 1.000 autovetture circolanti nei comuni capoluogo di provincia – Anni 2000-2010 (a) e per il 2011 tratta da Istat (2014a) – Tavola 32 – Stalli di sosta a pagamento su strada nei comuni capoluogo di provincia – Anni 2008-2012 (per 1.000 autovetture circolanti)
 - *La densità di piste ciclabili:* per il 2001 tratta da Istat (2012a) – Tavola 33 – Densità di piste ciclabili (km per 100 km² di superficie comunale) nei comuni capoluogo di provincia – Anni 2000-2010 (a) e per il 2011 tratta da Istat (2014a) – Tavola 12.7 – Densità di piste ciclabili per comune capoluogo di provincia – Anni 2008-2013 (chilometri per 100 km² di superficie comunale)
- *La distribuzione modale:*
 - *Il trasporto pubblico:* per il 2001 e per il 2011 tratta da Istat (2001) – 14° Censimento della popolazione e delle abitazioni 2011 e Istat (2015a) – 15° Censimento della popolazione e delle abitazioni 2011.
 - *Il trasporto privato motorizzato:* per il 2001 e per il 2011 tratta dal Istat (2001) – 14° Censimento della popolazione e delle abitazioni 2011 e Istat (2015a) – 15° Censimento della popolazione e delle abitazioni 2011.
 - *Il trasporto privato non motorizzato:* per il 2001 e per il 2011 tratta da Istat (2001) – 14° Censimento della popolazione e delle abitazioni 2011 e Istat (2015a) – 15° Censimento della popolazione e delle abitazioni 2011.
- *Il tempo di viaggio:* per il 2001 e per il 2011 tratta da Istat (2001) – 14° Censimento della popolazione e delle abitazioni 2011 e Istat (2015a) – 15° Censimento della popolazione e delle abitazioni 2011.

4. RISULTATI

In questa sezione illustriamo e brevemente discutiamo i risultati relativi alla variazione degli indicatori individuati. L'attenzione è sulla variazione percentuale per ciascuna città. Sarà evidenziata la variazione media complessiva e le città che hanno avuto variazioni superiori o inferiori alla media. Saranno per ovvie ragioni sottolineate le variazioni intervenute nelle 10 principali città italiane². I risultati ottenuti sono riportati in forma tabellare completa in Danielis e Monte (2015).

4.1 L'OFFERTA DI TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (TPL)

Considerando i dati relativi al 2001 e al 2011 sul trasporto pubblico locale (autobus, tram, filobus, metropolitana) e sommando i posti-km offerti dai diversi mezzi di trasporto pubblico, si trova che complessivamente c'è stato nel decennio 2001-2011 un aumento del 2% dell'offerta complessiva di TPL. A livello dei singoli modi di trasporto, mediamente l'autobus ha avuto una diminuzione del 5% dei posti-km offerti, il tram un aumento del 21%, il filobus del 22% e anche la metropolitana un aumento del 22%. Il peso dell'offerta di posti-km bus sul totale era pari al 73% nel 2001 contro il 20% della metropolitana. Nel 2011 si è ridotto al 68% contro il 24% della metropolitana.

I diversi comuni hanno però mostrato variazioni percentuali³ molto differenziate. Alcuni comuni hanno mostrato incrementi percentuali positivi (Riquadro 1), anche sostenuti o non negativi. Tra questi alcuni comuni hanno raddoppiato (Andria, Verbania, Mantova) la loro offerta, addirittura triplicata nel caso di Pesaro, mentre altri l'hanno aumentata considerevolmente. Da segnalare anche la presenza di alcune grandi città: Torino, Bari, Milano, Firenze, Roma, Bologna.

Riquadro 1 – Comuni con incrementi positivi dell'offerta di TPL

Pesaro (294%), Andria (137%), Verbania (111%), Mantova (109%), Catanzaro (76%), Lecce (69%), Bolzano (65%), Reggio Emilia (65%), Latina (47%), Isernia (47%), Caserta (43%), Teramo (39%), Ancona (37%), Barletta (36%), Torino (36%), Reggio Calabria (34%), Vercelli (29%), Olbia (23%), Viterbo (22%), Imperia (22%), Prato (21%), Trento (19%), Trapani (18%), Grosseto (16%), Bari (16%), Cagliari (16%), Rieti (16%), Pavia (14%), Alessandria (14%), Cuneo (13%), Sassari (12%), Lodi (11%), Savona (11%), Ravenna (10%), Venezia (10%), Parma (10%), Milano (9%), Vibo Valentia (9%), Enna (9%), L'Aquila (9%), Firenze (7%), Belluno (7%), Salerno (7%), Asti (6%), Treviso (4%), Bergamo (4%), Crotone (4%), Verona (4%), La Spezia (4%), Udine (3%), Brescia (3%), Oristano (3%), Roma (2%), Taranto (2%), Pescara (1%), Sondrio (0%), Bologna (0%), Chieti (0%), Caltanissetta (0%), Tempio Pausania (0%), Carbonia (0%), Como (0%), Novara (0%), Rimini (0%).

Altri comuni mostrano invece decrementi (Riquadro 2). Si segnalano per dimensione della città o per entità della riduzione: Napoli, Genova, Palermo, Catania, Cremona, Forlì, Messina.

2 Al 2014 le città italiane con il maggior numero di abitanti sono le seguenti: Roma (2.873.212), Milano (1.338.264), Napoli (977.264), Torino (895.786), Palermo (677.454), Genova (590.757), Bologna (386.298), Firenze (381.354), Bari (327.013), Catania (315.230).

3 L'indicatore variazione percentuale che useremo spesso in questo scritto ovviamente risente della diversa base di partenza e dunque non riflette in modo univoco lo sforzo compiuto dai comuni. Per chiarire, un comune che nel 2001 offriva 1 (milione di posti-km) e nel 2011 ne offre 2, ha avuto un incremento percentuale del 100%, mentre un comune che nel 2001 offriva 100 (milioni di posti-km) e nel 2011 ne offre 101, ha avuto un incremento in termini assoluti uguale al comune precedente ma in termini percentuali solo del 1%.

Riquadro 2 – Comuni con variazioni negative dell'offerta di TPL

Potenza (-1%), Siracusa (-2%), Gorizia (-2%), Piacenza (-2%), Trieste (-3%), Pisa (-3%), Siena (-4%), Napoli (-5%), Brindisi (-5%), Arezzo (-6%), Foggia (-6%), Benevento (-8%), Massa (-8%), Varese (-8%), Ferrara (-9%), Vicenza (-9%), Terni (-9%), Aosta (-10%), Padova (-10%), Genova (-10%), Rovigo (-11%), Macerata (-14%), Nuoro (-14%), Frosinone (-14%), Cosenza (-17%), Agrigento (-17%), Campobasso (-18%), Pistoia (-19%), Lecco (-20%), Ascoli Piceno (-21%), Perugia (-22%), Biella (-23%), Lucca (-23%), Palermo (-24%), Ragusa (-24%), Modena (-24%), Avellino (-24%), Livorno (-26%), Matera (-27%), Iglesias (-32%), Tortoli (-33%), Pordenone (-34%), Catania (-38%), Cremona (-39%), Forlì (-52%), Messina (-62%).

Per Monza, Fermo, Trani, Lanusei, Sanluri, Villacidro il valore dell'indicatore al 2001 non è disponibile e quindi l'incremento percentuale non è calcolabile.

4.2 LA DOMANDA DI TRASPORTO PUBBLICO LOCALE

La domanda di trasporto pubblico nei comuni capoluogo di provincia è misurata in termini di passeggeri annui trasportati dai mezzi di trasporto pubblico per abitante. Relativamente al periodo 2001-2011, in termini complessivi è aumentata del 8%. I comuni che hanno visto aumentare, o non diminuire, la domanda in termini percentuali sono in ordine decrescente riportati nel Riquadro 3.

Riquadro 3 – Comuni in cui la domanda di trasporto pubblico è aumentata

Verbania (167%), Andria (125%), Vercelli (117%), Carbonia (100%), Lecce (83%), Frosinone (67%), Vibo Valentia (67%), Messina (55%), Treviso (48%), Mantova (47%), Pisa (41%), Verona (41%), Pesaro (40%), Ragusa (40%), Asti (35%), Bolzano (32%), Bergamo (32%), Salerno (31%), Catanzaro (30%), Pescara (29%), Gorizia (26%), Matera (26%), Oristano (25%), Biella (24%), Forlì (22%), Pistoia (20%), Benevento (19%), Trento (18%), Roma (16%), Firenze (14%), Pordenone (13%), Venezia (13%), Cuneo (13%), Varese (11%), Milano (11%), Torino (11%), Cagliari (11%), Novara (10%), Ravenna (10%), Crotone (10%), Brescia (8%), Alessandria (8%), Livorno (7%), Padova (7%), Bari (7%), Sassari (4%), Aosta (4%), Olbia (4%), Parma (3%), Taranto (2%), Bologna (1%), Genova (0%), Udine (0%), Massa (0%), Latina (0%), Campobasso (0%), Trani (0%), Reggio Calabria (0%), Trapani (0%), Siracusa (0%), Tempio Pausania (0%).

I comuni che l'hanno vista diminuire sono riportati nel Riquadro 4.

Riquadro 4 – Comuni in cui la domanda di trasporto pubblico è diminuita

Perugia (-1%), Rimini (-2%), Nuoro (-3%), Enna (-3%), Como (-3%), Pavia (-3%), Isernia (-3%), La Spezia (-5%), Trieste (-6%), Chieti (-6%), Siena (-7%), Monza (-7%), Foggia (-7%), Ferrara (-9%), Piacenza (-11%), Savona (-12%), Lecco (-12%), Prato (-12%), Napoli (-13%), Terni (-13%), Barletta (-14%), Reggio Emilia (-16%), Brindisi (-17%), Viterbo (-17%), Belluno (-18%), Ancona (-18%), Rieti (-18%), Grosseto (-19%), Sondrio (-20%), Iglesias (-20%), Lodi (-22%), Teramo (-24%), Modena (-24%), Ascoli Piceno (-24%), Macerata (-24%), Lucca (-26%), Imperia (-27%), Vicenza (-28%), Arezzo (-28%), L'Aquila (-31%), Caltanissetta (-33%), Caserta (-35%), Rovigo (-39%), Potenza (-43%), Cosenza (-46%), Cremona (-47%), Fermo (-48%), Tortoli (-50%), Catania (-51%), Palermo (-56%), Avellino (-64%), Agrigento (-67%).

Si segnala che alcuni comuni hanno visto un raddoppio della domanda di TPL: Verbania, Andria, Vercelli, Carbonia. Tra i grandi comuni mostrano variazioni percentuali positive Roma, Firenze, Milano, Torino, Bari, Bologna e Genova, mentre mostrano variazioni percentuali negative Napoli, Catania e Palermo.

4.3 IL TASSO DI MOTORIZZAZIONE

Il tasso di motorizzazione per i comuni capoluogo di provincia, misurato in termini di autovetture per 1.000 abitanti, è diminuito nel complesso del 2%, passando da 624 a 614 autovetture per 1.000 abitanti. Come è noto, l'Italia è uno dei paesi europei che ha un più elevato tasso di motorizzazione. La valutazione di ciò dal punto di vista della sostenibilità della mobilità urbana non è ovviamente univoca: da un lato la disponibilità dell'auto aumenta l'accessibilità e riduce i tempi di viaggio, dall'altro genera congestione, emissioni atmosferiche e rumore. La tecnologia dell'automobile, che gioca anche un ruolo importante, sarà discussa nella prossima sezione. Alcuni comuni hanno diminuito il tasso di motorizzazione (Riquadro 5). Sia per dimensione della città che per entità della diminuzione sorprendono: Napoli, Roma, Bologna, Torino, Milano, Firenze, Genova.

Riquadro 5 – Comuni in cui è diminuito il tasso di motorizzazione

Salerno (-1%), Imperia (-1%), Lecce (-1%), Asti (-1%), Brescia (-1%), La Spezia (-1%), Gorizia (-1%), Verona (-1%), Pistoia (-1%), Prato (-1%), Savona (-2%), Varese (-2%), Como (-2%), Ancona (-2%), Rimini (-2%), Perugia (-3%), Pesaro (-3%), Vercelli (-3%), Biella (-3%), Ravenna (-3%), Livorno (-3%), Vicenza (-3%), Firenze (-4%), Novara (-4%), Genova (-4%), Padova (-4%), Alessandria (-4%), Grosseto (-4%), Forlì (-4%), Mantova (-4%), Pescara (-4%), Lodi (-4%), Venezia (-5%), Parma (-5%), Pordenone (-5%), Sassari (-5%), Bergamo (-5%), Treviso (-5%), Modena (-5%), Piacenza (-6%), Napoli (-6%), Roma (-6%), Bolzano (-9%), Bologna (-9%), Torino (-10%), Siena (-11%), Milano (-13%).

Altri invece l'hanno aumentato (o non diminuito) (Riquadro 6):

Riquadro 6 – Comuni in cui il tasso di motorizzazione non è diminuito

Aosta (34%), Villacidro (28%), Trani (27%), Lanusei (26%), Barletta (24%), Sanluri (22%), Isernia (20%), Andria (19%), Iglesias (18%), Tortolì (17%), Carbonia (17%), Vibo Valentia (16%), Campobasso (14%), Benevento (14%), Potenza (13%), Catanzaro (13%), Caltanissetta (13%), Catania (12%), Enna (12%), L'Aquila (12%), Taranto (12%), Crotona (12%), Foggia (11%), Nuoro (11%), Siracusa (11%), Matera (10%), Oristano (9%), Reggio Calabria (9%), Brindisi (8%), Messina (8%), Tempio Pausania (8%), Avellino (7%), Rieti (6%), Trento (6%), Viterbo (6%), Frosinone (6%), Ascoli Piceno (6%), Latina (6%), Fermo (6%), Ragusa (5%), Agrigento (5%), Massa (5%), Chieti (5%), Trapani (5%), Rovigo (4%), Monza (4%), Lucca (4%), Teramo (4%), Macerata (4%), Cosenza (4%), Palermo (4%), Cuneo (3%), Belluno (3%), Olbia (3%), Lecco (2%), Bari (2%), Reggio Emilia (2%), Sondrio (1%), Cagliari (1%), Caserta (1%), Udine (0%), Arezzo (0%), Trieste (0%), Ferrara (0%), Terni (0%), Verbania (0%), Cremona (0%), Pavia (0%), Pisa (0%).

A parte il caso di Aosta, distorto dalle regole fiscali, questo gruppo vede nelle posizioni più elevate diverse città meridionali di media ma anche di grande dimensione: Catania, Palermo, Bari.

4.4 LA TECNOLOGIA DELLE AUTOMOBILI

La percentuale di automobili con tecnologia Euro 4 o 5 è in continuo aumento. A livello complessivo tale aumento è del 422%, passando dal 9% al 47% della flotta. Salvo alcune città per cui non abbiamo il dato per il 2001 (Monza, Fermo, Andria, Barletta, Trani), tutte le città mostrano aumenti consistenti. Ciò ha sicuramente contribuito a ridurre le emissioni atmosferiche, rendendo la mobilità più sostenibile.

Riquadro 7 – Percentuale di automobili con tecnologia Euro 4 o 5

L'Aquila (683%), Ascoli Piceno (680%), Lanusei (675%), Avellino (660%), Matera (660%), Campobasso (640%), Terni (600%), Isernia (600%), Foggia (600%), Enna (600%), Cuneo (586%), Macerata (583%), Oristano (583%), Caserta (567%), Arezzo (557%), Mantova (543%), Carbonia (543%), Benevento (533%), Salerno (533%), Sanluri (533%), Asti (529%), Gorizia (529%), Latina (529%), Bari (529%), Brindisi (517%), Crotona (517%), Vibo Valentia (517%), Trapani (517%), Agrigento (517%), Ragusa (517%), Nuoro (517%), Chieti (514%), Verbania (513%), Ravenna (513%), Pavia (511%), Vercelli (500%), Brescia (500%), Pordenone (500%), Viterbo (500%), Cosenza (500%), Venezia (488%), Rovigo (488%), Pescara (488%), Frosinone (486%), Siracusa (486%), Iglesias (486%), Caltanissetta (483%), Villacidro (483%), La Spezia (478%), Lodi (478%), Parma (478%), Massa (478%), Pistoia (478%), Siena (478%), Biella (475%), Savona (475%), Sondrio (475%), Udine (475%), Trieste (475%), Grosseto (475%), Taranto (471%), Imperia (463%), Perugia (463%), Reggio Emilia (460%), Napoli (460%), Rieti (457%), Lecce (457%), Reggio Calabria (457%), Messina (457%), Novara (456%), Alessandria (456%), Genova (456%), Varese (456%), Ferrara (456%), Pesaro (456%), Livorno (450%), Trento (445%), Cremona (444%), Belluno (444%), Treviso (444%), Padova (444%), Piacenza (444%), Modena (444%), Forlì (444%), Potenza (443%), Lucca (440%), Pisa (440%), Catanzaro (438%), Rimini (433%), Milano (430%), Tempio Pausania (429%), Vicenza (422%), Bergamo (420%), Ancona (420%), Firenze (418%), Catania (417%), Tortoli (414%), Teramo (413%), Torino (410%), Lecco (410%), Verona (400%), Bologna (400%), Palermo (400%), Como (391%), Bolzano (391%), Sassari (389%), Cagliari (389%), Olbia (378%), Roma (373%), Prato (358%), Aosta (320%).

4.5 LA CONSISTENZA DEI MOTOCICLI

Un veicolo il cui utilizzo è in aumento nelle città italiane è la motocicletta. A livello complessivo tale aumento è del 60%, passando da 82 a 131 motocicli per 1.000 abitanti.

Alcuni comuni hanno avuto tassi di incremento superiori al dato medio nazionale (Riquadro 8).

Riquadro 8 – Comuni con un tasso di incremento del numero di motocicli per abitante superiore al dato medio nazionale

Catania (125%), Isernia (124%), Palermo (110%), Campobasso (107%), Salerno (104%), Messina (100%), Reggio Calabria (98%), Enna (96%), Agrigento (96%), Benevento (95%), Potenza (95%), Matera (93%), Massa (92%), L'Aquila (90%), Taranto (90%), Latina (89%), Lanusei (87%), Trani (87%), Tempio Pausania (84%), Avellino (84%), Chieti (83%), Caltanissetta (82%), Barletta (80%), Viterbo (78%), Frosinone (78%), Rieti (77%), Brindisi (76%), Bari (75%), Livorno (75%), Grosseto (75%), Teramo (75%), Andria (75%), Caserta (73%), Trapani (73%), Catanzaro (72%), La Spezia (72%), Ragusa (72%), Siena (70%), Pisa (69%), Foggia (69%), Pescara (68%), Rimini (67%), Roma (67%), Iglesias (67%), Ascoli Piceno (66%), Lucca (65%), Pesaro (65%), Siracusa (65%), Nuoro (64%), Sassari (63%), Terni (63%), Tortoli (63%), Trieste (63%), Ravenna (62%), Lecce (62%), Savona (62%), Firenze (61%), Crotona (61%), Fermo (61%).

Riquadro 9 – Comuni con un tasso di incremento del numero di motocicli per abitante inferiore al dato medio nazionale

Sanluri (58%), Oristano (57%), Imperia (57%), Vibo Valentia (56%), Napoli (56%), Verona (55%), Ferrara (55%), Villacidro (54%), Gorizia (52%), Olbia (52%), Rovigo (52%), Carbonia (51%), Pavia (51%), Ancona (50%), Cagliari (50%), Milano (49%), Vercelli (49%), Udine (49%), Monza (48%), Torino (48%), Forlì (48%), Cosenza (48%), Novara (47%), Macerata (47%), Cuneo (46%), Asti (46%), Trento (45%), Bolzano (45%), Prato (45%), Sondrio (44%), Venezia (43%), Treviso (43%), Padova (43%), Varese (43%), Arezzo (43%), Genova (43%), Bergamo (41%), Lodi (41%), Lecco (41%), Mantova (41%), Verbania (40%), Bologna (40%), Perugia (39%), Como (39%), Biella (38%), Cremona (37%), Pistoia (37%), Parma (37%), Alessandria (37%), Belluno (36%), Vicenza (35%), Pordenone (35%), Modena (32%), Brescia (32%), Reggio Emilia (28%), Piacenza (27%).

Tutti però hanno mostrato aumenti considerevoli, con Aosta (-46%), unica città ad avere un dato negativo, anche in questo caso probabilmente per motivi fiscali.

L'effetto di questa tendenza sulla mobilità sostenibile è incerto: sicuramente l'uso del motociclo riduce i tempi di spostamento in situazioni di traffico urbano congestionato, con un effetto però negativo in termini di emissioni atmosferiche (a meno che non si sia verificato un miglioramento tecnologico considerevole nei motori) e di sicurezza stradale (in quanto i motociclisti sono indubbiamente più a rischio degli automobilisti in caso di incidente).

4.6 GLI INCIDENTI STRADALI

Il tasso di incidenti stradali per i comuni capoluogo di provincia vede una incoraggiante riduzione da 422 incidenti per 100.000 abitanti del 2004 a 346 incidenti del 2011 (-18%). Riduzioni superiori al dato medio sono presenti nelle città riportate nel Riquadro 10, mentre riduzioni inferiori al dato medio sono presenti nei comuni elencati nel Riquadro 11.

Riquadro 10 – Capoluoghi con una riduzione del tasso di incidenti stradali superiore alla media nazionale

Cosenza (-80%), Nuoro (-66%), Sondrio (-51%), Oristano (-51%), Trapani (-49%), Pistoia (-43%), Isernia (-43%), Teramo (-40%), Forlì (-39%), Trieste (-38%), Catanzaro (-37%), Rimini (-36%), Reggio Emilia (-36%), Cagliari (-36%), Latina (-35%), Firenze (-32%), Prato (-32%), Como (-32%), Perugia (-31%), Pesaro (-31%), Aosta (-31%), Crotone (-30%), Milano (-30%), Cuneo (-29%), Rovigo (-29%), Frosinone (-28%), Alessandria (-28%), Benevento (-27%), Pordenone (-27%), Sassari (-27%), Savona (-27%), Salerno (-27%), Brescia (-26%), Venezia (-26%), Ravenna (-25%), Gorizia (-25%), Cremona (-24%), Messina (-23%), Roma (-23%), Trento (-23%), Verbania (-22%), Mantova (-22%), Treviso (-22%), Torino (-22%), Reggio Calabria (-21%), Bologna (-21%), Agrigento (-19%), Padova (-19%), Vicenza (-19%), Massa (-19%), Novara (-19%), Siena (-18%), Grosseto (-18%), Avellino (-18%), Napoli (-18%).

Riquadro 11 – Capoluoghi con una riduzione del tasso di incidenti stradali inferiore alla media nazionale

Brindisi (-18%), Verona (-17%), Lodi (-17%), Caserta (-17%), Modena (-17%), Pisa (-16%), Asti (-16%), Rieti (-15%), Pavia (-15%), Bergamo (-15%), La Spezia (-14%), Bari (-14%), Vercelli (-14%), Ancona (-13%), Matera (-13%), Piacenza (-12%), L'Aquila (-12%), Belluno (-12%), Pescara (-11%), Parma (-11%), Lecco (-10%), Lecce (-10%), Catania (-10%), Chieti (-9%), Udine (-9%), Terni (-9%), Arezzo (-8%), Imperia (-8%), Ferrara (-8%), Ascoli Piceno (-7%), Enna (-6%), Varese (-5%), Taranto (-4%), Lucca (-2%), Vibo Valentia (-1%), Campobasso (0%).

Si segnalano invece aumenti del tasso di incidentalità a: Biella (4%), Siracusa (4%), Viterbo (5%), Foggia (9%), Palermo (9%), Genova (13%), Potenza (18%), Ragusa (19%), Macerata (19%), Caltanissetta (25%), Bolzano (41%) e Livorno (73%).

Mancano del dato relativo al 2004 i seguenti capoluoghi: Monza, Fermo, Andria, Barletta, Trani, Olbia, Tempio Pausania, Lanusei, Tortolì, Sanluri, Villacidro, Carbonia, Iglesias.

4.7 LE EMISSIONI INQUINANTI LOCALI

Relativamente al numero di giorni in cui è avvenuto un superamento del limite per la protezione della salute umana previsto per il PM10, nel periodo 2004-2013 in diversi comuni capoluoghi di provincia i dati sono mancanti. Considerando solo le 77 città su 116 di cui si hanno i dati per entrambi gli anni risulta che il numero di giorni di superamento in totale è stato pari a 6267 nel 2004 (81 giorni in media

per città) contro i 4850 giorni del 2011 (63 giorni in media per città), un miglioramento significativo (-23%), ma non ancora sufficiente considerato che il numero di giorni di sforamenti tollerato è in un anno pari a 35. I capoluoghi di provincia italiani avevano quindi nel 2011 una qualità dell'aria ancora molto insoddisfacente.

Miglioramenti superiori alla media si registrano nei comuni riportati nel Riquadro 12. Si noti la presenza di grandi città quali: Bari, Firenze, Genova, Roma, Catania, Bologna, Torino.

Riquadro 12 – Comuni in cui si registrano miglioramenti superiori alla media nazionale

Grosseto (-99%), Siena (-97%), Livorno (-94%), Bari (-91%), La Spezia (-84%), Firenze (-78%), Potenza (-76%), Bolzano (-71%), Aosta (-70%), Brindisi (-69%), Belluno (-65%), Vercelli (-63%), Viterbo (-60%), Pesaro (-60%), Genova (-59%), Roma (-52%), Lucca (-48%), Forlì (-45%), Prato (-43%), Sondrio (-41%), Caserta (-41%), Ancona (-40%), Cuneo (-38%), Avellino (-38%), Verbania (-36%), Caltanissetta (-35%), Catania (-33%), Vicenza (-29%), Bologna (-28%), Pisa (-28%), Pescara (-28%), Rovigo (-27%), Torino (-26%), Perugia (-25%), Asti (-25%), Padova (-23%).

Miglioramenti inferiori alla media si registrano nei comuni riportati nel Riquadro 13.

Riquadro 13 – Comuni in cui si registrano miglioramenti inferiore alla media nazionale

Rimini (-20%), Verona (-20%), Ascoli Piceno (-19%), Salerno (-18%), Pavia (-15%), Milano (-15%), Piacenza (-13%), Ferrara (-12%), Parma (-11%), Siracusa (-9%), Bergamo (-5%), Gorizia (-4%), Cremona (-3%), Mantova (-2%).

Esiste poi un gruppo di comuni dove i giorni di sfornamento sono ulteriormente aumentati (Riquadro 14). Si noti la presenza di grandi città quali Napoli e Palermo.

Riquadro 14 – Comuni in cui si registrano peggioramenti della qualità dell'aria

Modena (0%), Lecco (2%), Novara (5%), Napoli (5%), Lodi (5%), Treviso (6%), Trento (10%), Ravenna (13%), Frosinone (16%), Pordenone (20%), Venezia (24%), Terni (28%), Como (36%), Arezzo (36%), Palermo (40%), Reggio Emilia (43%), Alessandria (45%), Brescia (47%), Biella (64%), Savona (69%), Cagliari (79%), Benevento (91%), Latina (94%), Trieste (206%), Varese (393%), Taranto (400%), Udine (1025%).

4.8 LE POLITICHE

I comuni capoluoghi di provincia hanno adottato diverse politiche per “calmare” il traffico o indirizzarlo verso modalità non motorizzate in modo da rendere più vivibili le città. I dati disponibili ci mostrano alcune evidenze.

4.8.1 LA DENSITÀ DELLE ZONE A TRAFFICO LIMITATO

La densità delle zone a traffico limitato è misurata in termini di km² per 100 km² di superficie comunale. Si tratta di un indicatore che fornisce numeri piuttosto bassi: 45 città su 116 hanno valori positivi nel 2011. Esse sono:

Torino, Vercelli, Biella, Cuneo, Verbania, Alessandria, Aosta, Genova, La Spezia, Como, Lecco, Sondrio, Milano, Bergamo, Brescia, Pavia, Cremona, Mantova, Bolzano, Venezia, Padova, Pordenone, Piacenza, Bologna, Rimini, Lucca, Firenze, Prato, Pisa, Siena, Terni, Ancona, Roma, Isernia, Campobasso, Caserta, Napoli, Salerno, Andria, Catanzaro, Trapani, Palermo, Nuoro, Cagliari, Tempio Pausania.

La definizione di zone a traffico limitato non è del tutto univoca per cui alcune città potrebbero non essere state inserite nell'elenco.

4.8.2 LA DISPONIBILITÀ DI AREE PEDONALI

La disponibilità di aree pedonali è misurata in m² per 100 abitanti. Questo indicatore fornisce anche numeri elevati: 107 città su 116 presentano nel 2011 valori positivi. Non riportano aree pedonali nel 2011 le città di Rovigo, Trani, Trapani, Enna, Lanusei, Sanluri, Villacidro, Iglesias e Carbonia. A livello complessivo le aree pedonali sono cresciute nel periodo 2001-11 del 38%, da 24 m² a 33 m² per 100 abitanti. Alcune città hanno segnalato incrementi sopra la media nel periodo considerato (Riquadro 15). Da segnalare gli incrementi elevati anche nelle grandi città come: Catania, Milano, Palermo, Bologna, Roma e Torino.

Riquadro 15 – Città con incrementi della disponibilità di aree pedonali superiori alla media nazionale

Lecce (3000%), Biella (2700%), Sondrio (757%), Catania (700%), Ragusa (650%), Frosinone (425%), Siracusa (400%), Pescara (300%), Cosenza (300%), Vercelli (238%), Milano (222%), Pesaro (195%), Ferrara (180%), Rieti (175%), Terni (150%), Taranto (150%), Nuoro (150%), Avellino (143%), Trieste (142%), La Spezia (135%), Palermo (133%), Brescia (114%), Matera (100%), Catanzaro (100%), Parma (93%), Bologna (87%), Verbania (84%), Pistoia (83%), Caserta (83%), Barletta (80%), Bari (78%), Forlì (75%), Rimini (75%), Reggio Emilia (74%), Ravenna (71%), Arezzo (67%), Benevento (64%), Potenza (60%), Aosta (50%), Andria (50%), Padova (46%), Verona (42%), Roma (42%), Torino (41%), Bolzano (38%).

Alcune città hanno segnalato incrementi inferiori alla media nazionale o nessuna variazione (Riquadro 16).

Riquadro 16 – Città con incrementi della disponibilità di aree pedonali inferiori alla media nazionale

Modena (36%), Mantova (33%), Grosseto (25%), Vibo Valentia (25%), Prato (24%), Como (22%), Firenze (22%), Tortoli (22%), Savona (19%), Vicenza (17%), Udine (17%), Napoli (15%), Varese (11%), Cremona (10%), Pordenone (9%), Crotone (7%), Venezia (6%), Cuneo (5%), Piacenza (5%), Cagliari (4%), Chieti (1%), Novara (0%), Imperia (0%), Genova (0%), Bergamo (0%), Belluno (0%), Treviso (0%), Siena (0%), Perugia (0%), Ancona (0%), Foggia (0%), Oristano (0%).

Alcune hanno segnalato invece decrementi⁴: Lucca (-1%), Tempio Pausania (-2%), Pisa (-4%), Massa (-5%), Lecco (-7%), Livorno (-8%), Salerno (-8%), Pavia (-11%), Alessandria (-25%), Campobasso (-40%), L'Aquila (-47%), Caltanissetta (-64%) e Teramo (-96%),

4.8.3 LA SOSTA A PAGAMENTO

Gli indicatori Istat ci forniscono il numero di stalli di sosta a pagamento su strada nei comuni capoluogo di provincia per 1.000 autovetture circolanti. A livello complessivo, essi sono aumentati del 59%, da 32 del 2001 ai 51 del 2011.

Alcune città mostrano aumenti del numero di stalli di sosta a pagamento superiori alla media nazionale (Riquadro 17), altre inferiori alla media o nessuna variazione (Riquadro 18), altre ancora hanno avuto una riduzione del loro numero (Riquadro 18)⁵.

4 Per altre la variazione percentuale non è calcolabile perché il valore nel 2001 era pari a zero. Esse sono: Asti, Monza, Lodi, Trento, Gorizia, Macerata, Fermo, Ascoli Piceno, Viterbo, Latina, Isernia, Brindisi, Reggio Calabria, Messina, Agrigento, Sassari, Olbia. Non è chiaro se tale valore è dovuto all'assenza di piste ciclabili o alla non disponibilità del dato.

5 Per un gruppo di città il rapporto non si può calcolare per assenza di dati. Esse sono: Monza, Fermo, Isernia, Barletta, Trani, Lecce, Matera, Messina, Agrigento, Caltanissetta, Tortoli, Villacidro e Iglesias.

Riquadro 17 – Città con un incremento del numero di stalli di sosta a pagamento superiore alla media nazionale

Verona (2500%), Palermo (1467%), Avellino (1425%), Genova (740%), Viterbo (675%), Belluno (464%), Reggio Calabria (350%), Asti (328%), Pesaro (300%), Siracusa (275%), Trento (253%), Benevento (244%), Reggio Emilia (231%), Pescara (231%), Bari (200%), Latina (176%), Milano (175%), Cuneo (157%), Grosseto (157%), Frosinone (157%), Ancona (139%), Olbia (136%), Lodi (129%), Massa (100%), Cagliari (100%), Prato (93%), Catania (90%), Ferrara (89%), Venezia (88%), Pisa (84%), Verbania (82%), Firenze (78%), Tempio Pausania (77%), Sondrio (76%), Foggia (76%), Modena (70%), Siena (70%), Gorizia (60%).

Riquadro 18 – Città con un incremento del numero di stalli di sosta a pagamento inferiore alla media nazionale

Perugia (58%), Parma (57%), Andria (57%), Cosenza (57%), Lucca (56%), Cremona (52%), Roma (52%), Biella (50%), Bologna (50%), Vicenza (49%), Caserta (43%), Sanluri (41%), Savona (39%), Novara (38%), Rimini (38%), Alessandria (37%), Trieste (33%), Rieti (33%), Vercelli (32%), Padova (29%), Oristano (27%), Campobasso (23%), Ragusa (23%), Como (22%), Vibo Valentia (21%), Varese (20%), Chieti (20%), Taranto (19%), Rovigo (16%), Forlì (16%), Aosta (13%), La Spezia (12%), Pavia (9%), Teramo (8%), Torino (5%), Bolzano (5%), Pordenone (5%), Ravenna (5%), Napoli (5%), Lecco (3%), Bergamo (3%), Imperia (2%), Macerata (2%), Ascoli Piceno (0%),

Diminuzioni si sono invece osservate a:

Riquadro 19 – Città che hanno ridotto il numero di stalli di sosta a pagamento

Mantova (-1%), Udine (-2%), Enna (-6%), Salerno (-7%), Catanzaro (-7%), Piacenza (-8%), Arezzo (-8%), Potenza (-11%), Nuoro (-12%), Treviso (-15%), Carbonia (-15%), Terni (-17%), Trapani (-17%), Pistoia (-18%), Livorno (-22%), Brindisi (-24%), Brescia (-29%), Crotone (-29%), Sassari (-40%), L'Aquila (-100%), Lanusei (-100%).

4.8.4 LA DENSITÀ DI PISTE CICLABILI

La densità di piste ciclabili per comune capoluogo di provincia è misurata in chilometri per 100 km² di superficie comunale. A livello complessivo, essi sono aumentati del 26%, dai 14 del 2001 ai 17 del 2011. 17 città su 116 non dichiarano piste ciclabili nel 2011⁶.

In termini percentuali gli aumenti superiori alla media si sono avuti nelle città riportate nel Riquadro 20. Da segnalare il dato di Milano.

Riquadro 20 – Città con aumenti della densità di piste ciclabili superiori alla media nazionale

Fermo (6900%), Alessandria (323%), Cagliari (230%), Campobasso (225%), Lecce (214%), Barletta (158%), Trani (126%), Bergamo (104%), Como (78%), Milano (75%), Belluno (74%), Savona (67%), Macerata (67%), Modena (62%), Vicenza (42%), Treviso (38%), Piacenza (38%), Ferrara (37%), Pescara (36%), Torino (35%), Verbania (33%), Crotone (33%), Venezia (31%), Parma (30%), Pordenone (28%), Pesaro (27%), Arezzo (27%), Reggio Emilia (26%).

Aumenti inferiori alla media, o nessuna variazione, si sono avuti nelle città riportate nel Riquadro 21.

⁶ Esse sono: Imperia, Viterbo, L'Aquila, Isernia, Napoli, Taranto, Potenza, Trapani, Caltanissetta, Enna, Ragusa, Sassari, Nuoro, Olbia, Tempio Pausania, Lanusei, Sanluri, Villacidro, Iglesias.

Riquadro 21 – Città con aumenti della densità di piste ciclabili inferiori alla media nazionale

Verona (25%), Cosenza (25%), Padova (24%), Bologna (24%), Caserta (22%), Mantova (21%), Cremona (21%), Forlì (20%), Trento (20%), Novara (18%), Bari (17%), Rimini (15%), Palermo (13%), Lodi (11%), Roma (11%), Udine (10%), Livorno (10%), Grosseto (9%), Trieste (8%), Rovigo (8%), Bolzano (6%), Benevento (6%), Lucca (4%), Vercelli (3%), Aosta (3%), Brescia (2%), Cuneo (2%), Sondrio (0%), Pavia (0%), Prato (0%), Massa (0%), Ravenna (0%), Varese (0%), La Spezia (0%), Lecco (0%), Gorizia (0%), Biella (0%), Terni (0%), Catanzaro (0%), Salerno (0%), Carbonia (0%), Siena (0%), Oristano (0%), Latina (0%), Asti (0%), Ancona (0%), Pistoia (0%), Tortoli (0%), Agrigento (0%), Foggia (0%), Brindisi (0%), Perugia (0%), Andria (0%), Messina (0%), Avellino (0%), Reggio Calabria (0%).

Diminuzioni si sono invece osservate a: Pisa (-4%), Monza (-13%), Firenze (-23%) e Chieti (-40%)⁷.

4.9 LA DISTRIBUZIONE MODALE

I Censimenti della popolazione del 2001 e del 2011 ci forniscono importanti indicazioni sulla mobilità sistemica (casa-lavoro o casa-scuola) per i comuni italiani.

Dai Censimenti abbiamo ricavato gli indicatori per il trasporto pubblico, il trasporto privato motorizzato (non include l'uso dell'auto come passeggero) e non motorizzato per i 116 comuni capoluogo di provincia.

4.9.1 IL TRASPORTO PUBBLICO

Sommando le quote dei mezzi di trasporto pubblici (treno, tram, metro, autobus/filobus urbano, autobus extraurbano e autobus aziendale o scolastico) si ottiene per il complesso dei comuni capoluoghi di provincia una quota pari al 18% nel 2001 e del 19% nel 2011, con un incremento pari al 9%.

In termini percentuali gli aumenti superiori alla media si sono avuti nelle città riportate nel Riquadro 22. Sono presenti molte grandi città: Bologna, Bari, Milano, Torino, Roma, Firenze.

Riquadro 22 – Città con aumenti della quota di TPL superiori alla media nazionale

Verbania (42%), Bolzano (41%), Modena (33%), Lanusei (29%), Bologna (28%), Forlì (27%), Lecce (27%), Prato (27%), Isernia (24%), Pordenone (24%), Vercelli (23%), Andria (23%), Parma (23%), Pisa (22%), Reggio Emilia (21%), Verona (21%), Brescia (18%), Bari (17%), Crotone (16%), Padova (16%), Vicenza (16%), Pescara (16%), Milano (16%), Latina (15%), Torino (15%), Trento (15%), Trieste (14%), Reggio Calabria (14%), Chieti (13%), Rieti (13%), Como (13%), Barletta (13%), Aosta (13%), Novara (13%), Lecco (12%), Ancona (12%), La Spezia (12%), Gorizia (12%), Roma (12%), Trapani (12%), Cagliari (11%), Firenze (11%), Udine (10%), Olbia (10%), Pavia (9%).

Aumenti inferiori alla media o una situazione invariata nelle città riportate nel Riquadro 23.

Riquadro 23 – Città con aumenti della quota di TPL inferiori alla media nazionale

Mantova (9%), Frosinone (9%), Ferrara (9%), Lodi (8%), Rimini (7%), Pesaro (7%), Fermo (7%), Teramo (7%), Bergamo (6%), Asti (6%), Salerno (6%), Biella (5%), Ravenna (5%), Genova (5%), Terni (5%), Monza (4%), Napoli (4%), Piacenza (4%), Viterbo (3%), Caltanissetta (3%), Ragusa (3%), Venezia (3%), Pistoia (2%), Avellino (2%), Imperia (1%), Siena (1%), Alessandria (1%), Varese (1%), Livorno (1%), Savona (0%), Oristano (0%), Macerata (0%), Sassari (0%), Lucca (0%).

⁷ Per il seguente gruppo di città i non si è potuto calcolare il rapporto: Rieti, Frosinone, Teramo, Siracusa, Vibo Valentia, Ascoli Piceno, Catania, Matera, Genova.

Diminuzioni della quota di TPL si sono invece osservate nelle città riportate nel Riquadro 24. Sono generalmente città di medio-piccole dimensione a eccezione di Palermo e Catania.

Riquadro 24 – Città con diminuzioni della quota di TPL

Treviso (-1%), Catanzaro (-1%), Arezzo (-1%), Sanluri (-2%), Cuneo (-2%), Ascoli Piceno (-3%), Cosenza (-3%), Palermo (-5%), Cremona (-5%), Potenza (-5%), Perugia (-5%), Grosseto (-5%), Benevento (-6%), Massa (-8%), Foggia (-8%), Belluno (-8%), Trani (-8%), Tempio Pausania (-9%), L'Aquila (-10%), Siracusa (-10%), Iglesias (-11%), Matera (-11%), Caserta (-11%), Enna (-12%), Rovigo (-13%), Vibo Valentia (-15%), Sondrio (-15%), Brindisi (-17%), Agrigento (-19%), Campobasso (-20%), Taranto (-20%), Nuoro (-20%), Messina (-21%), Tortoli (-21%), Catania (-23%), Villacidro (-28%), Carbonia (-35%).

4.9.2 IL TRASPORTO PRIVATO MOTORIZZATO

Consideriamo ora la quota di persone che hanno usato l'auto privata come conducente (e non come passeggero) oppure il motociclo o lo scooter. Per il complesso dei comuni capoluoghi di provincia il trasporto privato motorizzato rappresenta una quota pari al 47% nel 2001 e del 44% nel 2011, con un diminuzione pari al 7%. In termini percentuali una diminuzione superiore alla media si riscontra nelle città elencate nel Riquadro 25. Sono presenti molte grandi città: Milano (-20%), Bologna (-17%), Firenze (-14%), Torino (-14%), Roma (-7%).

Riquadro 25 – Città con riduzioni della quota di trasporto privato motorizzato superiori alla media nazionale

Bolzano (-22%), Milano (-20%), Bologna (-17%), Firenze (-14%), Torino (-14%), Monza (-13%), Padova (-13%), Prato (-13%), Trieste (-12%), Mantova (-11%), Modena (-11%), Venezia (-11%), Pordenone (-11%), Bergamo (-11%), Brescia (-11%), Piacenza (-11%), Gorizia (-10%), Parma (-10%), Reggio Emilia (-10%), Vicenza (-10%), Verona (-10%), Lodi (-9%), Cremona (-9%), Novara (-9%), Treviso (-9%), Vercelli (-9%), Terni (-8%), Livorno (-8%), Pisa (-8%), Lecco (-8%), Trento (-8%), Udine (-8%), Pescara (-7%), Forlì (-7%), Como (-7%), Roma (-7%), Pavia (-7%), La Spezia (-7%), Lecce (-7%).

Una diminuzione inferiore alla media, o nessuna riduzione, si ha nelle città elencate nel Riquadro 26.

Riquadro 26 – Città con riduzioni della quota di trasporto privato motorizzato superiori alla media nazionale

Barletta (-7%), Biella (-6%), Aosta (-6%), Arezzo (-6%), Ancona (-6%), Sondrio (-6%), Rimini (-6%), Pistoia (-6%), Siena (-6%), Ravenna (-6%), Verbania (-6%), Genova (-5%), Ferrara (-5%), Cagliari (-5%), Napoli (-5%), Pesaro (-5%), Lucca (-5%), Massa (-4%), Trapani (-4%), Grosseto (-3%), Caserta (-3%), Savona (-3%), Alessandria (-3%), Cuneo (-3%), Bari (-3%), Perugia (-3%), Oristano (-3%), Avellino (-3%), Imperia (-3%), Olbia (-3%), Salerno (-3%), Latina (-2%), Ascoli Piceno (-2%), Fermo (-1%), Varese (-1%), Viterbo (-1%), Andria (-1%), Trani (-1%), Chieti (0%), Asti (0%), Siracusa (0%), Frosinone (0%), Palermo (0%), Macerata (0%), Rovigo (0%), Reggio Calabria (0%), Belluno (0%), Sassari (0%), Teramo (0%).

Si sono invece osservati invece aumenti nelle città riportate nel Riquadro 27. Sono generalmente città di medio-piccole dimensione a eccezione di Catania.

Riquadro 27 – Città con aumenti della quota di trasporto privato motorizzato

Matera (1%), Caltanissetta (1%), Rieti (1%), Catania (2%), Tortoli (2%), Cosenza (2%), Ragusa (3%), Foggia (3%), Crotone (3%), Nuoro (3%), Brindisi (4%), Isernia (4%), Messina (4%), Agrigento (5%), Taranto (5%), Benevento (5%), Catanzaro (6%), Potenza (6%), Tempio Pausania (6%), Campobasso (8%), Vibo Valentia (8%), Enna (9%), Sanluri (10%), L'Aquila (12%), Carbonia (12%), Lanusei (13%), Iglesias (14%), Villacidro (21%).

4.9.3 IL TRASPORTO PRIVATO NON MOTORIZZATO

Un ulteriore quota di viaggi sistematici si svolge a piedi, in bicicletta o con altri mezzi. Tale quota per il complesso dei comuni capoluoghi di provincia ha rappresentato il 22% nel 2001 e il 23 % nel 2011, con un incremento pari al 4%.

I comuni con una variazione positiva sono elencati, in ordine decrescente, nel Riquadro 28. Nuovamente, segnaliamo le grandi città di: Firenze, Bologna, Milano, Torino, Genova, Napoli.

Riquadro 28 – Città con aumenti della quota di trasporto privato non motorizzato

Monza (34%), Firenze (27%), Brescia (23%), Prato (22%), Gorizia (21%), Pordenone (20%), Bergamo (20%), Treviso (20%), Padova (20%), Modena (19%), Verona (19%), Bologna (19%), Terni (19%), Livorno (18%), Reggio Emilia (17%), Cremona (17%), Piacenza (17%), Vercelli (15%), Vicenza (14%), Lecco (14%), Biella (12%), Lodi (12%), Udine (12%), Milano (12%), Trieste (12%), Cuneo (11%), Torino (11%), Mantova (11%), Novara (11%), Lecce (10%), Arezzo (10%), Lucca (9%), Pesaro (9%), Aosta (9%), Siena (8%), Verbania (8%), Oristano (8%), Rimini (8%), Parma (7%), Bolzano (7%), Imperia (7%), Ravenna (7%), Pavia (7%), Pistoia (6%), La Spezia (6%), Pescara (5%), Ascoli Piceno (5%), Sondrio (5%), Varese (5%), Como (5%), Genova (5%), Caserta (5%), Trento (5%), Venezia (5%), Pisa (3%), Savona (3%), Massa (3%), Cagliari (2%), Ancona (2%), Grosseto (2%), Ferrara (2%), Barletta (2%), Belluno (2%), Latina (1%), Alessandria (1%), Perugia (0%), Napoli (0%).

I comuni con una variazione negativa sono, in ordine crescente, riportati nel Riquadro 29. Le grandi città presenti in questo gruppo sono: Roma, Palermo, Catania, Bari.

Riquadro 29 – Città con riduzioni della quota di trasporto privato non motorizzato

Roma (-1%), Trani (-1%), Forlì (-2%), Rieti (-2%), Avellino (-2%), Rovigo (-2%), Chieti (-3%), Salerno (-3%), Macerata (-3%), Fermo (-3%), Trapani (-4%), Palermo (-4%), Andria (-4%), Taranto (-5%), Nuoro (-5%), Matera (-6%), Cosenza (-6%), Tortolì (-6%), Olbia (-6%), Foggia (-6%), Asti (-6%), Enna (-6%), Catania (-7%), Bari (-7%), Messina (-7%), Benevento (-7%), Sassari (-8%), Frosinone (-9%), Viterbo (-9%), Reggio Calabria (-11%), Vibo Valentia (-11%), Caltanissetta (-11%), Brindisi (-11%), Teramo (-13%), Ragusa (-13%), Isernia (-14%), Tempio Pausania (-15%), Sanluri (-17%), Siracusa (-18%), Campobasso (-18%), Catanzaro (-18%), Villacidro (-18%), Lanusei (-19%), Potenza (-22%), Carbonia (-23%), Iglesias (-27%), Agrigento (-28%), Crotone (-29%), L'Aquila (-61%).

4.10 I VIAGGI BREVI

Infine, riportiamo i dati relativi ai viaggi che si svolgono entro 15 minuti. Essi rappresentano la nostra *proxy* migliore dell'accessibilità, in assenza di dati sui livelli di congestione. Per il complesso dei comuni capoluogo, la quota di tali viaggi sul totale è stata pari nel 2001 al 53%, calando al 49% nel 2011, con una riduzione del 6%. A meno che non si siano modificate le destinazioni dei viaggi, tale indicatore indicherebbe che le velocità di percorrenza sono mediamente aumentate (non è investigata la modalità dello spostamento). Tale dato medio è diversamente distribuito tra i comuni capoluogo. In alcuni la quota di viaggi brevi, entro 15 minuti, è diminuita più della media nazionale (Riquadro 30). Molte sono città medio-piccole ma ci sono anche alcune grandi città (Bari, Palermo, Bologna, Roma).

Riquadro 30 – Città con riduzioni della quota di viaggi brevi superiori alla media nazionale

L'Aquila (-17%), Ferrara (-13%), Rimini (-13%), Verona (-12%), Bari (-11%), Palermo (-10%), Latina (-10%), Varese (-10%), Brescia (-10%), Pisa (-10%), Grosseto (-10%), Andria (-9%), Fermo (-9%), Pescara (-9%), Gorizia (-9%), Reggio Emilia (-9%), Bergamo (-9%), Pavia (-9%), Sassari (-9%), Trapani (-8%), Bologna (-8%), Como (-8%), Lucca (-8%), Vercelli (-8%), Vibo Valentia (-8%), Cremona (-8%), Roma (-8%), Rieti (-8%), Chieti (-8%), Siracusa (-8%), Novara (-8%), Lecco (-8%), Verbania (-8%), Massa (-7%), Lodi (-7%), Parma (-7%), Isernia (-7%), Terni (-7%), Pordenone (-7%), Ragusa (-7%), Viterbo (-7%), Agrigento (-7%), Padova (-7%), Foggia (-7%), Caltanissetta (-7%), Macerata (-7%), Crotone (-7%), Olbia (-7%), Trani (-7%), Perugia (-7%), Catanzaro (-7%), Ravenna (-7%), Modena (-6%), Monza (-6%), Ascoli Piceno (-6%).

In altri comuni la diminuzione è inferiore alla media nazionale (Riquadro 31). Solo a Carbonia e Villacidro la quota di viaggi brevi è aumentata.

Riquadro 31 – Città con riduzioni della quota di viaggi brevi inferiore alla media nazionale

Savona (-6%), Taranto (-6%), Mantova (-6%), Firenze (-6%), Iglesias (-6%), Asti (-6%), Trento (-6%), Oristano (-6%), Belluno (-6%), Udine (-6%), Siena (-6%), Forlì (-6%), Imperia (-6%), Teramo (-6%), Nuoro (-6%), Ancona (-6%), Torino (-5%), Benevento (-5%), Messina (-5%), Salerno (-5%), Rovigo (-5%), Barletta (-5%), Tortoli (-5%), Brindisi (-5%), Genova (-5%), Pistoia (-5%), Sondrio (-5%), Prato (-5%), Reggio Calabria (-4%), Livorno (-4%), Sanluri (-4%), Milano (-4%), Arezzo (-4%), Treviso (-4%), La Spezia (-4%), Lanusei (-4%), Trieste (-4%), Catania (-4%), Vicenza (-4%), Avellino (-4%), Biella (-4%), Piacenza (-4%), Bolzano (-3%), Potenza (-3%), Cagliari (-3%), Campobasso (-3%), Cuneo (-3%), Aosta (-3%), Tempio Pausania (-3%), Napoli (-2%), Matera (-2%), Enna (-2%), Caserta (-2%), Lecce (-2%), Alessandria (-2%), Pesaro (-2%), Venezia (-2%), Frosinone (-1%), Cosenza (-1%).

4.11 RIASSUNTO DEI RISULTATI RELATIVAMENTE AI SINGOLI INDICATORI

La Tavola 1 mostra i principali risultati per ciascun indicatore.

Come si può osservare, a livello complessivo, nei comuni capoluogo di provincia italiani è aumentata sia l'offerta sia la domanda di trasporto pubblico e ciò si è tradotto anche in un aumento della quota del trasporto pubblico, almeno nella mobilità sistematica (casa-lavoro, casa-scuola) monitorata dai Censimenti. Tutto ciò non si è verificato omogeneamente in tutte le città, ma solo in poco più di metà di esse. Con riferimento alle grandi città, l'aumento del TPL si è avuto a Torino, Bari, Milano, Firenze, Roma e Bologna. Di segno contrario sono Palermo e Catania. Napoli ha visto un aumento dell'offerta ma non della domanda, mentre all'opposto Genova ha avuto una contrazione dell'offerta ma non della domanda.

Il tasso di motorizzazione è complessivamente leggermente calato, ma è aumentato in 62 città, tra cui Catania, Palermo e Bari. È diminuito in 51 città, comprese le rimanenti altre grandi città.

La tecnologia motoristica delle autovetture è migliorata, con un numero 4 volte superiore di automobili Euro 4 o Euro 5.

In forte incremento l'uso dei motocicli e degli scooter in tutte le città.

Gli incidenti stradali sono complessivamente calati di un buon 23%. Sono però aumentati in 26 città, comprese Napoli e Palermo.

Tutte le città hanno promosso politiche di gestione del traffico e di re-indirizzamento del traffico verso le modalità non motoristiche, attraverso zone a traffico limitato, aree pedonali, l'introduzione di stalli di parcheggio a pagamento e piste ciclabili. I tassi di incremento sono elevati probabilmente anche in considerazione dei bassi livelli presenti nel 2001.

La distribuzione modale della mobilità sistematica vede complessivamente un incremento del trasporto pubblico, una contrazione dell'uso del mezzo privato e un maggior uso delle modalità di sposta-

mento non motorizzate. Tutto farebbe pensare pertanto a un minore impatto ambientale e congestione delle città capoluogo. Alcune città sono però in controtendenza (circa un terzo). Tra le grandi città si segnalano Catania (su tutti e tre gli indicatori), Palermo (su due indicatori), Roma e Bari (su un indicatore). I viaggi brevi in termini di tempo sono in diminuzione in tutte le città.

Dal punto di vista della sostenibilità della mobilità, sembrano esserci complessivamente più segnali positivi che negativi. A livello di città invece la situazione è più variegata. Una conclusione assoluta e precisa non può scientificamente essere tratta per due noti motivi:

- 1) non abbiamo una definizione rigorosa di mobilità sostenibile che ci indichi non solo quali sono gli aspetti da considerare ma anche come essi debbano essere valutati in termini relativi (ovvero il peso di ciascuno di essi sulla sostenibilità);
- 2) gli indicatori che abbiamo utilizzato sono quelli disponibili e non è detto che siano i migliori. In particolare, manca un indicatore relativo al tempo di viaggio e alla congestione, per cui non sappiamo se la mobilità è migliorata dal punto di vista del tempo necessario per raggiungere i luoghi di nostro interesse e se l'accessibilità complessiva delle città è soddisfacente. Inoltre mancano indicatori sugli aspetti sociali, ovvero se la mobilità sia assicurata a larghi strati della popolazione compresi i meno abbienti e le persone con difficoltà motoria.

Tavola 1 – Principali risultati ottenuti per ciascun indicatore

Indicatore	Variazione media	Comuni capoluogo, tra cui grandi città
1. Offerta di trasporto pubblico locale	2001-11: +2%	55 in aumento, tra cui: Torino (36%), Bari (16%), Milano (9%), Firenze (7%), Roma (2%), Bologna (0%); 49 in diminuzione, tra cui: Napoli (-5%), Genova (-10%), Palermo (-24%), Catania (-38%);
2. La domanda di trasporto pubblico locale	2001-11: +8%	52 in aumento, tra cui: Roma (16%), Firenze (14%), Milano (11%), Torino (11%), Bari (7%), Bologna (1%), Genova (0%); 52 in diminuzione, tra cui: Napoli (-13%), Catania (-51%), Palermo (-56%);
3. Tasso di motorizzazione	2001-11: -2%	62 in aumento, tra cui: Catania (12%), Palermo (4%), Bari (2%); 51 in diminuzione, tra cui: Napoli (-6%), Roma (-6%), Bologna (-9%), Torino (-10%), Milano (-13%), Firenze (-4%), Genova (-4%);
4. La tecnologia delle automobili (Euro 4 o 5)	2005-11: +422%	Tutte le città segnalano un aumento
5. Consistenza dei motocicli	2001-11: +60%	Tutte le città segnalano un aumento
6. Gli incidenti stradali	2004-11: -18%	12 in aumento, tra cui: Palermo (9%), Genova (13%); 91 in diminuzione, tra cui: Firenze (-32%), Milano (-30%), Roma (-23%), Torino (-22%), Bologna (-21%), Napoli (-18%), Bari (-14%), Catania (-10%);
7. Le emissioni inquinanti locali	2001-11: -23%	26 in aumento, tra cui: Napoli (5%), Palermo (40%); 50 in diminuzione, tra cui: Bari (-91%), Firenze (-78%), Genova (-59%), Roma (-52%), Catania (-33%), Bologna (-28%), Torino (-26%), Milano (-15%);
Le politiche		
8. La densità delle zone a traffico limitato	2001-11: +	45 in aumento
9. La disponibilità di aree pedonali	2001-11: +38%	66 in aumento, tra cui tutte le grandi città; 14 in diminuzione, solo in città medio-piccole;
10. La sosta a pagamento	2001-11: +59%	81 in aumento, tra cui tutte le grandi città; 21 in diminuzione, solo in città medio-piccole;
11. La densità di piste ciclabili	2008-11: +26%	56 in aumento, tra cui tutte le grandi città; 4 in diminuzione, tra cui Firenze (-23%);

La distribuzione modale		
12. Il trasporto pubblico	2001-11: +9%	77 in aumento, tra cui: Bologna (28%), Bari (17%), Milano (16%), Torino (15%), Roma (12%), Firenze (11%), Genova (5%), Napoli (4%); 39 in diminuzione, tra cui Palermo (-5%) e Catania (-23%);
13. Il trasporto privato motorizzato	2001-11: -7%	33 in aumento, tra cui: Catania (2%); 83 in diminuzione, tra cui: Milano (-20%), Bologna (-17%), Firenze (-14%), Torino (-14%), Roma (-7%), Genova (-5%), Napoli (-5%), Bari (-3%), Palermo (0%);
14. Il trasporto privato non motorizzato	2001-11: + 4%	65 in aumento, tra cui: Firenze (27%), Bologna (19%), Milano (12%), Torino (11%), Genova (5%), %, Napoli (0%); 51 in diminuzione, tra cui: Roma (-1%), Palermo (-4%), Catania (-7%), Bari (-7%);
15. I viaggi brevi (entro 15 minuti)	2001-11: -6%	2 in aumento, solo in città piccole; 114 in diminuzione, tra cui tutte le grandi città;

A livello complessivo, quindi, nel decennio 2001-11 ci sono stati cambiamenti che vanno nella direzione di una maggiore sostenibilità su 13 indicatori su 15. Considerando le singole città, il numero di indicatori che hanno migliorato il loro valore è indicato tra parentesi nel Riquadro 32.

Riquadro 32 – Città e numero di indicatori in miglioramento

Torino (13), Vercelli (13), Verbania (13), Milano (13), Bergamo (12), Verona (12), Venezia (12), Parma (12), Bologna (12), Pesaro (12), Lecce (12), Cuneo (11), Aosta (11), Mantova (11), Bolzano (11), Padova (11), Pordenone (11), Firenze (11), Roma (11), Pescara (11), Asti (10), Alessandria (10), Savona (10), La Spezia (10), Brescia (10), Lodi (10), Cremona (10), Trento (10), Vicenza (10), Gorizia (10), Piacenza (10), Forlì (10), Rimini (10), Prato (10), Pisa (10), Grosseto (10), Barletta (10), Bari (10), Cagliari (10), Novara (9), Genova (9), Varese (9), Como (9), Pavia (9), Trieste (9), Reggio Emilia (9), Modena (9), Ferrara (9), Ravenna (9), Pistoia (9), Ancona (9), Caserta (9), Salerno (9), Andria (9), Oristano (9), Olbia (9), Biella (8), Imperia (8), Monza (8), Treviso (8), Livorno (8), Siena (8), Fermo (8), Viterbo (8), Rieti (8), Latina (8), Frosinone (8), Chieti (8), Isernia (8), Crotone (8), Vibo Valentia (8), Sassari (8), Lecco (7), Sondrio (7), Belluno (7), Udine (7), Lucca (7), Terni (7), Macerata (7), Ascoli Piceno (7), Teramo (7), Napoli (7), Avellino (7), Matera (7), Catanzaro (7), Reggio Calabria (7), Ragusa (7), Siracusa (7), Massa (6), Arezzo (6), Perugia (6), Campobasso (6), Benevento (6), Taranto (6), Cosenza (6), Trapani (6), Palermo (6), Messina (6), Catania (6), Lanusei (6), Carbonia (6), Rovigo (5), Trani (5), Agrigento (5), Nuoro (5), Tempio Pausania (5), Tortolì (5), L'Aquila (4), Brindisi (4), Potenza (4), Caltanissetta (4), Enna (4), Sanluri (4), Villacidro (4), Foggia (3), Iglesias (3).

Nessuna città migliora in tutti gli indicatori. Il massimo è 13, in quanto la densità di motocicli aumenta in tutte le città, così come diminuisce la quota di viaggi brevi. Le 10 più grandi città italiane sono presenti nella parte alta della classifica, in particolare le grandi città del nord-Italia: Torino (13), Milano (13), Bologna (12), Firenze (11), Roma (11), Bari (10), Genova (9), Napoli (7), Catania (6), Palermo (6).

5. VERSO UN INDICATORE SINTETICO

In modo semplificato otteniamo due indicatori sintetici sulla base degli indicatori selezionati. Prima di tutto dobbiamo assegnare un valore nel caso di valori mancanti. Lo facciamo seguendo due strategie: a) assegnando il valore della città geograficamente e dimensionalmente più vicina; oppure b) nel caso sia presente il valore del 2011 ma non quello del 2001 (o vicini), assegniamo alla città la stessa variazione della media nazionale. Dopo di che, normalizziamo gli indicatori utilizzando una delle due formule sotto indicate, a seconda che l'indicatore sia positivo in termini di contributo alla mobilità sostenibile (maggiore il suo valore e maggiore è la sostenibilità) o negativo (maggiore è il suo valore, minore è la sostenibilità).

$$I_N^+ = \frac{I^+ - I_{\min}^+}{I_{\max}^+ - I_{\min}^+}, \quad I_N^- = \frac{I_{\max}^- - I^-}{I_{\max}^- - I_{\min}^-}$$

dove con I_N si indica il valore normalizzato, con I_{\max} e I_{\min} il valore massimo e minimo dell'indicatore e i segni + e - indicano rispettivamente se l'indicatore è positivo o negativo.

Nel nostro caso abbiamo definito gli indicatori nella Tavola 2.

Tavola 2 – Valutazione degli indicatori

Positivo	Negativo
<ul style="list-style-type: none"> • Posti-km offerti dai mezzi di trasporto pubblico per abitante • Domanda di trasporto pubblico • Tasso di motorizzazione per le autovetture euro IV e euro V • Densità delle zone a traffico limitato (ZTL) (km2 per 100 km2 di superficie comunale) • Disponibilità di aree pedonali (m2 per 100 abitanti) • Stalli di sosta a pagamento per 1.000 autovetture circolanti • Densità di piste ciclabili km per 100 km2 di superficie comunale • % di viaggi di durata inferiore ai 15 minuti • Quota modale di utenti del trasporto pubblico • Quota modale di utenti che si spostano in bicicletta o a piedi 	<ul style="list-style-type: none"> • Densità veicolare per km2 di superficie comunale • Qualità dell'aria urbana: numero di giorni di superamento del limite per la protezione della salute umana previsto per il PM10 • Tasso di incidenti stradali • Consistenza dei motocicli • Quota modale di utenti che utilizzano l'auto come conducente o la motocicletta, ciclomotore, scooter

Procediamo quindi all'aggregazione con il metodo semplificato che prevede l'assegnazione di un peso uguale a ciascun indicatore. Si definisce "semplificato" perché non contiene giudizi di valore specifici, o meglio, valuta tutti allo stesso modo (il che è però già un giudizio di valore). E senza operare nessuna analisi statistica sulla loro potenziale correlazione. Il metodo ha quindi una valenza puramente iniziale, e necessità di ulteriori approfondimenti. In realtà, come ben spiega il manuale pubblicato dall'OECD (Nardo et. al. 2008), le fasi per elaborare un indicatore sintetico sarebbero almeno le seguenti: lo sviluppo di un quadro teorico, selezione variabili, imputazione dei dati mancanti, l'analisi multivariata, la normalizzazione dei dati, ponderazione e aggregazione, robustezza e sensibilità, presentazione e diffusione.

Otteniamo i risultati presentati nella Tavola 3 riportata nell'Appendice Statistica.

La posizione nella classifica nel 2001 (alcuni indicatori si riferiscono al 2004 o al 2008) e nel 2011 è riportata nelle prime due colonne. Siccome l'indicatore sintetico è semplificato, e quindi risente di numerose imperfezioni, questi risultati non saranno da noi commentati. Lasciamo al lettore curioso di esaminare le classifiche dei risultati. Commentiamo invece i dati sulle variazioni, che hanno il pregio di mostrarci se una città è migliorata o peggiorata in costanza di indicatore sintetico (imperfetto).

Distinguiamo tra città che hanno migliorato la loro posizione relativa (in parentesi, di quante posizioni) (Riquadro 33), il cui numero è pari a 46, e città che invece l'hanno mantenuta costante o peggiorata (Riquadro 33). Tra le grandi città migliorano: Firenze (47), Bari (22), Bologna (9), Roma (9), Torino (2), Milano (1), mentre peggiorano Genova (-1), Napoli (-10), Palermo (-18), Catania (-41).

Riquadro 33 – Città che hanno modificato la loro posizione relativa

Vercelli (58), Verbania (47), Aosta (47), Firenze (47), Lecce (28), Pordenone (24), Cuneo (23), Prato (23), Grosseto (23), Belluno (22), Bari (22), Oristano (22), Reggio Emilia (21), Avellino (20), Gorizia (19), Nuoro (19), Ancona (17), Forlì (16), Pistoia (15), Siena (15), Pesaro (15), Parma (14), Vicenza (13), Trapani (12), Mantova (10), Lodi (9), Modena (9), Bologna (9), Roma (9), Verona (8), Isernia (8), **Italia (8)**, Asti (7), Cosenza (7), Trento (6), Pisa (5), Latina (5), Matera (5), Padova (4), Torino (2), Piacenza (2), Perugia (2), Pescara (2), Novara (1), Sondrio (1), Milano (1).

Riquadro 33 – Città che hanno mantenuta costante o peggiorata la loro posizione relativa

La Spezia (0), Treviso (0), Venezia (0), Ravenna (0), Viterbo (0), Siracusa (0), Genova (-1), Bolzano (-1), Fermo (-1), Ascoli Piceno (-1), Olbia (-1), Bergamo (-2), Lucca (-2), Frosinone (-2), Barletta (-2), Ragusa (-2), Biella (-3), Imperia (-4), Trieste (-4), Arezzo (-4), Terni (-4), Caserta (-4), Andria (-4), Reggio Calabria (-4), Alessandria (-5), Monza (-5), Pavia (-5), Rimini (-5), Como (-6), Lecco (-6), Ferrara (-6), Massa (-6), Teramo (-6), Foggia (-6), Sanluri (-6), Brescia (-7), Rovigo (-7), Cagliari (-7), Tempio Pausania (-7), Udine (-8), Livorno (-8), Rieti (-8), Salerno (-8), Savona (-9), Catanzaro (-9), Napoli (-10), Tortolì (-10), Cremona (-11), Macerata (-11), Campobasso (-11), Trani (-12), Messina (-12), Sassari (-14), Agrigento (-15), Caltanissetta (-16), Chieti (-17), Palermo (-18), Brindisi (-19), Vibo Valentia (-19), Potenza (-20), Crotone (-21), Carbonia (-21), Lanusei (-22), Varese (-23), L'Aquila (-23), Enna (-24), Iglesias (-25), Villacidro (-29), Benevento (-30), Taranto (-34), Catania (-41).

Abbiamo infine considerato la variazione di una fittizia città Italia, a cui abbiamo attribuito gli indicatori medi complessivi di tutte le città capoluogo. Questa città fittizia migliorerebbe la sua posizione relativa di 8 posti.

6. RISULTATI

In questo articolo ci siamo chiesti se il trasporto sia diventato più sostenibile o meno nei comuni capoluogo di provincia, nel loro complesso e a livello di singola città confrontando i dati 2001 e 2011. Come abbiamo sintetizzato, in termini complessivi, molti indicatori a cui attribuiamo un relazione positiva con la sostenibilità sono migliorati. Essi sono:

- Posti-km offerti dai mezzi di trasporto pubblico per abitante
- Domanda di trasporto pubblico
- Tasso di motorizzazione per le autovetture euro IV e euro V
- Densità delle zone a traffico limitato
- Disponibilità di aree pedonali
- Stalli di sosta a pagamento
- Densità di piste ciclabili
- Quota modale di utenti del trasporto pubblico
- Quota modale di utenti che si spostano in bicicletta o a piedi

L'unico che è diminuito è "la % di viaggi di durata inferiore ai 15 minuti".

Per quanto riguarda gli indicatori a cui attribuiamo un relazione negativa con la sostenibilità:

- Densità veicolare
- Qualità dell'aria urbana: numero di giorni di superamento del limite per la protezione della salute umana previsto per il PM10
- Tasso di incidenti stradali
- Consistenza dei motocicli
- Quota modale di utenti che utilizzano l'auto come conducente o la motocicletta, ciclomotore, scooter

Essi sono tutti diminuiti a eccezione dell'indicatore "consistenza dei motocicli" che è aumentato.

Queste evidenze, confermate anche dall'incremento di 8 posti della posizione relativa del comune fittizio "Italia", ci portano a concludere che la mobilità urbana è diventata mediamente più sostenibile in Italia nel decennio 2001-2011. Gli unici punti negativi sono l'allungarsi in termini di tempo dei viaggi e il maggior uso dei motocicli che fanno pensare a un possibile peggioramento della congestione. Purtroppo non si hanno su questo aspetto evidenze statistiche dirette per tutti i comuni capoluogo.

A livello di città, la situazione è molto più variegata: alcune città mostrano miglioramenti significativi della mobilità sostenibile, altre invece sembrano fare dei passi indietro. Una quantificazione del grado di miglioramento si ha contando il numero di indicatori che vanno nella direzione di una maggiore sostenibilità nel decennio 2001-2011. Su un totale di 15, nessuna città migliora in tutti gli indicatori considerati. Il massimo numero di indicatori su cui si migliora è 13, in quanto la densità di motocicli aumenta in tutte le città, così come diminuisce la quota di viaggi brevi. Le 10 più grandi città italiane sono presenti nella parte alta della classifica, in particolare le grandi città del nord-Italia, con questi valori: Torino (13), Milano (13), Bologna (12), Firenze (11), Roma (11), Bari (10), Genova (9), Napoli (7), Catania (6), Palermo (6).

Per confrontare in termini relativi la *performance* delle città capoluogo nel decennio considerato, abbiamo elaborato un iniziale indicatore sintetico di mobilità sostenibile che ci ha permesso di valutare come è cambiata la loro posizione nel 2011 rispetto al 2001. Concentrandoci solo sulle 10 più grandi città italiane, hanno migliorato la loro posizione relativa: Firenze (+47 posizioni), Bari (+22), Bologna (+9), Roma (+9), Torino (+2) e Milano (+1); mentre l'hanno peggiorata Genova (-1), Napoli (-10), Palermo (-18) e Catania (-41). Sottolineiamo che il miglioramento\peggioramento è relativo e non assoluto. L'evidenza in termini assoluti è riportata nell'articolo nelle sezioni dedicate a ciascun indicatore.

Il lavoro che ancora resta da fare è, a nostro parere almeno questo: a) analizzare più in dettaglio il significato delle variazioni negli indicatori per ogni città; b) testare la robustezza dell'indicatore sintetico a diverse possibili specificazioni, oltre che correggerlo per le imperfezioni statistiche che abbiamo evidenziato; c) cercare di spiegare la variabilità negli indicatori e nell'indicatore sintetico tra le diverse città.

Riferimenti bibliografici

- BRINI, S. (2015) “Un sistema integrato di indicatori per la mobilità sostenibile nelle aree urbane italiane”, Relazione al Convegno *Le Grandi Sfide Urbane: Cambiamenti Climatici e Qualità Ambientale*, Roma 31 marzo 2015.
- DANIELIS, R., MONTE, A., LUNGI, M. (2015) “Indicatori di mobilità sostenibile nei capoluoghi di provincia italiani”, *Working Paper*, Società Italiana di Economia dei Trasporti e della Logistica, <http://www.sietitalia.org/pubblicazioni.htm>.
- DANIELIS, R., MONTE, A., (2015) “La sostenibilità della mobilità urbana nei comuni capoluogo di provincia italiani: è migliorata nel tempo?”, *Working Paper*, Società Italiana di Economia dei Trasporti e della Logistica, <http://www.sietitalia.org/pubblicazioni.htm>
- GILBERT, R., IRWIN, N., HOLLINGWORTH, B. (2003) *Sustainable Transportation Performance Indicators (STPI)*, Transportation Research Board (TRB), CD ROM.
- ECMT (2004), Assessment and Decision Making for Sustainable Transport, European Conference of Ministers of Transportation
- ISTAT (2001) *14° Censimento della popolazione e delle abitazioni 2001*.
- ISTAT (2003) *Statistica degli incidenti stradali, Anno 2001*, Sito: http://www3.istat.it/dati/catalogo/20030521_01/
- ISTAT (2012a) *Indicatori ambientali urbani, Periodo di riferimento: Anno 2011*, Pubblicato, lunedì 30 luglio 2012. Sito: <http://www.istat.it/it/archivio/67990>
- ISTAT (2012b) *Incidenti stradali in Italia, Periodo di riferimento: Anno 2013*, Pubblicato, martedì 4 novembre 2014. Sito: <http://www.istat.it/>
- ISTAT (2012c) *Trasporti urbani, Periodo di riferimento: Anno 2010*, Pubblicato, martedì 3 luglio 2012. Sito: <http://www.istat.it/it/archivio/65969>
- ISTAT (2013a) *Rapporto UrBes: il benessere equo e sostenibile nelle città, Periodo di riferimento: Anno 2013*, Pubblicato, sabato 15 giugno 2013”. Sito: <http://www.istat.it/>
- ISTAT (2014a) *Dati ambientali nelle città - Mobilità urbana, Periodo di riferimento: Anno 2012*, Pubblicato, venerdì 30 maggio 2014. Sito: <http://www.istat.it/it/archivio/123878>
- ISTAT (2014b) *Qualità dell'ambiente urbano, Periodo di riferimento: Anno 2013*, Pubblicato, martedì 22 luglio 2014. Sito: <http://www.istat.it/>
- ISTAT (2015a), *15° Censimento della popolazione e delle abitazioni 2011*.

- ISTAT (2015b) *UrBes 2015: il benessere equo e sostenibile nelle città, Periodo di riferimento: Anno 2013*, Pubblicato, giovedì 23 aprile 2015. Sito: <http://www.istat.it/it/archivio/153995>
- LITMAN, T. (2008) *Sustainable transportation indicators*, Sustainable Transportation Indicators Subcommittee of the Transportation Research Board. Sito: www.vtpi.org
- LITMAN, T. (2009) *Sustainable transportation indicator data quality and availability*, Victoria Transport Policy Institute. Sito: www.vtpi.org
- LITMAN, T. (2015) *Evaluating Accessibility for Transportation Planning. Measuring People's Ability to Reach Desired Goods and Activities*, Victoria Transport Policy Institute. Sito: www.vtpi.org
- MAMELI, F., MARLETTO, G. (2014) "Can National Survey Data be Used to Select a Core Set of Sustainability Indicators for Monitoring Urban Mobility Policies?", *International Journal of Sustainable Transportation* 8, pp. 336–359.
- NARDO, M., SAISANA, M., SALTELLI, A., TARANTOLA, S., HOFFMANN, A., GIOVANNINI, E. (2008) "Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide", *OECD Statistics Working Paper*, Paris.
- PIERALICE, E., TREPIEDI, L. (2015) "Città europee e mobilità urbana: impatto delle scelte modali", *Rivista di Economia e Politica dei Trasporti* 2.
- WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT (1987) "Our Common Future", *Annex to General Assembly document A/42/427*, Development and International Co-operation: Environment August 2, 1987.
- ZITO, P., SALVO, G. (2011) "Toward an urban transport sustainability index: a European comparison", *European Transport Research Review* 3, pp. 1-17.

Appendice statistica

Tavola 3 – Indicatori sintetici di sostenibilità

Città	Class 2001	Class 2011	Diff.
Torino	7	5	2
Vercelli	78	20	58
Novara	55	54	1
Biella	36	39	-3
Cuneo	34	11	23
Verbania	70	23	47
Asti	94	87	7
Alessandria	71	76	-5
Aosta	74	27	47
Imperia	111	115	-4
Savona	65	74	-9
Genova	28	29	-1
La Spezia	6	6	0
Varese	61	84	-23
Como	53	59	-6
Lecco	52	58	-6
Sondrio	5	4	1
Milano	3	2	1
Monza	93	98	-5
Bergamo	8	10	-2
Brescia	9	16	-7
Pavia	12	17	-5
Lodi	27	18	9
Cremona	40	51	-11
Mantova	29	19	10
Bolzano	2	3	-1
Trento	15	9	6
Verona	102	94	8
Vicenza	56	43	13
Belluno	63	41	22
Treviso	32	32	0
Venezia	1	1	0
Padova	37	33	4
Rovigo	75	82	-7
Pordenone	64	40	24

Città	Class 2001	Class 2011	Diff.
Udine	20	28	-8
Gorizia	80	61	19
Trieste	22	26	-4
Piacenza	54	52	2
Parma	50	36	14
Reggio Emilia	91	70	21
Modena	84	75	9
Bologna	17	8	9
Ferrara	77	83	-6
Ravenna	108	108	0
Forlì	107	91	16
Rimini	106	111	-5
Massa	98	104	-6
Lucca	103	105	-2
Pistoia	100	85	15
Firenze	60	13	47
Prato	86	63	23
Livorno	95	103	-8
Pisa	58	53	5
Arezzo	88	92	-4
Siena	82	67	15
Grosseto	113	90	23
Perugia	97	95	2
Terni	92	96	-4
Pesaro	115	100	15
Ancona	85	68	17
Macerata	68	79	-11
Fermo	112	113	-1
Ascoli Piceno	101	102	-1
Viterbo	109	109	0
Rieti	81	89	-8
Roma	46	37	9
Latina	104	99	5
Frosinone	105	107	-2
L'Aquila	83	106	-23

Città	Class 2001	Class 2011	Diff.
Teramo	87	93	-6
Pescara	73	71	2
Chieti	47	64	-17
Isernia	42	34	8
Campobasso	19	30	-11
Caserta	45	49	-4
Benevento	43	73	-30
Napoli	4	14	-10
Avellino	41	21	20
Salerno	30	38	-8
Foggia	16	22	-6
Andria	11	15	-4
Barletta	10	12	-2
Trani	23	35	-12
Bari	79	57	22
Taranto	13	47	-34
Brindisi	26	45	-19
Lecce	114	86	28
Potenza	49	69	-20
Matera	67	62	5
Cosenza	14	7	7
Crotone	25	46	-21
Catanzaro	57	66	-9
Vibo Valentia	62	81	-19

Città	Class 2001	Class 2011	Diff.
Reggio Calabria	76	80	-4
Trapani	90	78	12
Palermo	59	77	-18
Messina	89	101	-12
Agrigento	99	114	-15
Caltanissetta	72	88	-16
Enna	48	72	-24
Catania	69	110	-41
Ragusa	110	112	-2
Siracusa	116	116	0
Sassari	51	65	-14
Nuoro	44	25	19
Oristano	66	44	22
Cagliari	35	42	-7
Olbia	96	97	-1
Tempio Pausania	24	31	-7
Lanusei	33	55	-22
Tortolì	38	48	-10
Sanluri	18	24	-6
Villacidro	21	50	-29
Carbonia	39	60	-21
Iglesias	31	56	-25
Italia	31	23	8

Individuazione delle tipologie di pendolari nel Friuli Venezia Giulia

ADRIANA MONTE, GABRIELLA SCHOIER

DEAMS, Università di Trieste

1. INTRODUZIONE

Nella società moderna la mobilità degli individui ha assunto notevole importanza. In particolare in questo lavoro si discute del ruolo che il pendolarismo, per motivi di studio e di lavoro, ha nei sistemi socio-economici (Goodman, 2013). L'analisi e la modellizzazione di *networks* di pendolari è diventata cruciale per lo studio delle dinamiche delle diverse aree geografiche; inoltre ciò risulta fondamentale per decisioni in ambito politico-sociale; in quest'ottica l'analisi del pendolarismo e i suoi effetti sul mercato del lavoro, sulla pianificazione territoriale e delle infrastrutture può essere vista come parte della modellizzazione spaziale in un contesto di Data Mining Spaziale (Han et al., 2001).

Per quanto riguarda l'Italia alcune domande sulla mobilità per motivi di studio e lavoro sono state introdotte nel 1971 nell'ambito del Censimento della popolazione. Con il Censimento del 1981 è iniziata la costruzione delle matrici degli spostamenti per la mobilità tra comuni in relazione ai flussi casa lavoro/studio. Nel 2011 considerevoli innovazioni sono state introdotte; tra queste l'utilizzo di indagini campionarie per ottenere stime per alcune variabili di carattere socio-economico che nei precedenti Censimenti venivano rilevate su tutta la popolazione. Due tipi di questionario sono stati utilizzati: il questionario in forma long (L) che è stato distribuito a tutte le famiglie nei comuni con meno di 20000 abitanti e ad un campione di famiglie nei comuni capoluogo di provincia o con almeno 20000 abitanti e il questionario in forma short (S) distribuito alle restanti famiglie.

In questo lavoro viene utilizzata la matrice del pendolarismo derivata dal Censimento 2011 per individuare le tipologie di pendolari della regione Friuli Venezia Giulia. Ciascun *record* della matrice rappresenta uno strato di pendolari descritto dalle variabili presenti nella matrice stessa.

La metodologia di analisi utilizzata nel lavoro è la *cluster analysis*, in particolare la *two step cluster analysis* che permette considerare database di diverse dimensioni sulle unità del quale si possono rilevare sia variabili qualitative che quantitative per individuare cluster di pendolari con caratteristiche in comune.

2. LA MOBILITÀ NEI COMUNI DEL FRIULI VENEZIA GIULIA PER STUDIO E LAVORO

Prima di procedere alla descrizione della metodologia e all'illustrazione dei risultati dell'analisi, si descrive un quadro sintetico del pendolarismo in Friuli Venezia Giulia, come risulta dai dati censuari. In questa regione più del 64% della popolazione residente vive in comuni di medio piccole dimensioni (con meno di 20000 abitanti), mentre il resto dei residenti è distribuito tra le città capoluogo (Gorizia, Pordenone, Trieste e Udine) e altri due centri urbani (Monfalcone e Sacile) che superano i 20000 abitanti¹. Poco più del 50% della popolazione dichiara di essere pendolare per motivi di studio o lavoro (si veda Tavola 1) e l'incidenza di questo pendolarismo è più elevata nelle province di Pordenone e Udine, che presentavano al 2011 un più elevato tasso di occupazione e un indice di vecchiaia minore (Stassi et al., 2013).

Tavola 1 – Popolazione residente e pendolari in Friuli Venezia Giulia al Censimento 2011

	Popolazione residente (R)	Pendolari residenti (P)				P/R %
		Totale	in comunità	in famiglia		
				per studio	per lavoro	
Gorizia	140143	68356	37	20008	48311	48,7
Pordenone	310811	163221	93	47426	115702	52,5
Trieste	232601	114967	147	33319	81501	49,4
Udine	535430	270895	169	77831	192895	50,5
Total FVG	1218985	617439	446	178584	438409	50,6

Fonte: Istat – Censimento 2011

Sulla base dei dati del Censimento 2011, la modalità di spostamento più utilizzata per recarsi al luogo di studio o lavoro è l'automobile, analogamente a quanto risultava dai precedenti Censimenti (si veda la Tavola 2). Caratteristiche diverse rispetto al resto della regione presenta la mobilità nel comune di Trieste, che è la città di maggiori dimensioni della regione stessa (circa 200000 abitanti); anche se l'automobile continua ad essere la modalità di spostamento più utilizzata in questa città e nella sua provincia, la distribuzione dei pendolari secondo le diverse modalità di trasporto è diversa rispetto a quelle delle altre province. Questo è dovuto non solo alla dimensione della città, ma anche alla sua conformazione geografica.

Di solito la modalità utilizzata in regione dai pendolari per spostarsi dipende dal motivo del pendolarismo; coloro che si spostano giornalmente per motivi di lavoro usano prevalentemente l'automobile come conducente (70,3%), mentre chi si sposta per motivi di studio usa altre modalità, il 33,2% usa l'autobus, il 37% si sposta in automobile (come passeggero) e il 16,5% va a piedi.

Per quanto riguarda il tempo impiegato la maggior parte dei pendolari impiega non più di 15 minuti per arrivare al luogo di studio o di lavoro come si vede dalla Tavola 3; inoltre l'87,3% dei pendolari per motivi di lavoro e l'83,2% dei pendolari per motivi di studio impiegano al massimo 30 minuti.

¹ La dimensione demografica dei comuni fa riferimento alle risultanze anagrafiche del 31 dicembre 2010, utilizzate per costruire le liste censuarie e definire la dimensione dei comuni. In seguito alle rilevazioni censuarie il comune di Sacile risultava avere una popolazione minore di 20000 abitanti.

Tavola 2 – Distribuzione percentuale dei pendolari secondo modalità di spostamento in Friuli Venezia Giulia ai Censimenti 1991, 2001, 2011

	1991	2001	2011
Treno, tram	2,96	1,9	1,9
Autobus	18,5	13,8	13,7
Auto (come conducente)	43,9	51,1	50,8
Auto (come passeggero)	9,1	12,1	13,3
Bicicletta	4,8	5,2	3,5
Altro	20,7	15,9	16,7

Fonte: Istat – Censimenti 1991, 2001 e 2011

Tavola 3: Distribuzione percentuale dei pendolari secondo tempo impiegato per arrivare al luogo di lavoro o di studio in Friuli Venezia Giulia al Censimento 2011

	Lavoro %	Studio %
Fino a 15minuti	55,6	62,6
16 – 30	31,7	21,6
31 – 45	7,0	7,1
46 – 60	3,3	5,0
Oltre 60 minuti	2,4	3,7
Totale	100,0	100,0

Fonte: Istat – Censimento 2011

3. LA METODOLOGIA: GENERALITÀ SULLA *CLUSTER ANALYSIS*

Esistono diversi metodi statistici per la classificazione delle unità in gruppi omogenei; essi possono essere suddivisi in due grandi categorie: *supervised classification* e *unsupervised classification*. Nel primo caso si hanno a priori n unità osservate che appartengono a due o più popolazioni differenti e di ognuna si conoscono i valori delle p variabili considerate. Lo scopo di questo tipo di analisi è l'assegnazione di ulteriori unità alla popolazione di appartenenza, minimizzando la probabilità di errore di attribuzione. Al contrario i metodi del tipo *unsupervised classification* sono tipicamente esplorativi e consistono nella ricerca, nelle n osservazioni p -dimensionali, di gruppi di unità tra loro simili, non sapendo a priori se tali gruppi omogenei esistono effettivamente nel dataset (Zani et al., 2007). La classificazione non supervisionata, o *cluster analysis*, ha quindi l'obiettivo di riconoscere dei gruppi che si caratterizzano per un'elevata omogeneità all'interno e per un'elevata eterogeneità tra di essi.

Gli ambiti di applicazione della *cluster analysis* sono molto vari, essa è utilizzabile per: ridurre i dati in forma grafica (per evidenziare le più importanti informazioni rilevate oppure per presentare i risultati di analisi multivariate), generare ipotesi di ricerca (prima di provare un qualsiasi modello di analisi sui dati rilevati è utile individuare le connessioni reali tra le entità e intuire in base a queste i modelli presenti nei dati), individuare gruppi di unità con caratteristiche distintive che, nell'insieme, fanno

percepire la fisionomia del sistema sociale osservato, costruire sistemi di classificazione automatica, stratificare popolazioni da sottoporre a campionamento.

Gli algoritmi di *clustering* suddividono i dati in un certo numero di cluster (o gruppi, sottoinsiemi, categorie). Non esiste una definizione univoca per queste procedure, anche se molti studiosi convergono nel riconoscere un cluster nel caso di omogeneità all'interno di ogni gruppo e di eterogeneità tra i diversi gruppi.

Si supponga di considerare un dataset di $N = \{1, 2, \dots, n\}$ unità e di disporre per ognuna le rilevazioni su p variabili; queste informazioni vengono inserite nella matrice dei dati \mathbf{X} di dimensioni $(n \times p)$, il *partitional clustering* consiste nel ricercare una partizione di \mathbf{X} in K gruppi ($K \leq N$), $C = \{C_1, \dots, C_k\}$ tali che:

$$C_i \neq \emptyset \quad \text{per} \quad i = 1, \dots, K;$$

$$\bigcup_{i=1}^K C_i = \mathbf{X};$$

$$C_i \cap C_j = \emptyset \quad \text{con} \quad i, j = 1, \dots, K, \quad i \neq j.$$

Come si nota dai vincoli imposti, ogni osservazione appartiene ad un unico cluster tuttavia è possibile allentare questa restrizione e supporre che un'osservazione appartenga a tutti i cluster con un certo grado di appartenenza, $u_{i,j} \in [0,1]$, che rappresenta il coefficiente di appartenenza della j -esima osservazione all' i -esimo cluster in questo caso si parla di *fuzzy clustering* di cui non si tratta nel presente lavoro.

La *cluster analysis* tradizionale consiste in quattro semplici fasi strettamente collegate tra loro; come si vede in Fig.1.1, la procedura può richiedere una serie di tentativi e di ripetizioni dei vari passaggi che vengono di seguito sintetizzati: scelta delle variabili; scelta dell'algoritmo di *clustering*; validazione dei cluster; interpretazione dei risultati.

Esistono diversi algoritmi di *clustering* che possono essere classificati secondo il seguente schema: metodi gerarchici (agglomerativi, divisivi), metodi non gerarchici, metodi basati sull'errore quadratico, metodi basati sui modelli mistura, metodi basati sulla teoria dei grafi, *two step clustering* e altri metodi.

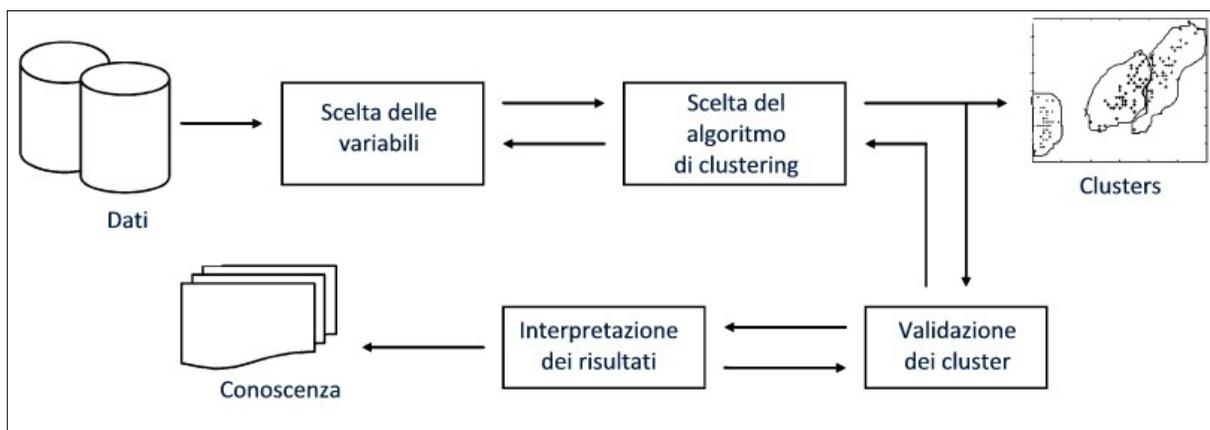


Figura 1 – Le fasi di una procedura di clustering

Fonte: Xu, 2005

Si supponga di partire da un dataset di $N = \{1, 2, \dots, n\}$ unità e di possedere per ognuna le rilevazioni per p variabili. Si consideri la matrice dei dati \mathbf{X} di dimensioni $(n \times p)$:

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & \cdots & x_{np} \end{bmatrix}$$

dove x_{ih} rappresenta l'osservazione della variabile h sulla unità i , con $h = 1, \dots, p$; $i = 1, \dots, n$.

Secondo i tradizionali metodi di *clustering*, per individuare dei gruppi di unità omogenei è fondamentale ricavare per ogni coppia di elementi degli indici di prossimità; grazie a questi è possibile raggruppare le n unità in g sottoinsiemi e “ridurre le dimensioni” dello spazio \mathbb{R}^n .

Un indice di prossimità tra due generiche unità statistiche u_i e u_j è definito come funzione dei vettori riga della matrice dei dati \mathbf{X} :

$$IP_{ij} = f(\mathbf{x}'_i, \mathbf{x}'_j) \quad i, j = 1, 2, \dots, n.$$

Gli indici di prossimità vengono abitualmente distinti tra indici di dissimilarità (ai quali appartengono le distanze), applicati solitamente a fenomeni quantitativi e indici di similarità, utilizzati per fenomeni qualitativi (Zani et al., 2007).

3.1 I METODI GERARCHICI

I metodi gerarchici aggregativi consentono di ottenere una famiglia di partizioni delle n unità statistiche partendo da quella in cui tutte le unità sono distinte, per arrivare a quella in cui tutte sono riunite in un unico gruppo; sono quindi dei metodi che si sviluppano per fasi ordinate, in modo che ad ogni passo vengano uniti i due gruppi (o le due unità nella prima fase) scelti a seconda della misura di distanza (o di similarità) precedentemente definita².

Gran parte dei metodi gerarchici partono dalla matrice di distanze \mathbf{D} calcolata per le n unità statistiche. In questo caso la procedura generale per il raggruppamento delle unità è il seguente.

Fase 1: si individuano nella matrice \mathbf{D} le due unità tra loro più simili (in pratica quelle con minor distanza³) e si aggregano. Questo è il primo gruppo di unità. Si ottiene una partizione con $(n - 1)$ gruppi, di cui $(n - 2)$ costituiti da singole unità e l'altro formato da due unità.

Fase 2: si ricalcolano le distanze del gruppo ottenuto dagli altri gruppi (alcuni saranno costituiti da una sola unità), ottenendo una nuova matrice delle distanze con dimensioni diminuite di uno.

Fase 3: si individua nella nuova matrice delle distanze la coppia di gruppi (o unità) con minore distanza, unendoli in un solo gruppo.

Fase 4: si ripetono la fase 2 e la fase 3 fino a che tutte le unità sono riunite in un unico cluster.

2 Questa tipologia di metodo viene anche definita *bottom up*, poiché parte dalle singole unità statistiche (dal basso) e procede ad unirle in gruppi sempre più grandi.

3 Se si parte da una matrice di indici di similarità non si guarda alla minore distanza ma alla “maggiore similarità”.

La differenza tra i diversi metodi gerarchici consiste solamente nel diverso criterio utilizzato per calcolare la distanza tra due gruppi di unità. Si supponga di avere due cluster C_1 e C_2 formati rispettivamente da n_1 e n_2 unità: sono possibili diverse definizioni di distanza tra i due gruppi, che identificano altrettanti metodi gerarchici. Di seguito si riportano i metodi più noti.

Nel metodo del legame singolo (o del vicino più prossimo) la distanza tra i due gruppi è definita come il minimo delle $n_1 n_2$ distanze tra ciascuna delle unità di un gruppo e ciascuna delle unità dell'altro gruppo: $d(C_1, C_2) = \min (d_{rs})$ con $r \in C_1, s \in C_2$.

In pratica con questa definizione, ad ogni passo si valuta la distanza tra due cluster attraverso la distanza dei punti più vicini.

Al contrario, nel metodo del legame completo (o del vicino più lontano) la distanza tra i due gruppi è definita come il massimo delle $n_1 n_2$ distanze tra ciascuna delle unità di un gruppo e ciascuna delle unità dell'altro gruppo:

$$d(C_1, C_2) = \max (d_{rs}) \quad \text{con } r \in C_1, s \in C_2.$$

Con questo metodo tutte le distanze tra le unità di C_1 e le unità di C_2 sono minori (o uguali) alla distanza definita dal criterio.

Infine il metodo del legame medio tra i gruppi, secondo il quale la distanza tra due cluster viene definita tramite la media aritmetica delle $n_1 n_2$ distanze tra ciascuna delle unità di un gruppo e ciascuna delle unità dell'altro gruppo:

$$d(C_1, C_2) = \frac{1}{n_1 n_2} \sum_r \sum_s d_{rs} \quad \text{con } r \in C_1, s \in C_2.$$

I metodi visti fino a questo punto richiedono solamente la conoscenza della matrice delle distanze. Vi sono altri metodi gerarchici che utilizzano anche la matrice dei dati di partenza.

Il metodo del centroide prevede che la distanza tra due cluster C_1 e C_2 venga calcolata come la distanza tra due centroidi \bar{x}_1 e \bar{x}_2 : $d(C_1, C_2) = d(\bar{x}_1, \bar{x}_2)$.

Il centroide iniziale non è altro che il vettore che contiene i valori medi delle p variabili per le unità incluse nel gruppo. Al passo successivo, il centroide del nuovo cluster potrà essere calcolato come una media aritmetica dei centroidi dei due gruppi iniziali:

$$\text{centroide } (C_1 \cup C_2) = \frac{\bar{x}_1 n_1 + \bar{x}_2 n_2}{n_1 + n_2}.$$

Il metodo del centroide presenta alcune analogie con il metodo del legame medio: in quest'ultimo si considera la media delle distanze tra le unità dell'uno e dell'altro gruppo, mentre nel metodo del centroide si individua prima il "centro" di ogni gruppo e si misura poi la distanza tra essi.

Nel metodo di Ward (o della minima devianza) non è richiesto il calcolo preliminare di una matrice delle distanze, ma si definisce esplicitamente una funzione obiettivo. Poiché, come già ribadito, lo scopo della classificazione è quello di ottenere gruppi con la maggiore coesione interna, si considera la scomposizione della devianza totale (indicata con la lettera T) delle p variabili in devianza nei gruppi (*Within*, indicata con la lettera W) e devianza tra i gruppi (*Between*, indicata con la lettera B):

se si suppongono g gruppi si definisce

$$T = \sum_{s=1}^p \sum_{i=1}^n (x_{is} - \bar{x}_{s,l})^2;$$

la devianza totale delle p variabili, ottenuta come somma delle devianze delle singole variabili rispetto alla corrispondente media generale \bar{x}_s . Questa devianza può essere così scomposta:

$$T = W + B = \sum_{s=1}^p \sum_{i=1}^{n_i} (\bar{x}_{s,i} - \bar{x}_s)^2 + \sum_{s=1}^p \sum_{i=1}^{n_i} n_i (\bar{x}_{s,i} - \bar{x}_s)^2.$$

Il primo termine rappresenta la somma delle devianze di gruppo, il secondo la somma, calcolata su tutte le variabili, delle devianze ponderate delle medie di gruppo rispetto alla corrispondente media generale.

Questa procedura aggrega ad ogni passo i cluster aventi la minima devianza nei gruppi (*Within*), cioè i cluster più omogenei al loro interno.

In generale è possibile rappresentare graficamente le varie partizioni che si ottengono nelle varie fasi di un metodo gerarchico mediante un albero n -dimensionale che viene definito dendrogramma. Questo diagramma ad albero permette di visualizzare i gruppi ottenuti ad ogni stadio dell'operazione di *clustering*.

Negli anni recenti, con la necessità di lavorare con dataset di dimensioni sempre maggiori, si sono sviluppate nuove tecniche che hanno di gran lunga migliorato le performance dei *clustering gerarchici*: gli algoritmi *clustering using representatives (CURE)*, *robust clustering using links (ROCK)*, *balanced iterative reducing and clustering using hierarchies (BIRCH)* (Xu et al., 2005).

Tutti i metodi gerarchici esaminati fino a questo punto sono metodi di tipo aggregativo, che partono dalla partizione banale dove ogni unità costituisce un cluster, per arrivare alla partizione che comprende ogni osservazione; come si è visto nell'introduzione sui vari metodi di *clustering* esistono anche dei metodi gerarchici di tipo divisivo, anche se meno utilizzati rispetto agli agglomerativi. I metodi gerarchici divisivi sono strutturati in maniera opposta a quelli agglomerativi, cioè consentono di ottenere una famiglia di partizioni delle n unità statistiche partendo da quella in cui tutte le unità sono riunite, per arrivare a quella in cui tutte sono divise. Tra questi si trovano gli algoritmi *divisive analysis (DIANA)* e *monothetic analysis (MONA)* (Xu et al., 2005).

3.2 I METODI NON GERARCHICI

I metodi di classificazione non gerarchici consentono di ottenere un'unica partizione degli n elementi in g gruppi ($g < n$): l'obiettivo è trovare una classificazione che soddisfi determinati criteri e che sia formata da un numero di gruppi g fissato a priori dal ricercatore. Solitamente tali metodi prevedono la specificazione esplicita di una funzione obiettivo, che viene spesso espressa in termini di scomposizione della devianza. Allora il processo di classificazione diventa un problema di ottimizzazione, dove si ricerca la partizione con la maggior omogeneità nei gruppi: questo significa che, almeno teoricamente, è possibile formalizzare il meccanismo di allocazione delle unità ai gruppi. Questo non è l'unico vantaggio di questa tipologia di metodi di *clustering*. Nei metodi non gerarchici viene meno il vincolo che tutte le coppie di unità che risultano tra loro unite ad un determinato livello di aggregazione gerarchica non possono più essere separate ai livelli successivi. Questo permette di superare i potenziali inconvenienti dovuti ad un raggruppamento errato nei passi iniziali di una procedura gerarchica.

Anche per questi metodi è possibile individuare una procedura generale che si può sintetizzare nelle seguenti fasi.

Fase 1: si sceglie una classificazione iniziale con un numero di cluster prefissato.

Fase 2: si calcola la variazione nella funzione obiettivo causata dallo spostamento di ciascuna unità dal cluster in cui si trova ad un altro e si sceglie per ciascuna unità il cluster che garantisce la maggiore omogeneità nei gruppi.

Fase 3: si ripete la fase 2 finché non viene verificata una regola di arresto prestabilita.

I metodi non gerarchici hanno quindi una struttura di tipo iterativo, che per un valore g prefissato rende l'algoritmo veloce; inoltre non è necessario costruire la matrice delle distanze. Questi vantaggi rendono questi metodi ideali nel caso di un dataset con un numero elevato di unità statistiche e nei casi nei quali lo studio vuole evidenziare le caratteristiche dei gruppi e non delle singole unità.

Il criterio dell'errore quadratico è la tecnica di *clustering* non gerarchica più intuitiva e più utilizzata. In particolare il metodo delle K -medie è il più semplice algoritmo che sfrutta questo criterio ed è implementato nei principali *packages* statistici.

L'algoritmo è caratterizzato da una procedura iterativa che consiste nei seguenti passi.

Fase 1. Si scelgono g "poli" (detti anche semi, o punti origine) iniziali, dei punti nello spazio p -dimensionale che costituiscono i centroidi dei gruppi della partizione iniziale. Questi poli possono essere individuati tramite metodi differenti, generalmente in maniera tale che siano sufficientemente distanti l'uno dall'altro. Quindi si ripartiscono le unità statistiche allocando ciascuna di esse al cluster il cui polo risulta più vicino, costituendo una partizione iniziale formata da g gruppi.

Fase 2. Si calcola per ogni unità la distanza dai centroidi di tutti i g cluster e ogni unità viene assegnata al cluster del centroide più vicino, qualora non vi fosse già allocata. In caso di riallocazione di un'unità si ricalcola il centroide sia del nuovo che del vecchio gruppo di appartenenza.

Fase 3. Si ripete la fase 2 fino a che l'algoritmo converge, cioè fino a quando non si verifica alcuna riallocazione rispetto all'iterazione precedente.

Le fasi della metodologia illustrata prevedono il calcolo ripetuto della distanza tra ogni unità ed i centroidi dei g cluster⁴, per tale operazione viene solitamente utilizzata la distanza euclidea, in quanto essa garantisce la convergenza della procedura iterativa (Zani et al. (2007)).

Ai fini di una corretta interpretazione dei risultati forniti da questo metodo è particolarmente influente la scelta della partizione iniziale.

Per quanto riguarda la scelta di g , il criterio probabilmente più diffuso consiste nell'esecuzione ripetuta dell'analisi con differenti valori di g e nella selezione della partizione più soddisfacente. Invece, per la scelta dei poli della partizione iniziale, un criterio molto semplice e poco dispendioso suggerisce di prendere le prime g osservazioni dell'insieme dei dati; un'altra regola prevede l'estrazione di un campione casuale delle unità.

Recentemente è stata sviluppata una nuova tecnica denominata *iterative self-organizing data analysis technique (ISODATA)*⁵ che aggiusta in maniera dinamica il numero di cluster attraverso un *merging and splitting* dei cluster stessi, tenendo conto di una soglia prefissata. Dopo la prima fase, il nuovo K viene utilizzato come numero di cluster stimato per l'iterazione successiva. In questa categoria rientrano anche il *genetic K-means algorithm (GKA)* ed il *partitioning around medoids (PAM)*.

4 Tale procedura appartiene alla classe di algoritmi di classificazione che adottano la tecnica denominata "ordinamento rispetto al centroide più vicino" (*nearest centroid sorting*).

5 Per approfondimenti sugli algoritmi citati in questo paragrafo riguardante i metodi non gerarchici, dove non specificato diversamente, si veda Xu et al., 2005.

3.3 LA TWO STEP CLUSTER ANALYSIS

La *two step cluster analysis* inserita nel linguaggio di programmazione SPSS (Chiu et al., 2001) prevede due fasi:

Fase 1: *pre-clustering* delle unità.

In questa fase si utilizza un approccio sequenziale per costruire dei pre-cluster delle unità. Lo scopo è calcolare una nuova matrice di dimensioni minori da utilizzare nelle fasi successive; le unità che compongono tale matrice sono i pre-cluster, che vengono definiti come regioni dense dello spazio.

Il risultato può dipendere dall'ordine in cui sono organizzate le unità nella matrice di dati iniziale, conviene quindi usare un ordinamento casuale delle unità. Può essere utile ottenere più soluzioni con le unità estratte casualmente per verificare la stabilità di una soluzione specifica. Nei casi in cui questa operazione è complessa a causa delle dimensioni eccessive dei file, è possibile lavorare su campioni di unità.

Fase 2: *clustering* delle unità.

Si applica una tecnica gerarchica *model-based*. Analogamente agli algoritmi gerarchici agglomerativi, i pre-cluster sono uniti passo dopo passo fino ad arrivare alla fine del processo ad un unico cluster. A differenza degli algoritmi gerarchici classici si utilizza un modello che presuppone che le variabili quantitative continue si distribuiscano all'interno dei cluster come variabili normali indipendenti, mentre le variabili categoriali come variabili multinomiali indipendenti. Le due misure di prossimità disponibili sono rispettivamente: la distanza euclidea e la log-verosimiglianza in caso di variabili di tipo misto (Ming-Yi, 2010; Bacher et al., 2004).

3.4 ALTRI METODI

Alcuni metodi si basano sui modelli mistura. L'assunzione di fondo di queste tipologie di *clustering* è che i dati siano generati da diverse distribuzioni dello stesso tipo e l'obiettivo è di identificare i parametri di ognuna e il loro numero; solitamente si assume che le componenti individuali della densità mistura siano variabili normalmente distribuite. La definizione di questi metodi si basa sul concetto di modello mistura: per questo si utilizza il termine *model-based clustering*. L'approccio più tradizionale prevede di ottenere, in maniera iterativa, una stima di massima verosimiglianza dei vettori dei parametri delle densità; più recentemente viene utilizzato l'algoritmo *EM (Expectation Maximization)* (McLachlan et al., 2000).

Altri metodi utilizzano la teoria dei grafi. Questa costituisce uno strumento molto potente, in quanto, pur nella relativa semplicità della nozione di grafo, consente di descrivere in maniera strutturata e formalizzata matematicamente problemi e situazioni correnti di una certa complessità. In questo caso i nodi del grafo corrispondono alle unità e gli archi rappresentano la prossimità tra ogni coppia di punti.

Il *clustering identification via connectivity kernels (CLICK)*, l'algoritmo più conosciuto in questo ambito, prevede come prima fase la costruzione del *minimal spanning tree (MST)* dei dati; quindi si eliminano gli archi di maggior lunghezza per generare i cluster. Un algoritmo sviluppatosi recentemente, ma molto utilizzato, è *Chameleon*: questo algoritmo procede all'eliminazione di un arco se entrambi i vertici non sono compresi tra i punti più vicini relativi ad entrambi. Altri algoritmi utilizzati sono *Delaunay triangulation graph (DTG)*, *highly connected subgraphs (HCS)*, *cluster affinity search technique (CAST)*.

Recentemente si sono sviluppati nuovi metodi di *clustering*, che trovano fondamento in teorie non utilizzate solitamente per queste applicazioni.

Molto utilizzati in ambito spaziale sono gli algoritmi basati sulla densità: questi considerano i cluster come regioni di spazio ad alta densità, separate tra loro da regioni a bassa densità. Gli algoritmi basati

sulla densità analizzano la densità attorno ad ogni osservazione e la classificano come “sufficientemente densa” se il numero di osservazioni prese è maggiore rispetto una certa soglia prefissata. L’algoritmo più utilizzato è il *density based spatial clustering of applications with noise (DBSCAN)*, che separa in diversi cluster le regioni con densità sufficientemente elevata: questo avviene andando ad osservare per ogni punto lo spazio determinato da un raggio fissato, per vedere se i punti presenti in tale area superano il numero imposto a priori come soglia. Un altro metodo è il *density-based clustering (DENCLUE)*: questo algoritmo si basa sull’idea che ogni punto possa essere modellato utilizzando una funzione matematica chiamata *influence function*, che descrive l’impatto dell’osservazione sui punti vicini. Sommando queste funzioni è possibile trovare la densità dello spazio dei punti ed i cluster possono essere trovati determinando matematicamente i massimi locali della funzione di densità così costruita (Han et al., 2001).

Vi sono metodi basati sulle tecniche di ricerca combinatoria, che vedono il *clustering* come una sorta di problema di ottimizzazione: queste tecniche hanno come obiettivo principale la ricerca dell’ottimo (o di una sua approssimazione) in un problema di ottimizzazione combinatoria. Considerato un dataset di punti $\mathbf{x}_j \in \mathbb{R}^d, j = 1, \dots, N$, l’algoritmo di *clustering* ha lo scopo di organizzare questi punti in K gruppi $\{C_1, \dots, C_K\}$ in modo da ottimizzare una qualche funzione obiettivo. Con le tecniche di ricerca utilizzate solitamente nella ricerca combinatoria non viene garantita l’ottimalità della partizione ottenuta, per cui si ricorre a metodi di ricerca più complessi, quali i *genetically guided algorithm (GGA)*, il *tabu search (TS) clustering* e il *deterministic annealing (DA) clustering* (Xu, 2005).

Esistono anche metodi basati sulle reti neurali, modelli matematici/ informatici di calcolo basati sulle reti neurali biologiche. Gli algoritmi più utilizzati in questo campo sono: *learning vector quantization (LVQ)* e *self-organizing feature map (SOFM)*.

4. L’ORGANIZZAZIONE DEI DATI DELLA MATRICE DEL PENDOLARISMO 2011

4.1 LA MATRICE DEL PENDOLARISMO

La matrice del pendolarismo contiene informazioni relative ai movimenti per studio e per lavoro dei pendolari, ossia di quella parte della popolazione residente che ha dichiarato di recarsi “giornalmente al luogo di studio o lavoro partendo dall’alloggio di residenza e di rientrare giornalmente allo stesso”⁶. Ogni *record* della matrice si riferisce ad un gruppo di pendolari (strato) che presentano le stesse caratteristiche (comune di residenza, comune di destinazione, motivo dello spostamento, sesso etc.). La prima matrice costruita dall’Istat si riferisce al 1981 e riporta informazioni raccolte in occasione del Censimento; le successive sono state costruite con i dati dei Censimenti del 1991 e del 2001. In seguito alle innovazioni introdotte in occasione del Censimento 2011 (Borrelli et al., 2012) e all’introduzione del campionamento nei comuni al di sopra dei 20000 abitanti per la raccolta delle informazioni relative alle variabili socio-economiche, tra cui anche parte di quelle relative al pendolarismo, la matrice riferita al 2011 presenta caratteristiche diverse rispetto alle precedenti. I *record* che la compongono sono infatti di due tipi, individuati dalla lettera S (che richiama *short*) e la lettera L (che richiama *long*). Le informazioni censuarie sono state infatti raccolte usando due tipi di questionari, uno in forma estesa (*long*) che è stato distribuito nei comuni fino a 20000 abitanti e ad un campione di famiglie nei comuni capoluogo di provincia o con almeno 20000 abitanti, ed un questionario in forma ridotta (*short*) distribuito alle restanti famiglie di questi ultimi comuni.

I *record* che compongono la matrice 2011 si differenziano per il fatto che nei *record* di tipo L le variabili di stratificazione sono in numero maggiore infatti oltre a quelle riportate per il tipo di *record*

⁶ Si veda <http://www.istat.it/it/archivio/139381>.

S (provincia di residenza, comune di residenza, sesso, motivo dello spostamento, luogo di studio o di lavoro, provincia abituale di studio o lavoro, comune abituale di studio o lavoro, stato estero di studio o lavoro) ve ne sono altre tre (mezzo, orario di uscita, tempo impiegato). Queste informazioni sono state rilevate solo con il questionario di tipo *long*. La matrice contiene inoltre due ulteriori variabili, che rappresentano i pesi degli strati; una di esse fa riferimento ai *record* di tipo S ed in questo caso il peso è il numero di pendolari appartenenti a quello strato, l'altra invece fa riferimento ai *record* di tipo L dove i pesi associati a ciascuno strato sono delle stime, dal momento che le maggiori informazioni contenute in tali strati (mezzo di trasporto, orario, tempo utilizzato) sono state raccolte su base campionaria nei comuni con almeno 20000.

4.2 LA DESCRIZIONE E L'ORGANIZZAZIONE DEI DATI UTILIZZATI

Nel presente lavoro si sono utilizzate le informazioni relative ai pendolari residenti in Friuli Venezia Giulia. Dalla matrice nazionale costruita per tutti i comuni italiani è stata quindi estratta la matrice per il Friuli Venezia Giulia. Essa contiene 134293 *record* (suddivisi in 28126 di tipo S e 106167 di tipo L), che raccolgono informazioni relative a 617439 persone residenti in regione (in famiglia o in convivenza⁷) che dichiarano di muoversi giornalmente verso il luogo di studio o lavoro e di rientrare la sera all'abitazione da cui sono partiti. Per le sole persone residenti in famiglia (616993) nei *record* di tipo L (106167) sono riportate anche le informazioni relative ai mezzi, orari e tempi.

Nel lavoro sono stati usati i soli *record* di tipo L, dal momento che essi contengono le informazioni relative a mezzo utilizzato, orario di uscita dall'abitazione e tempo impiegato per raggiungere il luogo di studio o lavoro. Tali *record* fanno riferimento ai soli pendolari che vivono in famiglia e che rappresentano nel caso del Friuli Venezia Giulia il 99,9% dei pendolari della regione.

Come già accennato ogni *record* rappresenta una tipologia di pendolare individuata sulla base delle variabili descritte nella Tavola 4. L'ultima variabile riportata nella Tavola 4 (Stima del numero di pendolari) rappresenta il peso di ciascuno strato di tipo L.

È opportuno precisare che durante il Censimento viene rilevata una sola modalità di trasporto, anche nel caso in cui il pendolare utilizzi più modalità, e precisamente quella adottata per compiere il tragitto più lungo, in termini di distanza percorsa. Inoltre il tempo per arrivare al luogo di lavoro comprende anche il tempo utilizzato per eventuali tragitti più lunghi, come ad esempio per portare i bambini a scuola.

Poiché l'oggetto dello studio è il pendolare, è stato necessario espandere la matrice in modo tale che ad ogni *record* corrispondesse un pendolare, e non più uno strato. In tal modo si sono ottenuti tanti *record* quanti sono i pendolari residenti in famiglia e si è potuto procedere all'applicazione della *two step cluster analysis*, che permette di considerare sia le variabili qualitative che quantitative presenti nella matrice.

Per l'applicazione sono state utilizzate tre variabili qualitative e due quantitative. Le variabili qualitative sono: motivo dello spostamento, luogo di lavoro o studio, modalità di trasporto. Su queste variabili non è stata effettuata alcuna trasformazione e le loro modalità sono riportate nella Tavola 4.

⁷ Insieme di persone che, senza essere legate da vincoli di matrimonio, parentela, affinità e simili, conducono vita in comune per motivi religiosi, di cura, di assistenza, militari, di pena e simili. Le persone addette alla convivenza per ragioni di lavoro, se vi convivono abitualmente, sono considerate membri permanenti della convivenza purché non costituiscano famiglia a sé stante. I principali tipi di convivenza sono: istituti d'istruzione, istituti assistenziali, istituti di cura pubblici e privati, istituti penitenziari, convivenze ecclesiastiche, convivenze militari e di altri corpi accasermati, alberghi, pensioni, locande e simili, navi mercantili, altre convivenze (ad esempio, case dello studente), da <http://www3.istat.it/cgi-bin/glossario/indice.pl>.

Tavola 4 – Variabili della matrice del pendolarismo al Censimento 2011 (record L)

	Tipo di variabile	Modalità della variabile
Provincia di residenza	Qualitativa	codice Istat
Comune di residenza	Qualitativa	codice Istat
Sesso	Qualitativa	maschio, femmina
Motivo dello spostamento	Qualitativa	lavoro, studio
Luogo di lavoro o studio	Qualitativa	comune di resid., altro comune, estero
Provincia di lavoro o studio	Qualitativa	codice Istat
Comune di lavoro o studio	Qualitativa	codice Istat
Paese estero di lavoro o studio	Qualitativa	codice Istat
Modalità di trasporto	Qualitativa	treno; tram; autobus urbano o filobus; corriera o autobus extra-urbano; autobus aziendale o scolastico; auto privata (come conducente); auto privata (come passeggero); motocicletta o ciclomotore o scooter; bicicletta; altro mezzo; a piedi;
Orario di uscita dall'abitazione	Quantitativa	prima delle 7:15; dalle 7:15 alle 8:14; dalle 8:15 alle 9:14; dopo le 9:14;
Tempo per arrivare al luogo di lavoro o studio	Quantitativa	fino a 15 minuti; da 16 a 30 minuti; da 31 a 60 minuti; oltre 60 minuti;
Stima del numero di pendolari	Quantitativa	

Le due variabili quantitative, derivate invece da una trasformazione delle due variabili originarie (orario di uscita dall'abitazione e tempo impiegato), sono:

- @orario: sono stati considerati quattro valori corrispondenti ai valori centrali delle classi della variabile originaria, considerate tutte della stessa ampiezza. Solo la prima classe (“prima delle 7:45”) è stata considerata più ampia per tener conto dei pendolari che partono molto presto al mattino.
- @tempo: I valori della variabile corrispondono ai valori centrali della variabile originaria. La classe “oltre 60 minuti” è stata considerata della stessa ampiezza della precedente.

L'analisi è stata condotta separatamente per i comuni con almeno 20000 abitanti (Gorizia, Pordenone, Trieste, Udine, Monfalcone e Sacile) e per quelli sotto i 20000. La distinzione tra questi due “tipi di comune” è stata mantenuta anche in considerazione delle diverse modalità di raccolta delle informazioni.

In tutti i casi il numero dei cluster è stato scelto sulla base del *Bayesian Information Criteria (BIC)*.

Tavola 5 – Popolazione residente e pendolari nei comuni del Friuli Venezia Giulia al Censimento 2011

Comuni	Popolazione residente (R)	Pendolari residenti in famiglia (P*)		P*/R %
		per studio	per lavoro	
Gorizia	35212	4760	11601	46,5
Pordenone	50583	7105	17198	48,0
Trieste	202123	33319	70392	40,1
Udine	98287	77831	34142	48,8
Monfalcone	27041	3604	8282	44,0
Sacile	19897	3702	7180	54,7
Comuni <20000 abitanti	785842	116814	286708	51,3
Totale FVG	1218985	178584	438409	50,6

Fonte: Istat – Censimento 2011

5. IL PENDOLARISMO NEI COMUNI SOTTO I 20000 ABITANTI

Nel caso dei pendolari per motivo di studio nei comuni sotto i 20000 abitanti si sono evidenziati due cluster, al primo appartiene il 44,3% dei pendolari, al secondo il rimanente 55,7% (si veda Tavola 6). Per quanto riguarda la distribuzione secondo sesso non vi sono differenze significative tra i due cluster; vi è invece una sostanziale differenza per quanto riguarda l'ora di partenza da casa (@orario) e il tempo di arrivo al lavoro (@tempo) e le modalità di trasporto.

In dettaglio:

Cluster 1 – è formato da individui che studiano in un comune diverso da quello di residenza, escono da casa presto (in media verso le 7) e impiegano in media circa trenta minuti per raggiungere il luogo di studio utilizzando prevalentemente una corriera o un'autobus, ma anche l'auto come passeggero.

Cluster 2 – vi appartengono pendolari che studiano nel comune di residenza, escono da casa circa un'ora dopo coloro che appartengono al Cluster 1 e impiegano poco più di 10 minuti per raggiungere il luogo di studio, prevalentemente come passeggeri di un'auto.

Considerando i pendolari per motivi di lavoro si sono individuati cinque cluster. La distribuzione dei pendolari è presentata nella Tavola 6. Il cluster più numeroso è il Cluster 5 seguito dal Cluster 4.

Tavola 6 – Distribuzione dei pendolari nei cluster secondo motivo dello spostamento

	Studio			Lavoro	
	Numerosità	Percentuale		Numerosità	Percentuale
Cluster 1	51779	44,3%	Cluster 1	48012	16,7%
Cluster 2	65035	55,7%	Cluster 2	28373	9,9%
			Cluster 3	37932	13,2%
			Cluster 4	76649	26,7%
			Cluster 5	95742	33,4%
Totale	116814	100,0%	Totale	286708	100,0%

Nel Cluster 1 e nel Cluster 5 sono presenti solo individui di sesso maschile mentre nei cluster Cluster 3 e nel Cluster 4 ci sono solo rappresentanti del sesso femminile.

Le modalità di trasporto differiscono nei cinque cluster. Ad esempio i pendolari appartenenti ai Cluster 4 e Cluster 5 utilizzano esclusivamente l'autovettura come guidatore, mentre i pendolari del Cluster 2 usano tutte le altre modalità a parte una piccola parte che usa la macchina. Nel dettaglio i profili dei pendolari per motivi di lavoro nei diversi cluster è:

Cluster 1 – composto da maschi che lavorano nello stesso comune di residenza utilizzano per la maggior parte la loro macchina (62%), ma si muovono anche a piedi o in bicicletta (32%), escono di casa dopo le 7 di mattina ed impiegano circa 10 minuti per raggiungere il posto di lavoro.

Cluster 3 – composto da femmine che lavorano nello stesso comune di residenza che escono da casa dopo gli appartenenti al Cluster 1 utilizzando modalità di trasporto simili.

Cluster 4 – composto da femmine che lavorano in comuni diversi da quello di residenza, utilizzano la macchina escono da casa prima delle donne del Cluster 3 ed impiegano in media circa venti minuti per raggiungere il posto di lavoro.

Cluster 5 – è composto da maschi che escono da casa per andare al lavoro prima delle femmine del Cluster 4, dal quale non differiscono né per il mezzo utilizzato né per il tempo impiegato.

Cluster 2 – è composto da maschi e femmine che lavorano principalmente fuori del comune di residenza, tendono a non utilizzare la macchina come guidatore ed utilizzano invece tutti gli altri mezzi (compresa l'auto privata come passeggero). Escono da casa presto, in genere prima delle persone appartenenti agli altri cluster ed hanno i tempi di percorrenza più lunghi (in media 30 minuti). Si tratta del cluster meno numeroso.

6. I PENDOLARI DEI COMUNI CON ALMENO 20000 ABITANTI E DEI COMUNI CAPOLUOGO

La Tavola 7 riporta la distribuzione percentuale dei pendolari nei cluster secondo motivo dello spostamento nei comuni di maggiori dimensioni. Sia nel caso dello spostamento per motivi di studio che di lavoro si sono individuati da due a tre cluster all'interno di ciascun comune, a parte il caso del comune di Pordenone che presenta quattro cluster di pendolari per motivi di studio.

Tavola 7 – Distribuzione percentuale dei pendolari nei cluster secondo comune di residenza e motivo dello spostamento

	Studio			Lavoro	
	Cluster	Percentuale		Cluster	Percentuale
Gorizia	Cluster 1	13,0%	Gorizia	Cluster 1	34,7%
	Cluster 2	39,3%		Cluster 2	65,3%
	Cluster 3	47,7%			
		100,0%			100,0%
Pordenone	Cluster 1	10,0%	Pordenone	Cluster 1	43,6%
	Cluster 2	30,6%		Cluster 2	28,8%
	Cluster 3	23,2%		Cluster 3	27,7%
	Cluster 4	36,2%			
		100,0%			100,0%
Trieste	Cluster 1	37,6%	Trieste	Cluster 1	27,6%
	Cluster 2	33,1%		Cluster 2	48,3%
	Cluster 3	29,3%		Cluster 3	24,1%
		100,0%			100,0%
Udine	Cluster 1	25,1%	Udine	Cluster 1	34,5%
	Cluster 2	36,2%		Cluster 2	65,5%
	Cluster 3	38,7%			
		100,0%			100,0%
Monfalcone	Cluster 1	28,6%	Monfalcone	Cluster 1	46,8%
	Cluster 2	71,4%		Cluster 2	33,1%
				Cluster 3	20,1%
		100,0%			100,0%
Sacile	Cluster 1	22,3%	Sacile	Cluster 1	59,6%
	Cluster 2	42,8%		Cluster 2	40,4%
	Cluster 3	34,9%			
		100,0%			100,0%

Nelle Tavole dalla 8 alla 13 vengono riportati per ciascun comune i valori medi e i valori modali delle variabili utilizzate nella *cluster analysis*.

Tavola 8 – Descrizione dei cluster nel comune di Gorizia

	Orario di uscita dall'abitazione in media (ore e minuti)	Tempo utilizzato in media (minuti)	Sesso		Modalità di spostamento più frequente	Luogo di studio o lavoro prevalente
			M	F		
Motivi di studio						
Cluster 1	7:20	49	50%	50%	Treno (61%)	Altro comune (88%)
Cluster 2	8:00	11	53%	47%	A piedi (65%)	Comune di residenza (100%)
Cluster 3	7:51	9	50%	50%	Auto (come passeggero) (100%)	Comune di residenza (100%)
Motivi di lavoro						
Cluster 1	7:29	30	60%	40%	Auto (come conducente) (70%)	Altro comune (83%)
Cluster 2	7:38	17	50%	50%	Auto (come conducente) (65%)	Comune di residenza (100%)

Tavola 9 – Descrizione dei cluster nel comune di Pordenone

	Orario di uscita dall'abitazione in media (ore e minuti)	Tempo utilizzato in media (minuti)	Sesso		Modalità di spostamento più frequente	Luogo di studio o lavoro prevalente
			M	F		
Motivi di studio						
Cluster 1	7:29	45	44%	56%	Treno (42%)	Altro comune (94%)
Cluster 2	7:38	14	55%	45%	Bicicletta (62%)	Comune di residenza (100%)
Cluster 3	7:56	10	48%	52%	A piedi (100%)	Comune di residenza (100%)
Cluster 4	7:55	9	52%	48%	Auto (come passeggero) (100%)	Comune di residenza (100%)
Motivi di lavoro						
Cluster 1	7:27	20	97%	3%	Auto (come conducente) (87%)	Altro comune (62%)
Cluster 2	7:46	16	-	100%	Auto (come conducente) (100%)	Comune di residenza (56%)
Cluster 3	7:54	11	40%	60%	Bicicletta (44%)	Comune di residenza (94%)

Tavola 10 – Descrizione dei cluster nel comune di Trieste

	Orario di uscita dall'abitazione in media (ore e minuti)	Tempo utilizzato in media (minuti)	Sesso		Modalità di spostamento più frequente	Luogo di studio o lavoro prevalente
			M	F		
Motivi di studio						
Cluster 1	8:00	12	53%	47%	Auto (come passeggero) (72%)	Comune di residenza (100%)
Cluster 2	7:30	26	48%	52%	Autobus urbano (91%)	Comune di residenza (93%)
Cluster 3	8:00	9	52%	48%	A piedi (100%)	Comune di residenza (100%)
Motivi di lavoro						
Cluster 1	7:27	20	97%	3%	Auto (come conducente) (87%)	Altro comune (62%)
Cluster 2	7:46	16	-	100%	Auto (come conducente) (100%)	Comune di residenza (56%)
Cluster 3	7:54	11	40%	60%	Bicicletta (44%)	Comune di residenza (94%)

Tavola 11 – Descrizione dei cluster nel comune di Udine

	Orario di uscita dall'abitazione in media (ore e minuti)	Tempo utilizzato in media (minuti)	Sesso		Modalità di spostamento più frequente	Luogo di studio o lavoro prevalente
			M	F		
Motivi di studio						
Cluster 1	7:12	25	47%	53%	Autobus urbano (70%)	Comune di residenza (78%)
Cluster 2	7:56	10	51%	49%	Auto (come passeggero) (100%)	Comune di residenza (100%)
Cluster 3	8:03	10	52%	48%	A piedi (58%)	Comune di residenza (100%)
Motivi di lavoro						
Cluster 1	7:05	26	63%	37%	Auto (come conducente) (83%)	Altro comune (100%)
Cluster 2	7:46	14	46%	54%	Auto (come conducente) (54%)	Comune di residenza (100%)

Tavola 12 – Descrizione dei cluster nel comune di Monfalcone

	Orario di uscita dall'abitazione in media (ore e minuti)	Tempo utilizzato in media (minuti)	Sesso		Modalità di spostamento più frequente	Luogo di studio o lavoro prevalente
			M	F		
Motivi di studio						
Cluster 1	7:11	37	55%	45%	Corriera, autobus extra-urbano (30%)	Altro comune (98%)
Cluster 2	7:44	9	53%	47%	A piedi (42%)	Comune di residenza (39%)
Motivi di lavoro						
Cluster 1	7:29	27	58%	42%	Auto (come conducente) (67%)	Altro comune (86%)
Cluster 2	7:14	11	100%	-	Auto (come conducente) (53%)	Comune di residenza (100%)
Cluster 3	7:52	10	-	100%	Auto (come conducente) (62%)	Comune di residenza (100%)

Tavola 13 – Descrizione dei cluster nel comune di Sacile

	Orario di uscita dall'abitazione in media (ore e minuti)	Tempo utilizzato in media (minuti)	Sesso		Modalità di spostamento più frequente	Luogo di studio o lavoro prevalente
			M	F		
Motivi di studio						
Cluster 1	6:17	41	54%	46%	Corriera, autobus extra-urbano (46%)	Altro comune (100%)
Cluster 2	7:53	10	51%	49%	Auto (come passeggero) (100%)	Comune di residenza (79%)
Cluster 3	7:43	13	52%	48%	A piedi (45%)	Comune di residenza (100%)
Motivi di lavoro						
Cluster 1	7:33	22	58%	42%	Auto (come conducente) (88%)	Altro comune (100%)
Cluster 2	7:41	10	51%	49%	Auto (come conducente) (61%)	Comune di residenza (100%)

Per quanto riguarda il pendolarismo per motivi di studio a Gorizia vi sono due cluster (Cluster 2 e Cluster 3) composti da persone che studiano nello stesso comune di residenza, la differenza consiste nel fatto che nel Cluster 2 vanno prevalentemente a piedi, mentre nel Cluster 3 in auto (come passeggeri). Il Cluster 1 è composto in prevalenza da individui che studiano in un altro comune e utilizzano in maggioranza il treno. Analoghe considerazioni si possono fare per il comune di Pordenone; in questo però vengono identificati quattro cluster. Ad uno di essi (Cluster 2) appartengono pendolari che utilizzano prevalentemente la bicicletta. Nei comuni di Trieste e di Udine si studia prevalentemente nel comune di residenza e tra i cluster individuati vi è uno in cui il mezzo di trasporto principale è l'autobus urbano (Cluster 2 a Trieste e Cluster 1 a Udine). Per quanto riguarda i due comuni minori non capoluogo di provincia (Monfalcone e Sacile) essi presentano situazioni simili, con l'utilizzo prevalente nel Cluster 1 dell'autobus extra-urbano. A Sacile è stato isolato un ulteriore cluster composto totalmente da studenti che utilizzano l'auto (come passeggero) per spostamenti all'interno del comune di residenza, come accade nella maggioranza dei piccoli comuni.

I cluster individuati per motivi di lavoro nei vari comuni sono formati in prevalenza da pendolari che utilizzano l'auto come conducente. Solo a Pordenone e a Trieste vi sono dei cluster in cui le modalità di spostamento prevalenti sono diverse: bici a Pordenone (Cluster 3) e a Trieste motocicletta (Cluster 3) e autobus urbano (Cluster 1). Tutti i comuni tranne Pordenone e Trieste presentano due cluster con caratteristiche simili (a Monfalcone i cluster diventano tre per effetto della variabile sesso).

7. CONCLUSIONI

In questo lavoro viene utilizzata la matrice del pendolarismo derivata dal Censimento 2011 per individuare le tipologie di pendolari della regione Friuli Venezia Giulia. Ciascun *record* della matrice rappresenta uno strato di pendolari descritto dalle variabili presenti nella matrice stessa.

La metodologia utilizzata per l'analisi, la *two step cluster*, ha consentito di ottenere dei gruppi ben definiti di pendolari con riferimento al Friuli Venezia Giulia, e distinguendo i comuni sopra e sotto i 20000 e le motivazioni dello spostamento.

Nei comuni sotto i 20000 abitanti sono stati identificati due cluster di pendolari per motivi di studio e cinque cluster per motivi di lavoro. Le variabili utilizzate discriminano bene in entrambi i casi.

Nel caso invece dei comuni con almeno 20000 abitanti, in cui l'analisi è stata condotta singolarmente per ciascun comune, vengono individuati un numero di cluster per motivi di lavoro che va da due (Gori-

zia, Udine, Sacile) a tre (Monfalcone, Pordenone, Trieste); i cluster individuati per motivi di studio sono più numerosi a Pordenone (quattro) mentre in tutti gli altri comuni ne sono stati individuati tre, escluso Monfalcone in cui la suddivisione migliore ha portato a due cluster.

La *two step cluster analysis* utilizzata nel presente lavoro ha permesso di segmentare i pendolari arrivando ad individuare un numero decisamente ridotto di raggruppamenti (da 2 ad un massimo di 5). Tale segmentazione è utile per poter differenziare l'offerta di mezzi di trasporto pubblico e di servizi a supporto del trasporto privato, dal momento che è possibile conoscere per ogni comune quale è il segmento di pendolari prevalente.

Sulla base delle evidenze ottenute da questa analisi potrebbe essere utile sviluppare politiche di incentivo e di incremento del trasporto pubblico, che tengano conto delle diverse tipologie di pendolari e di come esse si distribuiscono sul territorio regionale, oltre che politiche di mobilità sostenibile rivolte ad esempio all'incentivazione dell'uso dell'auto elettrica.

Un altro aspetto riguarda il possibile sviluppo di modalità innovative di trasporto, come ad esempio il *car sharing* e il *car pooling*. Con *car sharing* si intende un servizio per utilizzare un'automobile su prenotazione prelevandola e riportandola in un parcheggio, mentre con il *car pooling* più persone viaggiano sulla stessa auto di proprietà di uno dei viaggiatori dividendo tra loro le spese. Questi servizi vengono così incontro non solo alla soddisfazione delle esigenze di flessibilità nella mobilità che solitamente viene ottenuta con l'utilizzo dell'auto propria, ma anche favoriscono il passaggio dal possesso del mezzo all'uso dello stesso.

Riferimenti bibliografici

- BACHER, J., K. WENZING, M., VOGLER, M. (2004) “SPSS Two Cluster A First Evaluation”, *Universitat Erlangen-Nurnberg*, pp. 1-20, www.statisticalinnovations.com/products/twostep.pdf cited July, 2014.
- BORRELLI, F., CARBONETTI, G., DE FELICI, L., SOLARI, F. (2012) “Metodologie di stima per piccole aree applicabili a variabili di censimento”, *Istat Working Papers 3-2012*, ISTAT, Roma.
- CHIU, T., FANG, D., CHEN, J., WANG, Y., JERIS, C. (2001) “A Robust and Scalable Clustering Algorithm for Mixed Type Attributes in Large Database Environment”, *Proceedings of the 7th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining 2001*, pp. 263-268.
- GOODMAN, A. (2013) “Walking, Cycling and Driving to Work in the English and Welsh 2011 Census: Trends, Socio-Economic Patterning and Relevance to Travel Behaviour”, *PLoS ONE* 8(8): e71790. doi: 10.1371/journal.pone.0071790.
- HAN, J., KAMBER, M., TUNG, A.K.H. (2001) *Spatial clustering methods in data mining. A survey*, <http://www.cs.uiuc.edu/homes/hanj/>
- MCLACHLAN, G.J., PEEL, D. (2000) *Finite Mixture Models*, Wiley, New York.
- MING-YI, S., JAR-WEN, J., LIEN-FU, L. (2010) “A Two-Step Method for Clustering Mixed Categorical and Numeric Data”, *Tamkang Journal of Science and Engineering* 13 (1), pp. 11-19.
- STASSI, G., VALENTINI, A. (2013) *L'Italia del Censimento. Struttura demografica e processo di rilevazione. Friuli Venezia Giulia*, Istat.
- ZANI, S., CERIOLO, A. (2007) *Analisi dei dati e data mining per le decisioni aziendali*, Giuffrè Editore, Milano.
- XU, R., WUNSCH, D. (2005) “Survey of Clustering Algorithms”, *IEEE transactions on neural networks* 16(3), pp. 645-678.

I fattori socio-economici che influenzano la scelta del carsharing

LUCIA ROTARIS, ROMEO DANIELIS

DEAMS, Università di Trieste

1. INTRODUZIONE

In Italia c'è una crescente domanda di servizi di carsharing. Secondo alcune stime pubblicate in occasione del Forum Automotive, tenutosi a Milano nel Marzo 2015, gli utenti del carsharing, nel 2014, sarebbero stati 220.000, con un incremento del 70% rispetto all'anno precedente. L'80% della domanda sarebbe concentrata nella città di Milano e nei comuni limitrofi. Il dati presentati fotografano un'utenza sempre meno interessata al possesso dell'auto privata, in particolare in riferimento al segmento giovani (42%), e disponibile all'utilizzo di una pluralità di mezzi di trasporto per effettuare uno spostamento¹.

Dopo un avvio lento, agli inizi degli anni 2000, anche l'offerta di servizi di carsharing è rapidamente aumentata, affiancando ad iniziative di matrice tipicamente pubblica (Iniziativa Car Sharing) che hanno coinvolto i comuni di Bologna, Brescia, Firenze, Genova, Milano, Padova, Palermo, Parma, Roma, Savona, Torino, Venezia, anche operatori privati, fra cui Car2Go, EnJoy e Twist attualmente presenti a Milano, Roma, Torino, Firenze, Bologna, e Genova. Nella sola città di Milano sono disponibili ben sei operatori, due a partecipazione pubblica, GuidaMi ed E-vai, e quattro privati, Car2Go, Enjoy, Twist e Share'nGo, recentemente subentrato a EqSharing.

Sembra, perciò, rilevante studiare non solo la consistenza della domanda potenziale di carsharing in ambiti territoriali non ancora interessati da queste iniziative e caratterizzati da città di medio-piccole dimensioni come la regione Friuli Venezia Giulia, ma anche analizzare quali siano le determinanti socio-economiche della stessa. Solo conoscendo le caratteristiche dei diversi segmenti di cui si compone la domanda potenziale, infatti, è possibile immaginare un'offerta differenziata in termini di modalità d'uso del servizio e di valori e composizione delle tariffe richieste che incontri adeguatamente le diverse esigenze dell'utenza.

1 <http://www.key4biz.it/smart-mobility-12-milioni-di-utenti-car-sharing-tra-europa-e-usa-nel-2020/114777/>

Il contributo è organizzato come segue: nella seconda sezione si richiameranno le evidenze riportate in letteratura sulla stima della domanda potenziale di carsharing, nella terza sezione si descriverà l'indagine condotta in Friuli Venezia Giulia, nella quarta e quinta sezione si illustreranno i risultati ottenuti sulla stima della domanda potenziale e sulle sue determinanti socio-economiche, infine nella sesta sezione si trarranno alcune considerazioni conclusive.

2. REVISIONE DELLA LETTERATURA

La letteratura dedicata alla descrizione delle caratteristiche socio-economiche degli utenti dei servizi di carsharing è ormai abbondante. Si citano, in particolare, due recenti revisioni, Jorge e Correia (2013) e Ferrero et al. (2015), che trattano il tema in modo dettagliato.

Fra i risultati che emergono con maggiore chiarezza dall'analisi di questa letteratura (Transit Cooperative Research Program, 2005; Douma e Andrew, 2006; Burkhardt e Millard-Ball, 2006; Loose, 2010; Sioui et al., 2010; Martin e Shaheen, 2011; Costain et al., 2012; Habib et al., 2012; Coll et al., 2014; Kim et al., 2015; Lang, 2015;) vi è l'importanza dell'età degli utenti, tipicamente compresa fra i 25 ed i 44 anni, la dimensione del nucleo familiare, in genere inferiore alla media della popolazione di riferimento, lo status professionale, di norma gli utenti sono liberi professionisti, il reddito, più spesso inferiore alla media, il numero di auto a disposizione per nucleo familiare, inferiore alla media, il livello di scolarità, gli utenti sono più spesso laureati, la frequenza d'uso dei mezzi pubblici, superiore alla media, la sensibilità ambientale ed il grado di conoscenza del servizio.

Il limite maggiore di questo tipo di indagini è legato alla modalità di raccolta del dato, che avviene tipicamente via e-mail, con l'invio di questionari di rilevazione del grado di soddisfazione del servizio e delle caratteristiche socio-economiche del rispondente. Gli indirizzi e-mail sono, di norma, forniti dall'operatore del servizio. Vi è quindi un problema di autoselezione del campione, da un lato, e di distorsione del campione causata dalla modalità di somministrazione scelta, dall'altro. Un secondo ordine di problemi di questo filone della letteratura è che non permette di analizzare la domanda potenziale in contesti diversi rispetto a quelli in cui il servizio è già offerto ed in cui le indagini sono realizzate. Dagli studi sopra menzionati, infatti, emerge come la domanda per il servizio di carsharing sia preponderante nelle città densamente abitate e meglio servite dai mezzi pubblici, ma nulla o poco permette di inferire sulla domanda latente nelle città più piccole e nei territori a bassa densità abitativa.

Vi sono, comunque, anche alcuni studi che rilevano la disponibilità o la propensione all'uso di servizi di carsharing non ancora esistenti (De Luca e Di Pace, 2015; Efthymiou e Antoniou, 2013; Mariotti et al., 2013; Zhou e Kockelman; 2011; Zheng et al., 2009). Le caratteristiche socio-economiche degli utenti potenziali che emergono da questo tipo di studi sono in linea con quelle individuate per gli utenti dei servizi già esistenti, così come sembrano essere importanti la sensibilità ambientale ed il grado di conoscenza del servizio.

3. L'INDAGINE: CARATTERISTICHE DEL CAMPIONE E QUESTIONARIO UTILIZZATO

Per stimare la domanda potenziale di carsharing in Friuli Venezia Giulia, durante il 2014, sono state raccolte 1276 interviste telefoniche. Il campione, selezionato casualmente utilizzando principalmente gli elenchi telefonici delle quattro province presenti in regione, è costituito da individui maggiorenni, con un'età compresa fra i 18 ed i 25 anni, 49% del campione, fra i 26 ed i 65 anni, 43%, e con più di 65 anni, 8%. Il campione è equamente distribuito fra donne, 54%, e uomini, 46%. Quasi tutti gli intervistati risiedono nella regione Friuli Venezia Giulia, in particolare il 36% nella provincia di Gorizia, il 35% nella provincia di Trieste, il 12% nella provincia di Udine e l'8% nella provincia di Pordenone. Il 33%

del campione risiede nella città di Trieste (209.000 abitanti), il 3% nella città di Udine (100.000 abitanti), il 5% nella città di Pordenone (50.000 abitanti) ed il 33% nella città di Gorizia (35.000 abitanti). Vi è quindi una difformità fra la distribuzione geografica degli intervistati e la numerosità della popolazione residente in regione nelle quattro provincie, per questa ragione il campione non può dirsi perfettamente rappresentativo della popolazione regionale.

Oltre alle consuete caratteristiche socio-economiche, agli intervistati sono state richieste le seguenti domande:

- 1) sarebbe disposto ad utilizzare un servizio di carsharing se fosse offerto nel luogo in cui risiede? Risponda su una scala da 1 (sicuramente no) a 5 (sicuramente sì)².
- 2) modificherebbe le modalità di trasporto che utilizza per gli spostamenti casa-lavoro/studio (prima tabella a seguire) e per gli spostamenti non sistematici (seconda tabella a seguire) se non disponesse più dell'auto privata ma fosse disponibile il servizio di carsharing?

Tavola 1 – Pattern di mobilità attuale ed ipotetica per gli spostamenti sistematici

Modalità di trasporto disponibili	Mobilità settimanale attuale		Modalità di trasporto disponibili	Mobilità settimanale ipotetica	
	N. viaggi	Distanza		N. viaggi	Distanza
Auto			Carsharing		
Moto			Moto		
Bus			Bus		
Treno			Treno		
Taxi			Taxi		
A piedi			A piedi		
Bicicletta			Bicicletta		

Tavola 2 – Pattern di mobilità attuale ed ipotetica per gli spostamenti non sistematici

Modalità di trasporto disponibili	Mobilità settimanale attuale		Modalità di trasporto disponibili	Mobilità settimanale ipotetica	
	N. viaggi	Distanza		N. viaggi	Distanza
Auto			Carsharing		
Moto			Moto		
Bus			Bus		
Treno			Treno		
Taxi			Taxi		
A piedi			A piedi		
Bicicletta			Bicicletta		

² Poiché il carsharing non è ancora disponibile nella regione FVG, gli intervistati hanno chiesto informazioni circa i costi, le modalità di noleggio del veicolo e la disponibilità delle auto condivise. Gli intervistatori hanno fornito le informazioni disponibili per quanto riguarda il servizio di carsharing attualmente offerto in Italia ed hanno chiarito alcuni dubbi espressi dagli intervistati.

4. LA DOMANDA POTENZIALE DI CARSHARING IN FVG

Sulla base dei dati raccolti è stato possibile derivare quattro indicatori della domanda potenziale di car-sharing, come descritto nelle sezioni a seguire.

3.1 DISPONIBILITÀ AD USARE IL SERVIZIO DI CARSHARING

Il 66% del campione ha dichiarato che non utilizzerebbe il servizio di carsharing se fosse disponibile presso il luogo di residenza (rating dichiarato pari a 1 o 2), il 18% si è dichiarato incerto (rating pari a 3), mentre il 16% ha dichiarato che utilizzerebbe il servizio (rating pari a 4 o 5).

3.2 VARIAZIONE IPOTETICA DELLA RIPARTIZIONE MODALE DELLA MOBILITÀ SISTEMATICA

Se non fosse più disponibile l'auto privata per effettuare gli spostamenti casa-lavoro/studio, ma fosse offerto un servizio di carsharing, questo verrebbe utilizzato dal 17% del campione. L'indisponibilità del mezzo privato verrebbe, infatti, in parte sopperita anche dall'uso dei mezzi pubblici (+11% autobus e +4% treno), della moto (+5%) e della bicicletta (+5%).

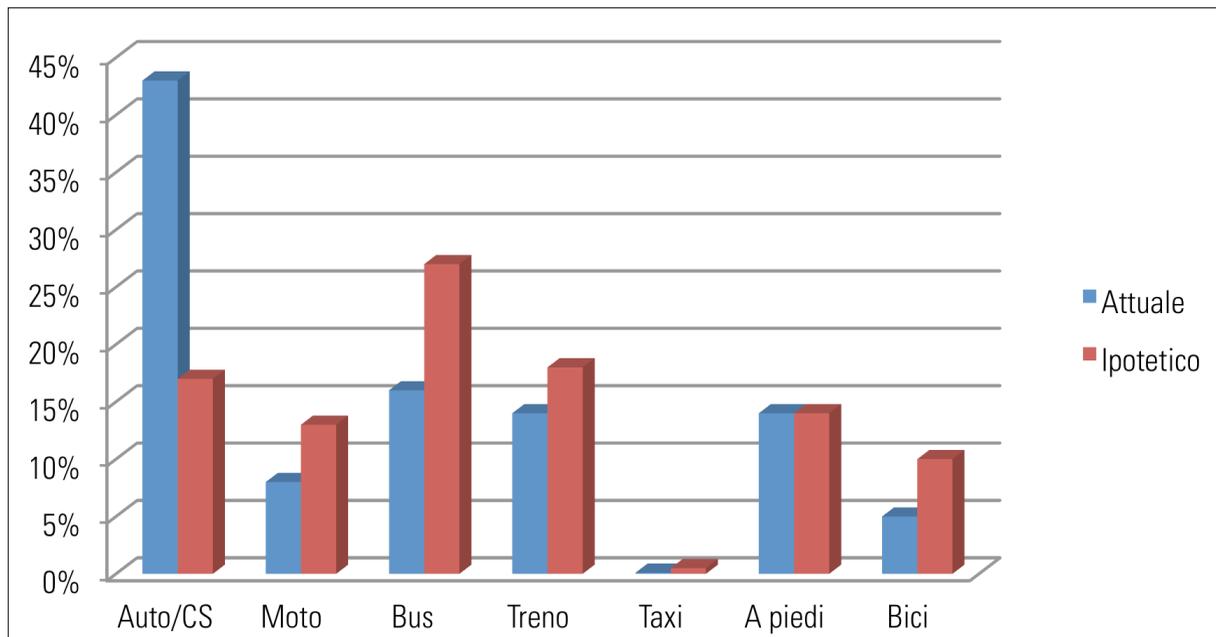


Figura 1 – Ripartizione modale attuale ed ipotetica degli spostamenti sistematici

3.3 VARIAZIONE IPOTETICA DELLA RIPARTIZIONE MODALE DELLA MOBILITÀ NON SISTEMATICA

Nel caso degli spostamenti non sistematici, se non fosse più disponibile l'auto privata ma fosse offerto un servizio di carsharing, questo verrebbe utilizzato dal 28% del campione. Anche in questo caso l'indisponibilità del mezzo privato verrebbe, infatti, sopperita anche dall'uso dei mezzi pubblici (+16% autobus e +4% treno), della moto (+7%) e della bicicletta (+3%).

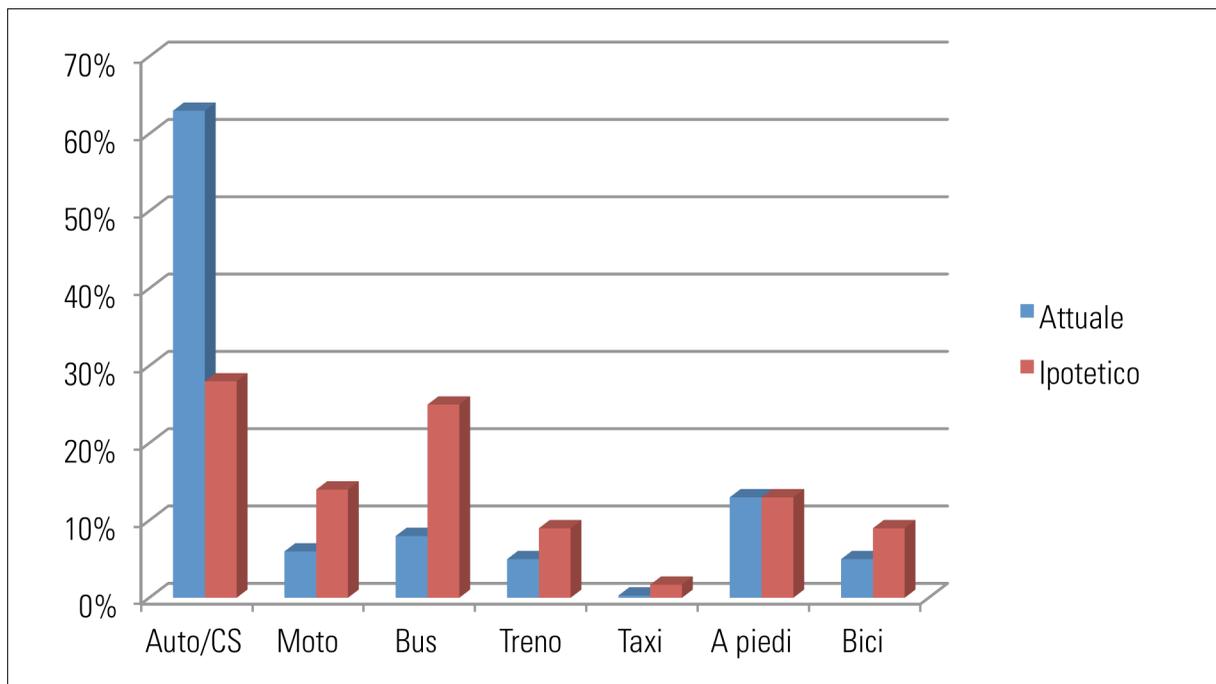


Figura 2 – Ripartizione modale attuale ed ipotetica degli spostamenti non sistematici

3.4 PROBABILITÀ DI SOSTITUZIONE DELL'AUTO PRIVATA CON IL CARSHARING

I dati raccolti durante le interviste hanno permesso di stimare, per ciascun individuo, l'attuale costo generalizzato degli spostamenti sistematici e non sistematici ed il costo generalizzato nell'ipotesi in cui non si disponga dell'auto privata ma sia disponibile il servizio di carsharing. A tale scopo è stata utilizzata la descrizione in termini di modalità utilizzata, di numero di viaggi e di distanza percorsa per gli spostamenti effettuati nell'arco della settimana fornita da ciascun intervistato ed una serie di parametri, monetari e non monetari, necessari al calcolo del costo generalizzato ma non noti se non a livello aggregato fra cui: il costo di acquisto dell'auto, il numero di anni di ammortamento dell'auto, il costo dell'assicurazione, i costi di manutenzione, ecc.. Si è, quindi, assunto che ogni parametro, non noto a livello individuale, si distribuisse come una variabile casuale triangolare avente un certo valore atteso ed una certa dispersione attorno al valore atteso³. Per ogni individuo si è proceduto estraendo un valore dalla distribuzione di ciascun parametro ignoto e calcolando il valore del costo generalizzato nei due scenari: quello attuale, con auto ma senza carsharing, e quello ipotetico, senza auto ma con carsharing. L'esercizio è stato ripetuto 10.000 volte per ciascun individuo. Si è quindi calcolato quante volte il costo generalizzato dello scenario senza auto ma con carsharing è risultato inferiore al costo generalizzato dello scenario corrente. Tale valore, espresso in forma percentuale, è stato interpretato come la probabilità che per l'individuo sia più conveniente utilizzare il carsharing anziché l'auto privata, cioè come la probabilità che quell'individuo utilizzi il carsharing qualora fosse disponibile. La stima è stata effettuata solo per gli individui che hanno dichiarato che utilizzerebbero il carsharing almeno per uno spostamento sistematico o non sistematico in alternativa all'auto privata (52% del campione). Ne è risultato che: per il 6% del campione la probabilità d'uso del carsharing sarebbe superiore al 50%, mentre per il 44% sarebbe inferiore al 50%.

³ Per il dettaglio dei parametri utilizzati si faccia riferimento a Danielis e Rotaris (in pubblicazione, tabella 28).

Tavola 3 – Probabilità di uso del carsharing

	N. individui	%
Indisponibili ad utilizzare il CS almeno per uno spostamento sistematico o non sistematico	645	52
Probabilità < 25%	307	24
Probabilità: 25-50%	250	20
Probabilità: 50-75%	51	4
Probabilità > 75%	23	2

5. LE CARATTERISTICHE SOCIO-ECONOMICHE DELLA DOMANDA POTENZIALE

È stata, quindi studiata la relazione esistente fra ciascun indicatore della domanda potenziale e le caratteristiche socio-economiche degli individui intervistati al fine di identificare le determinanti della domanda di carsharing.

5.1 DISPONIBILITÀ AD USARE IL SERVIZIO DI CARSHARING

Utilizzando come variabile dipendente una variabile discreta con valori compresi fra 1 e 5, che descrive la disponibilità all'uso del carsharing dichiarata dagli intervistati, e come variabili esplicative le caratteristiche socio-economiche degli individui è stato stimato un modello logit ordinale. Per stimare il modello sono state utilizzate 1207 osservazioni, sono state, infatti, escluse alcune osservazioni anomale⁴. La significatività statistica del modello è accettabile: Rho² aggiustato pari a 11,15.

Tavola 4 – Logit ordinale della disponibilità ad utilizzare il carsharing

	Coeff.	Std.Err.	t-ratio	P-value
One	-1.16	0.29	-3.9	0.00
Età: 1 "18-25"; 2 "25-65"; 3 ">65" (ordinale)	-0.74	0.11	-6.5	0.00
Città: 20k-50k abitanti (dummy)	-1.17	0.15	-8	0.00
Pensionato (dummy)	-1.43	0.42	-3.4	0.00
Disoccupato (dummy)	2.14	0.55	3.87	0.00
N. viaggi sistematici: 0 "0"; 1 "1-10"; 2 "11-20"; 3 ">20"(ordinale)	0.35	0.09	3.89	0.00
Sensibilità ambientale (ordinale 1 – 5)	0.45	0.06	7.95	0.00
Conoscenza carsharing (ordinale 1 – 5)	0.45	0.05	9.65	0.00
N. viaggi non sistematici: "11-20"	0.23	0.13	1.76	0.08
Mu(1)	1.49	0.06	24.4	0.00
Mu(2)	2.67	0.08	34.1	0.00
Mu(3)	3.73	0.11	33.0	0.00
McFadden Pseudo R-squared	0.11			
N. osservazioni	1207			

⁴ 3 persone che hanno 70 o più anni e non hanno la patente, una persona che ha dichiarato di fare 120 spostamenti casa-lavoro alla settimana, 65 persone che non lavorano o studiano ma che dichiarano di fare spostamenti casa lavoro_studio

Tutti i parametri sono statisticamente significativi ed hanno il segno atteso. Il modello predice l'effetto che ogni variabile studiata produce sulla probabilità che il campione dichiari ciascuna classe di disponibilità all'uso del carsharing (la disponibilità all'uso viene dichiarata secondo una scala likert da 1 a 5), come illustrato nella Tavola 5.

Tavola 5 – Determinanti socio-economiche della disponibilità ad utilizzare il carsharing

	Disponibilità ad usare il carsharing da 1 a 5				
	1(no)	2	3	4	5 (si)
Età: 1 "18-25"; 2 "26-65"; 3 ">65" (ordinale)	0.16	-0.16	-0.08	-0.05	-0.03
Città: 20k-50k abitanti (dummy)	0.27	-0.27	-0.22	-0.06	-0.04
Pensionato (dummy)	0.34	-0.11	-0.13	-0.1	-0.04
Disoccupato (dummy)	-0.27	-0.21	0.06	0.18	0.25
N. viaggi sistematici: 0 "0"; 1 "1-10"; 2 "11-20"; 3 ">20"(ordinale)	-0.08	0.00	0.04	0.02	0.02
Sensibilità ambientale (ordinale 1 – 5)	-0.1	0.00	0.05	0.03	0.02
Conoscenza carsharing (ordinale 1 – 5)	-0.1	0.00	0.05	0.03	0.02

Se il segno dell'effetto marginale relativo ad una specifica classe è negativo significa che la variabile studiata riduce la probabilità che il campione dichiari tale livello di propensione all'uso del carsharing. Se lungo una riga della Tabella 5 il segno cambia da negativo a positivo significa che la variabile studiata aumenta la probabilità che l'individuo sia disponibile ad utilizzare il carsharing e viceversa.

Si registra, in particolare, un effetto negativo sulla propensione all'uso del carsharing all'aumentare dell'età dell'intervistato (espressa in classi di età con 1 rappresentativo della classe "18-25"; 2 della classe "26-65"; 3 della classe ">65"), per chi vive in città di dimensione medio-piccole (variabile dummy pari ad 1 per residenti in paesi con un numero di abitanti compreso nell'intervallo 20.000-50.000) e per chi è pensionato (dummy).

Si stima, invece, un impatto positivo sulla propensione all'uso del carsharing per i disoccupati ed in relazione al livello di sensibilità per le problematiche ambientali (variabile discreta da 1 a 5) ed al livello di conoscenza del carsharing (variabile discreta da 1 a 5). Inoltre, la propensione all'uso del carsharing è tanto maggiore quanto più frequenti sono nell'arco della settimana gli spostamenti per ragioni di studio o di lavoro (variabile discreta avente valore 0 per un numero di viaggi casa lavoro pari a 0; 1 per un numero di viaggi compreso nell'intervallo 1-10; 2 per un numero di viaggi compreso nell'intervallo 11-20; e 3 per un numero di viaggi maggiore di 20), o per il tempo libero (variabili dummy per un numero di spostamenti compreso fra 11 e 20).

5.2 VARIAZIONE IPOTETICA DELLA RIPARTIZIONE MODALE DELLA MOBILITÀ SISTEMATICA

È stato, quindi, studiato un modello conditional logit in cui la variabile dipendente è una variabile binaria avente valore 1 se l'intervistato ha dichiarato che, nel caso in cui non avesse un'auto privata ma fosse disponibile un servizio di carsharing, utilizzerebbe il carsharing per gli spostamenti casa lavoro (almeno uno spostamento casa lavoro nell'arco di una settimana) e zero in caso contrario. Per stimare il modello sono state escluse tutte le osservazioni anomale⁵ e tutte le osservazioni raccolte da individui che non

⁵ individui che non studiano e non lavorano ma dichiarano di fare spostamenti casa-lavoro/studi

effettuano spostamenti casa lavoro (o casa studio): pensionati, casalinghe, disoccupati. Le osservazioni, infatti, si sono ridotte da 1276 (campione completo) a 1125.

La base dati è stata costruita replicando l'osservazione raccolta ed aggiungendo una colonna in cui è stato indicato il nome delle alternative: 1 per l'alternativa di non utilizzo del carsharing e 2 per l'alternativa che prevede l'utilizzo del carsharing. Le funzioni di utilità sono state specificate come segue: la funzione di utilità del non utilizzo del carsharing contiene solo la costante, la funzione di utilità dell'utilizzo del carsharing contiene tutte le altre variabili. I parametri, perciò, sono da interpretarsi come segue: la costante indica la propensione a non utilizzare il carsharing a parità di tutto il resto, mentre gli altri parametri indicano l'effetto che ogni variabile inclusa nel modello produce sulla propensione all'uso del carsharing (a parità di tutto il resto). La significatività statistica del modello non è particolarmente soddisfacente: Rho^2 aggiustato pari a 5,5, ma è tutto sommato accettabile considerando che le variabili esplicative della scelta modale che sono state utilizzate descrivono solo le caratteristiche dell'individuo e non le caratteristiche delle modalità di trasporto fra cui l'individuo può scegliere.

Tavola 6 – Determinanti socio-economiche dell'uso carsharing per gli spostamenti casa-lavoro/studio

	Coeff.	Std.Err.	t-ratio	P-value
One	1.66	0.29	5.75	0.00
Città: 20k-50k abitanti (dummy)	-0.77	0.20	-3.93	0.00
N. viaggi sistematici: "11-20"	0.36	0.17	2.11	0.03
Km. viaggi sistematici: "1-25"	-0.97	0.19	-5.08	0.00
Conoscenza carsharing (ordinale 1 – 5)	0.12	0.06	2.04	0.04
Studente (dummy)	0.40	0.16	2.47	0.01
N. pers. con patente di guida	0.13	0.08	1.75	0.08
N. minorenni	0.20	0.1	2.02	0.04
McFadden Pseudo R-squared	0.06			
N. osservazioni	1125			

Tutti i parametri sono statisticamente significativi ed hanno il segno atteso.

Si registra in particolare un effetto negativo sulla disponibilità al utilizzare il carsharing per gli spostamenti casa-lavoro/studio per chi vive in città di dimensioni medio-piccole (variabile dummy pari ad 1 per residenti in paesi con un numero di abitanti compreso nell'intervallo 20.000-50.000) e per chi effettua viaggi casa lavoro brevi (inferiori ai 25 km).

Si stima, invece, un impatto positivo sulla propensione all'uso del carsharing in relazione al livello di conoscenza del carsharing (variabile discreta da 1 a 5). La propensione all'uso del carsharing, inoltre, è tanto maggiore quanto più frequenti sono gli spostamenti per ragioni di studio o di lavoro effettuati dall'individuo nell'arco della settimana (variabile dummy pari ad uno per un numero di spostamenti compreso fra 11 e 20), quanto maggiore è il numero di individui appartenenti al nucleo familiare in possesso della patente di guida, per chi ha figli con meno di 18 anni (variabile continua, quindi l'effetto negativo è tanto maggiore quanto più numerosi sono i figli minorenni) e per gli studenti.

5.3 VARIAZIONE IPOTETICA DELLA RIPARTIZIONE MODALE DELLA MOBILITÀ NON SISTEMATICA

È stato studiato un modello conditional logit in cui la variabile dipendente è una variabile binaria avente valore 1 se l'intervistato nello scenario ipotetico ha dichiarato che utilizzerebbe il carsharing per il tem-

po libero (almeno uno spostamento nel tempo libero verrebbe effettuato usando il C carsharing S) e zero in caso contrario. Per stimare il modello sono state utilizzate tutte le osservazioni raccolte tranne 5 per le quali mancava il dato sullo stato occupazionale, per un totale di 1271 dati.

Anche in questo caso la base dati è stata costruita replicando l'osservazione raccolta ed aggiungendo una colonna in cui è stato indicato il nome delle alternative: 1 per l'alternativa di non utilizzo del carsharing e 2 per l'alternativa che prevede l'utilizzo del carsharing. Le funzioni di utilità sono state specificate come descritto nella precedente sezioni: la funzione di utilità del non utilizzo del carsharing contiene solo la costante, la funzione di utilità dell'utilizzo del carsharing contiene tutte le altre variabili. Anche in questo caso, quindi, i parametri sono da interpretarsi come segue: la costante indica la propensione a non utilizzare il carsharing a parità di tutto il resto, mentre gli altri parametri indicano l'effetto che ogni variabile inclusa nel modello produce sulla propensione all'uso del carsharing (a parità di tutto il resto). La significatività statistica del modello è accettabile: Rho^2 aggiustato pari a 11,49.

Tavola 7 – Determinanti socio-economiche dell'uso carsharing per gli spostamenti non sistematici

	Coeff.	Std.Err.	t-ratio	P-value
One	2.7	0.47	5.7	0
Età: "30-60 anni" (dummy)	-0.59	0.2	-2.94	0
Età: ">60 anni" (dummy)	-1.46	0.4	-3.62	0
Città: Trieste (dummy)	0.1	0.07	1.54	0.12
Studente (dummy)	0.6	0.37	1.63	0.1
Occupato (dummy)	0.53	0.33	1.62	0.1
Sensibilità ambientale (ordinale 1 – 5)	0.21	0.06	3.33	0
N. viaggi non sistematici <6 (dummy)	-0.29	0.15	-1.9	0.06
Distanza percorsa: "26-50 km" (dummy)	0.67	0.2	3.29	0
Distanza percorsa: "51-100 km" (dummy)	1.15	0.2	5.86	0
Distanza percorsa: "101-200 km" (dummy)	1.19	0.21	5.62	0
Distanza percorsa: ">200 km" (dummy)	1.29	0.23	5.72	0
Conoscenza carsharing (ordinale 1 – 5)	0.23	0.05	4.48	0
McFadden Pseudo R-squared	0.12			
N. osservazioni	1271			

Tutti i parametri sono statisticamente significativi ed hanno il segno atteso.

Si registra in particolare un effetto negativo sulla propensione all'uso del carsharing per gli spostamenti non sistematici per chi è meno giovane (variabili binarie pari ad 1 nel caso di un'età compresa fra 30 e 60 anni e di un'età superiore ai 60 anni) e per chi effettua meno di 6 spostamenti alla settimana nel tempo libero (dummy).

Si stima, invece, un impatto positivo sulla propensione all'uso del carsharing per chi vive a Trieste⁶, ovvero in una realtà urbana di dimensioni grandi, meglio servita dai servizi di trasporto pubblico e con maggiori difficoltà di parcheggio, per chi studia o lavora (variabili dummy), in relazione al livello di sensibilità per le problematiche ambientali (variabile discreta da 1 a 5) ed al livello di conoscenza del

⁶ Anche se la significatività statistica di questo coefficiente è la più bassa fra quelle stimate

CS (variabile discreta da 1 a 5). La propensione all'uso del carsharing, inoltre, è tanto maggiore quanto maggiore è la distanza da coprire nei viaggi effettuati nel tempo libero (variabili dummy per ciascuna classe di distanza: 26-50 km; 51-100 km; 101-200 km; >200 km).

5.4 PROBABILITÀ DI SOSTITUZIONE DELL'AUTO PRIVATA CON IL CARSHARING

I dati relativi alla mobilità settimanale di ogni individuo hanno permesso di calcolare il costo generalizzato degli spostamenti effettuati con le modalità disponibili al momento dell'intervista ed il costo generalizzato degli spostamenti nel caso in cui l'auto non fosse più disponibile ed esistesse invece un servizio di carsharing. Sulla base del confronto del valore del costo degli spostamenti nei due scenari alternativi è stato possibile calcolare la probabilità con cui il carsharing verrebbe utilizzato per almeno uno spostamento (indipendentemente se sistematico o non sistematico). Per stimare il modello logit ordinale di cui si riporta la probabilità di scelta del carsharing, che rappresenta la variabile dipendente, è stata espressa in cinque classi: "classe 0" se l'individuo ha dichiarato che non utilizzerebbe mai il carsharing, "classe 1" se la probabilità stimata di utilizzare il carsharing è compresa fra 0 e 25%, "classe 2" se la probabilità stimata è compresa fra il 26% ed il 50%, "classe 3" se la probabilità stimata è compresa fra il 51% ed il 75%, "classe 4" se la probabilità stimata è maggiore del 75%.

Tavola 8 – Logit ordinale della probabilità stimata di utilizzare il carsharing

	Coeff.	Std.Err.	t-ratio	P-value
One	-1.55	0.28	-5.52	0.00
Età: "30-60 anni" (dummy)	-0.60	0.13	-4.76	0.00
Età: ">60 anni" (dummy)	-2.02	0.32	-6.36	0.00
N. minorenni	0.13	0.08	1.58	0.11
N. auto/N. pers. con patente	0.74	0.21	3.52	0.00
Città: Trieste (dummy)	0.26	0.12	2.20	0.03
Sensibilità ambientale (ordinale 1 – 5)	0.18	0.06	3.21	0.00
Conoscenza carsharing (ordinale 1 – 5)	0.24	0.05	5.37	0.00
Mu(1)	1.19	0.06	20.03	0.00
Mu(2)	2.97	0.12	25.14	0.00
Mu(3)	4.20	0.21	20.03	0.00
McFadden Pseudo R-squared	0.04			
N. osservazioni	1175			

La significatività statistica del modello non è particolarmente soddisfacente: Rho^2 aggiustato pari a 4, ma è accettabile considerando che le variabili esplicative che sono state utilizzate descrivono le caratteristiche dell'individuo e non le caratteristiche delle modalità di trasporto fra cui l'individuo può scegliere e che la variabile dipendente è a sua volta un valore stimato con un modello simulativo e non con un modello basato su scelte ipotetiche dichiarate fra modalità di trasporto alternative descritte in modo dettagliato. Alcune variabili socio-economiche molto rilevanti ai fini della scelta modale, inoltre, fra cui il numero di spostamenti e il valore della distanza percorsa, non sono state incluse nel modello perché

già utilizzate nel modello simulativo della probabilità di scelta. Tutti i parametri studiati, comunque, sono statisticamente significativi ed hanno il segno atteso. Il modello predice l'effetto che ogni variabile studiata produce sulla probabilità che il campione abbia una probabilità d'uso del carsharing compresa fra 0 e 1, come illustrato nella Tavola 9.

Tavola 9 – Determinanti socio-economiche della probabilità d'uso del carsharing

	Probabilità di usare il carsharing				
	0 (nessuna)	0% - 25%	26% - 50%	51% - 75%	76% - 100%
Età: "30-60 anni" (dummy)	0.15	-0.04	-0.08	-0.02	-0.01
Età: ">60 anni" (dummy)	0.42	-0.19	-0.18	-0.04	-0.02
N. minorenni	-0.03	0.01	0.02	0.00	0.00
N. auto/N. pers. con patente	-0.18	0.05	0.10	0.03	0.01
Città: Trieste (dummy)	-0.06	0.01	0.04	0.01	0.00
Sensibilità ambientale (ordinale 1 – 5)	-0.04	0.01	0.02	0.01	0.00
Conoscenza carsharing (ordinale 1 – 5)	-0.06	0.01	0.03	0.01	0.00

Si registra un effetto negativo sulla probabilità d'uso del carsharing all'aumentare dell'età dell'intervistato (espressa con due variabili dummy aventi valore pari ad 1 per un'età, rispettivamente, compresa fra 30 e 60 anni e per un'età maggiore di 60 anni). Vi è, invece, un impatto positivo sulla probabilità d'uso del carsharing se nel nucleo familiare ci sono minorenni, all'aumentare del rapporto fra numero di auto possedute e numero di patenti (indicativo della dipendenza della mobilità familiare dall'automobile) e se si tratta di individui che vivono in una città di grandi dimensioni (variabile dummy avente valore pari ad 1 nel caso si tratti di residenti nella città di Trieste). Anche la sensibilità ambientale ed il grado di conoscenza del servizio di carsharing hanno un impatto positivo sulla probabilità d'uso di questa modalità di trasporto.

Per validare i risultati ottenuti con il modello di stima della probabilità d'uso del carsharing, il modello logit ordinale è stato ristimato includendo fra le variabili esplicative la disponibilità ad utilizzare il servizio di carsharing dichiarata da ogni intervistato con un valore compreso fra 1 (non lo utilizzerei in nessun caso) e 5 (lo utilizzerei sicuramente). Le stime ottenute, riportate nella Tavola 10, confermano la forte correlazione positiva esistente fra la probabilità stimata e la disponibilità dichiarata. Si noti, per altro, il significativo miglioramento della bontà statistica del modello il cui Rho^2 aggiustato aumenta da 4 a 7. Il test di validazione interna del modello di probabilità di scelta del carsharing può quindi dirsi superato.

Tavola 10 – Logit ordinale della probabilità stimata di utilizzare il carsharing, validazione interna

	Coeff.	Std.Err.	t-ratio	P-value
One	-2.06	0.29	-7.07	0
Età: "30-60 anni" (dummy)	-0.36	0.13	-2.74	0.01
Età: ">60 anni" (dummy)	-1.59	0.32	-4.93	0
N. minorenni	0.12	0.08	1.43	0.15
N. auto/N. pers. con patente	0.96	0.21	4.5	0

Città: Trieste (dummy)	0.11	0.12	0.91	0.36
Sensibilità ambientale (ordinale 1 – 5)	0.05	0.06	0.78	0.43
Conoscenza carsharing (ordinale 1 – 5)	0.17	0.05	3.56	0
Disponibilità uso carsharing (ordinale 1 – 5)	0.44	0.05	8.88	0
Mu(1)	1.26	0.06	20.24	0
Mu(2)	3.09	0.12	25.76	0
Mu(3)	4.33	0.21	20.55	0
McFadden Pseudo R-squared	0.07			
N. osservazioni	1175			

6. CONCLUSIONI

La domanda di carsharing ha registrato un notevole incremento in Italia, in particolare nelle metropoli di dimensioni grandi, ove la varietà dell'offerta del servizio e la densità di servizi di trasporto pubblico complementari al carsharing garantiscono all'utenza tempi di accesso ai veicoli inferiori, probabilità di trovare un veicolo nel luogo e nel momento richiesto più alta e risparmi sostanziali dei tempi e dei costi del parcheggio. L'obiettivo del presente lavoro è stato verificare se ed in quale misura esista una domanda latente per questo tipo di servizio anche in una regione poco densamente abitata e caratterizzata da città di dimensioni medio-piccole come il Friuli Venezia Giulia.

A tale scopo è stata condotta un'indagine su un campione di 1276 persone maggiorenni residenti nella regione Friuli Venezia Giulia. L'analisi dei dati raccolti ha permesso di stimare quattro indicatori della domanda potenziale di carsharing qualora il servizio fosse reso disponibile nel luogo di residenza degli intervistati. Tale domanda varia da un minimo pari al 6% del campione (che rappresenta la percentuale degli individui intervistati con una probabilità di scelta maggiore del 50%, valore stimato sulla base del confronto del costo generalizzato del trasporto senza e con carsharing) ad un massimo pari al 28% (che rappresenta la percentuale degli individui intervistati che ha dichiarato che utilizzerebbe il carsharing per almeno uno spostamento nel tempo libero se l'auto privata non fosse più disponibile). I risultati ottenuti non sono direttamente confrontabili con quelli riportati in letteratura, che si riferiscono ad ambiti territoriali molto più circoscritti e densamente abitati rispetto a quello da noi studiato, ma sono indicativi di una domanda potenziale inespressa che potrebbe giustificare l'offerta di questo tipo di servizio se non altro in alcuni ambiti del territorio regionale.

L'analisi delle caratteristiche socio-economiche della domanda potenziale ha permesso, poi, di evidenziare i fattori che influenzano maggiormente la scelta di questa modalità di trasporto, come sintetizzato nella Tavola 11.

Il fattore che sembra condizionare in modo più rilevante la scelta del carsharing è il grado di conoscenza di questo nuovo tipo di servizio. Indipendentemente dall'indicatore usato per misurare la domanda potenziale e dalla specificazione del modello utilizzato per individuare le determinanti della domanda, la disponibilità ad optare per il carsharing in alternativa all'auto privata aumenta all'aumentare del livello di conoscenza dello stesso. Il risultato è in linea con buona parte degli studi che analizzano i fattori determinanti la domanda di carsharing sia per i servizi già esistenti (Loose, 2010; Kim et al., 2015; Lang, 2015), sia per quelli non ancora in essere (Zheng et al., 2009; Efthymiou e Antoniou, 2013).

Anche la sensibilità ambientale rappresenta un elemento che influenza in modo rilevante la propensione all'uso del carsharing, a conferma dei risultati riportati nella letteratura relativa alla domanda esistente (Burkhardt e Millard-Ball, 2006; Loose, 2010; Costain et al., 2012; Kim et al., 2015; Lang, 2015) ed a quella potenziale (Zheng et al., 2009; Efthymiou e Antoniou, 2014). Si ritiene, quindi, che

iniziative volte alla promozione ed alla descrizione delle caratteristiche del servizio (fiere, convegni, info-point presso nodi centrali della rete dei trasporti come le stazioni dei treni o gli aeroporti, ecc.), se non alla prova vera e propria del servizio attraverso una flotta messa temporaneamente a disposizione presso i centri urbani generatori ed attrattori di traffico (università, ospedali, centri commerciali, stazioni, aeroporti), aumenterebbero la disponibilità ad utilizzare questa modalità di trasporto in alternativa o in modo complementare all'uso dell'auto privata.

Tavola 11 – Sintesi dell’impatto delle determinanti socio-economiche sulla domanda potenziale di carsharing

	Disponibilità uso CS	Uso CS mobilità sistematica	Uso CS mobilità non sistematica	Probabilità uso CS
Età	Neg.		Neg.	Neg.
Status	Pensionato (-)	Studente (+)	Studente (+)	
	Disoccupato (+)		Disoccupato (+)	
N. minorenni		Pos.		Pos.
N. patente		Pos.		
N. auto/N. pers. con patente				Pos.
Sensibilità ambientale	Pos.		Pos.	Pos.
Conoscenza carsharing	Pos.	Pos.	Pos.	Pos.
N. viaggi	Pos.	10-20 (+)	Pos.	
Distanza percorsa		>25km (+)		
Dimensione città	Medie 20k-50k (-)	Medie 20k-50k (-)	Grande (+)	Grande (+)

Anche le caratteristiche socio-economiche degli individui giocano un ruolo rilevante, prima fra tutte l'età, all'aumentare dell'età, infatti, diminuisce la propensione all'uso del carsharing, così come riscontrato nella quasi totalità della letteratura relativa all'analisi della domanda sia attuale che potenziale.

Per quanto attiene allo status ed al tipo di attività svolta dall'individuo, invece, i nostri risultati si discostano da quelli generalmente riportati in letteratura. Dalle nostre analisi, infatti, emerge come gli studenti sarebbero i più propensi all'uso del carsharing. La differenza, comunque, si spiegherebbe, con le maggiori riduzioni delle tariffe del trasporto pubblico garantite agli studenti nei contesti geografici presi in esame dagli altri studi (soprattutto negli USA ed in Canada), come del resto sottolineato da Zheng et al. (2009).

La composizione del nucleo familiare, in particolare la presenza di minorenni, ed un pattern di mobilità della famiglia con forte dipendenza dal mezzo privato, inoltre, si accompagnano, secondo le nostre analisi, ad una maggiore propensione all'uso del carsharing. Anche sotto questo punto di vista i nostri risultati non sono del tutto in linea con quanto riportato in letteratura, ad eccezione di Mariotti et al. (2013) e Kim et al. (2015), che giustifica quanto ottenuto, da un lato, in virtù della maggiore propensione di chi normalmente guida la propria auto a utilizzare una modalità di trasporto che, per quanto nuova, preveda la guida di un autoveicolo, e dall'altro con il vantaggio di cui godono gli utenti del carsharing rispetto a chi utilizza la propria autovettura di poter parcheggiare gratuitamente in centro città e di accedere alle zone a traffico limitato o alle corsie preferenziali.

Anche le caratteristiche della mobilità individuale gioca un ruolo rilevante nella determinazione della domanda potenziale che, infatti, è maggiore per gli spostamenti non sistematici, come del resto già evidenziato da molti studi (Zhou et al., 2008; Costain et al. 2012; Kim et al., 2015), quando la frequenza degli spostamenti è maggiore e la distanza percorsa è sufficientemente lunga.

Esistono, dunque, più segmenti in cui si declina la domanda potenziale del servizio di carsharing, come del resto già dimostrato per altri contesti territoriali da Shaheen et al. (2006) In questo senso una tariffazione differenziata del servizio ed una modalità di offerta declinata in funzione delle specifiche caratteristiche del segmento considerato permetterebbe una maggiore e più rapida diffusione dell'uso del carsharing. Si tratta, in realtà, di una strategia già utilizzata dai providers storici del carsharing che sono passati da un servizio back and forward, ad uno point-to-point, al molto più flessibile free floating sempre più diffuso fra gli operatori del settore. Si ritiene, infatti, che sia stato proprio questa maggiore flessibilità d'uso del mezzo condiviso a dare slancio al settore dal lato della domanda, con tassi di crescita a due cifre. Sulla scorta di questa esperienza e proprio per assecondare meglio le esigenze dell'utenza, alcuni nuovi providers, come Share'nGo, hanno, inoltre, adottato una strategia di discriminazione delle tariffe estremamente sofisticata, tenendo conto del genere, del livello di reddito, dello status dell'individuo (studente, madre di figli minorenni, ecc.), della composizione del nucleo familiare, della caratteristiche della mobilità dell'individuo (frequenza, distanze, luoghi di origine e destinazione dello spostamento, finestra oraria in cui si svolge lo spostamento)⁷. Pare quindi che chi gestisce l'offerta di carsharing sia sempre più consapevole delle caratteristiche e delle esigenze della domanda potenziale e che sappia mettere a frutto con successo la conoscenza delle preferenze dei diversi segmenti che la compongono.

Infine, la dimensione della città di residenza è positivamente correlata alla propensione all'uso del carsharing. All'aumentare della dimensione del luogo di residenza, infatti, aumenta da un lato la possibilità di utilizzare altre modalità di trasporto pubblico complementari rispetto al carsharing, e dall'altro diventano più rilevanti alcuni vantaggi derivanti dall'uso del carsharing nei centri urbani fra cui la riduzione del costo e del tempo necessario per trovare un parcheggio e la possibilità di utilizzare corsie preferenziali che riducono i tempi di viaggio all'interno del perimetro urbano. Anche se, come sottolineato da Martin e Shaheen (2011), "although carsharing has gained prominence through growth in large cities, the basic ingredients for success exist in smaller cities too ... such as Madison, Wisconsin and Victoria, British Columbia".

In realtà, come evidenziato dall'andamento dei dati sul numero di utenti di carsharing nella città di Milano, la domanda è notevolmente influenzata anche dalle caratteristiche dell'offerta del servizio. Gli incrementi più rilevanti si sono, infatti, registrati quando il servizio è stato trasformato da return, a point to point, a free floating, quando è stato esteso ai comuni limitrofi, quando è aumentato il numero di operatori che offrivano il servizio e quindi è aumentato anche il numero di veicoli a disposizione dell'utenza, tanto che non è più un'eccezione la sottoscrizione a più di un servizio di carsharing al fine di minimizzare il rischio di non trovare un'auto da noleggiare nel momento e nel luogo desiderato.

Anche le politiche di gestione del traffico urbano giocano un ruolo rilevante nell'incentivazione all'uso di questa modalità di trasporto. La possibilità di parcheggiare gratuitamente nelle aree di sosta collocate nelle ZTL, o di transitare nelle corsie preferenziali viceversa dedicate al trasporto pubblico, o di accedere alle ZTL se a bordo del mezzo condiviso aumentano notevolmente l'attrattiva del carsharing. Non trascurabile, inoltre, è l'effetto della tariffa annuale richiesta dal comune per ciascuna auto messa a disposizione dell'operatore, all'aumentare della quale aumentano le tariffe richieste all'utenza e diventa più critica la sostenibilità finanziaria del servizio.

Come emerge dai risultati dell'indagine condotta in Friuli Venezia Giulia, il trasporto pubblico locale rappresenta una modalità di trasporto complementare e non trascurabile per l'utenza del carsharing. Un'adeguata offerta di servizi di trasporto pubblico costituisce, perciò, una condizione necessaria affinché la domanda potenziale si traduca in domanda reale.

È, da ultimo, più probabile che la domanda potenziale si concretizzi in domanda reale se il servizio venisse offerto nei contesti urbani più densamente abitati e caratterizzati da una maggiore concentrazione di attività commerciali, produttive e del terziario avanzato.

⁷ <http://www.sharengo.it>

Riferimenti bibliografici

- BURKHARDT, J., MILLARD-BALL, A. (2006), "Who is attracted to carsharing?", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1986), 98-105.
- COLL, M. H., VANDERSMISSEN, M. H., THÉRIAULT, M. (2014), "Modeling spatio-temporal diffusion of carsharing membership in Québec City", *Journal of Transport Geography*, 38, 22-37.
- COSTAIN, C., ARDRON, C., HABIB, K. N. (2012), "Synopsis of users' behaviour of a carsharing program: a case study in Toronto", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(3), 421-434.
- DANIELIS, R., ROTARIS, L. (in pubblicazione), *In search of potential markets for carsharing services*.
- DE LUCA, S., DI PACE, R. (2015), "Modelling users' behaviour in inter-urban carsharing program: A stated preference approach", *Transportation research part A: policy and practice*, 71, 59-76.
- DOUMA, F., ANDREW, J. (2006), "Developing a Model for Car Sharing Potential in Twin Cities Neighborhoods", *Transportation Research Board 85th Annual Meeting* (No. 06-2449).
- EFTHYMIU, D., ANTONIOU, C. (2014), "Modeling the propensity to join carsharing using hybrid choice and latent variable models 2 and mixed internet/paper survey data, *Transportation Research Board 93rd Annual Meeting* (No. 14-2512).
- FERRERO, F., PERBOLI, G., VESCO, A., CAIATI, V., GOBBATO, L. (2015), "Car-Sharing Services – Part A Taxonomy and Annotated Review", submitted to *International Journal of Sustainable Transportation*.
- HABIB, K. M. N., MORENCY, C., ISLAM, M. T., GRASSET, V. (2012), "Modelling users' behaviour of a carsharing program: Application of a joint hazard and zero inflated dynamic ordered probability model", *Transportation research part A: policy and practice*, 46(2), 241-254.
- JORGE, D., CORREIA, G. (2013), "Carsharing systems demand estimation and defined operations: a literature review", *EJTIR*, 13(3), 201-220.
- KIM, D., KO, J., PARK, Y. (2015), "Factors affecting electric vehicle sharing program participants' attitudes about car ownership and program participation", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 36, 96-106.
- LANG, R. (2015), *Towards sustainable transport: A comparison of demographic and behavioural characteristics of Finnish and international car sharing users*, <https://doria32-kk.lib.helsinki.fi/handle/10024/104307>
- LOOSE, W. (2010), *The state of European car-sharing*, Project Momo Final Report D 2.4 Work Package 2.
- MARIOTTI, I., BERIA, P., LAURINO, A. (2013), "Car sharing peer-to-peer: un'analisi empirica sulla città di Milano", *Rivista di Economia e Politica dei Trasporti*, 3, articolo 5, ISSN 2282-6599.

- MARTIN, E., SHAHEEN, S. (2011), “The impact of carsharing on public transit and non-motorized travel: an exploration of North American carsharing survey data”, *Energies*, 4(11), 2094-2114.
- SHAHEEN, S., COHEN, A., ROBERTS, J. (2006), “Carsharing in North America: Market Growth, Current Developments, and Future Potential”, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1986, 116-124.
- SIOUI, L., MORENCY, C., TRÉPANIÉ, M., VIVIANI, M., ROBERT, B. (2010), *How carsharing affects the travel behaviours of households?*, Paper presented at the 12th WCTR, July 11-15, 2010 – Lisbon, Portugal.
- TRANSIT COOPERATIVE RESEARCH PROGRAM (2005), *Carsharing: How and where it 35 succeeds*, Project B-26, Transit Cooperative Research Program, Federal Transit Administration, Washington D.C., July 2005.
- ZHENG, J., SCOTT, M., RODRIGUEZ, M., SIERZCHULA, W., PLATZ, D., GUO, J., ADAMS, T. (2009), “Car-sharing in a university community: Assessing potential demand and distinct market characteristics”, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2110), 18-26.
- ZHOU, B., KOCKELMAN, K. M. (2011), Opportunities for and impacts of carsharing: A survey of the Austin, Texas market. *International Journal of Sustainable Transportation*, 5(3), 135-152.

Abstracts

ROMEO DANIELIS

La diffusione dell'auto elettrica

The market penetration of the electric car

Riassunto

L'automobile elettrica rappresenta un interessante caso dal punto di vista dell'economia industriale e della storia dei trasporti e della tecnologia. Si tratta di una forma di alimentazione delle vetture che è già stata storicamente sperimentata verso la fine del XIX secolo, per ripresentarsi quindi meno di un decennio fa. Riuscirà ora l'automobile elettrica a diffondersi e a conquistare un ruolo nel mercato delle automobili? O diventerà addirittura la forma di alimentazione dominante come sognano i suoi sostenitori? Questo capitolo introduttivo vuole fare il punto sulle recenti tendenze del mercato automobilistico a livello mondiale, dominato dalle automobili a motore termico. Si scopre quindi che anche l'automobile elettrica, come molte altre innovazioni che cambiano la vita delle persone, è un prodotto sociale, nel senso più ampio del termine.

Parole chiave

Auto elettrica, auto convenzionale, innovazione radicale, economia industrial, economia dei trasporti

Abstract

The electric car is an interesting topic from the point of view of industrial economics and of the history of transport and technology. It applies to cars a type of energy that was already experimented towards the end of the XIX century, to be substituted by fossil fuels and to be used again less than 10 years ago. Could the electric car achieve a significant market share? Could it even become the dominant car type? This chapter aims at illustrating the recent market trends at global level, dominated nowadays by fossil fuel-based cars. It comes out that the electric car, as many other innovations that change people's life, is a social product.

Key Words

Electric car, conventional car, industrial economics, transport economics

Il costo privato e sociale dell'auto elettrica: un confronto tra modelli appartenenti a diversi segmenti di mercato

The private and social cost of the electric car: a comparison between models of different car market segments

Riassunto

La direttiva CE n.443/ 2009 ha costretto i produttori di automobili a produrre veicoli elettrici ibridi (HEV), veicoli elettrici ibridi plug-in (PHEVs) e veicoli ad autonomia interamente elettrica (EV) per il mercato automobilistico italiano. Questo lavoro si propone di valutare la sostenibilità economica di queste motorizzazioni "alternative" tramite un modello di supporto alle decisioni (DSM). Un caso di studio riporta i costi privati e sociali stimati per 39 modelli di auto appartenenti a diversi segmenti presenti nel mercato italiano. L'analisi dei costi privati evidenzia che HEV a benzina, HEV a diesel, PHEV e EV non sono ancora competitivi rispetto alle motorizzazioni "convenzionali": gli EV rappresentano la soluzione ottimale solo nel caso di abitudini di mobilità intensive (10 anni di utilizzo e più di 20.000 km all'anno). I risultati dello studio sono in linea con le quote di mercato italiane del 1,6% per l'HEV e il 0,1% per i veicoli elettrici nei primi 10 mesi del 2015. L'analisi dei costi sociali relativi all'intero ciclo di vita del carburante (valutazione dal pozzo alla ruota) evidenzia che l'erogazione di sovvenzioni da parte della Pubblica Amministrazione è giustificata per HEV a benzina, HEV a diesel, PHEV e EV in misura pari ai benefici in termini di costo sociale rispetto alle automobili "convenzionali". Le stime mostrano che i veicoli elettrici hanno il più alto potenziale di riduzione delle emissioni di inquinanti atmosferici globali e locali e del rumore: i risparmi in termini di costo sociale variano da 595€ a 2.976€ rispetto alle automobili a benzina e tra i 483€ a 2.417€ rispetto alle automobili diesel, a seconda del modello di mobilità (5.000 - 25.000 km/anno, 10 anni di utilizzo).

Parole chiave

Total Cost of Ownership; Costo del ciclo di vita sociale; Modello di supporto alle decisioni; Veicoli elettrici

Abstract

The Directive CE n.443/2009 has forced car manufacturers to supply Hybrid Electric Vehicles (HEVs), Plug-in Hybrid Electric Vehicles (PHEVs) and Electric Vehicles (EVs) in the Italian car market. This paper aims to estimate the economical sustainability of these "alternative" powertrains by a Decision Support Model (DSM) approach. A case study reports the DSM private and social costs estimations for 39 car models belonging to different Italian market segments. The private cost assessment evidences that gasoline HEVs, diesel HEVs, PHEVs and EVs are still not competitive with "conventional" powertrains: EVs are the optimal solution only in the case of intensive mobility patterns (10 years of use and more than 20,000 kilometres per year driven). The study results are in line with the Italian market shares of 1.6% for the HEVs and the 0.1% for the EVs in the first 10 months of 2015.

The social sustainability assessment on a fuel lifecycle basis (Well-to-Wheels assessment) evidences that a Public Authority's subsidy should be justified for gasoline HEVs, diesel HEVs, PHEVs and EVs in an amount equal to the social cost difference in respect to the gasoline and diesel ones. The DSM estimations show that EVs have the highest potential in reducing global and local air pollutants emissions and noise: the social cost benefits range between 595€ to 2,976€ in respect to gasoline cars while between 483€ to 2,417€ in respect to diesel ones, depending on the mobility pattern (5,000 - 25,000 km/year driven, 10 years of usage).

Key Words

Total Cost of Ownership; Social Lifecycle Cost; Decision Support Model; EVs

Un modello Gerarchico Bayesiano Mixed Logit per l'analisi del comportamento d'acquisto di automobili

Hierarchical Bayes Mixed logit modelling for purchase car behaviour

Riassunto

Il presente lavoro analizza il comportamento d'acquisto di automobili a carburanti tradizionali e alternativi, utilizzando dati italiani di preferenze di scelta dichiarate. Proponiamo un modello Gerarchico Bayesiano Mixed Logit (HBML) flessibile che ci permette di tener conto delle possibili dipendenze dei parametri casuali relativi agli attributi delle automobili testate alle caratteristiche individuali, quali età e genere. Inoltre, il modello proposto consente di aggiungere facilmente parametri specifici dell'alternativa e correlazione tra le alternative. Abbiamo effettuato una rassegna della letteratura sulla scelta d'acquisto di veicoli, selezionando in particolare le applicazioni di modelli a scelta discreta in cui è stato adottato un approccio bayesiano. Essa rivela che il nostro studio sembra essere la prima applicazione di modelli HBML che analizzano questo tipo di scelte. Inoltre, al fine di approssimare la distribuzione congiunta a posteriori dei parametri e gli iper-parametri del modello, in questo lavoro viene utilizzato il più efficiente campionatore Monte Carlo Hamiltoniano, invece di uno dei più tradizionali metodi Markov Chain Monte Carlo (MCMC) come ad esempio il campionatore di Gibbs. I risultati dei modelli dimostrano l'utilità del metodo proposto.

Parole chiave

Modellazione bayesiana; preferenza d'acquisto di automobili; scelta discreta

Abstract

This paper analyses the purchase behaviour for conventional and alternative fuel cars, using Italian stated preference discrete choice data. We propose a flexible Hierarchical Bayesian Mixed Logit (HBML) model that permit us to take into account of possible dependences of the car attribute random parameters on individual characteristics, like age and gender. Moreover, alternative-specific parameters and correlation across alternatives have been easily added to the model. We carried out a survey of the literature on vehicle purchase choice selecting applications of discrete choice models in which a Bayesian approach was adopted. It reveals that our study seems to be the first application of HBML models to analyse this type of stated choices. Moreover, in order to approximate the joint posterior distribution of both the model parameters and hyper-parameters, in this paper we use the most efficient Hamiltonian Monte Carlo sampler, instead of considering the more traditionally Markov Chain Monte Carlo (MCMC) methods as e.g. Gibbs sampler. The modelling results show the usefulness of the proposed method.

Key Words

Bayesian modelling; purchase car preference; discrete choice

ADRIANA MONTE, ROMEO DANIELIS

Mobilità e utilizzo potenziale di automobili elettriche: un'analisi sulla base dei dati censuari per il Friuli Venezia Giulia

Mobility and the potential use of electric cars: an analysis on the basis of census data for the Friuli Venezia Giulia Region

Riassunto

Le caratteristiche dell'auto elettrica e le variabili che incidono sulla sua diffusione sono oggetto di numerosi studi. L'auto elettrica presenta interessanti proprietà dal punto di vista ambientale (emissioni zero durante l'utilizzo e basso rumore), ma alcuni limiti, in particolare il prezzo e l'autonomia delle batterie. In questo articolo si cerca di individuare quale proporzione della mobilità sistematica potrebbe essere svolta con auto elettriche dati gli attuali livelli di autonomia, sulla base delle risultanze dell'ultimo Censimento della popolazione 2011, con riferimento al Friuli Venezia Giulia.

Come è noto in occasione del Censimento vengono rilevate alcune informazioni relative alla mobilità della popolazione per studio e per lavoro tra cui anche il mezzo di trasporto utilizzato e il tempo impiegato. Dai dati censuari non è possibile conoscere il pendolarismo non sistematico (movimento per escursioni o per altre ragioni) e neppure se vengono utilizzati più mezzi di trasporto.

I risultati ottenuti hanno implicazioni rilevanti per valutare la capacità di penetrazione e di utilizzo delle auto elettriche nel Friuli Venezia Giulia e per comprendere che tipo di infrastrutture di ricarica, in luoghi pubblici o nei parcheggi aziendali, sono necessarie per rendere possibile l'utilizzo dell'auto elettrica e per sfruttare i suoi vantaggi in termini di minori emissioni atmosferiche ed acustiche. La possibilità di ragionare a livello territoriale disaggregato, come consentito dai dati censuari, fornisce la base necessaria per la definizione di politiche territoriali adeguate e per l'individuazione di soluzioni mirate alle specifiche realtà locali.

Parole chiave

Auto elettrica, Censimento popolazione, pendolarismo, mobilità

Abstract

The characteristics of the electric car and of the variables affecting its diffusion are the subject of numerous studies. The electric car has interesting properties from the point of view of the environment (zero emissions during use and low noise), but some limits, in particular the price and battery life. This article seeks to identify what proportion of systematic mobility could be carried out with electric cars, given its current levels of autonomy, based on the results of the last Population Census (2011) with regard to Friuli Venezia Giulia. As known, the Census reports the mobility of the population for studying and for working purposes, distinguishing by means of transport used and the travelling time. From Census data it is not possible to know the unsystematic commuting (the mobility for recreation or for other reasons) or if one uses multiple means of transport. The results have important implications for assessing the ability of penetration and use of electric cars in the Friuli Venezia Giulia and to understand what kind of charging infrastructure, in public places or in company parking lots, are needed to make possible the use of electric car and to exploit its advantages in terms of lower emissions and noise. The ability to reason at disaggregated local level, as allowed by Census data, provides the necessary basis for the definition of adequate territorial policies and for identifying solutions aimed at the specific local realities.

Key Words

Electric car, Census, commuting, mobility

JÉRÔME MASSIANI

The elusive foundations of Electric Vehicle supporting policy: a study of claims in the public debate in Italy

Le fondamenta deboli delle politiche a sostegno delle auto elettriche: uno studio sulle conclusioni del dibattito pubblico in Italia

Riassunto

Il dibattito pubblico, in Italia come in altri paesi, presenta i veicoli elettrici come una tecnologia destinata a una diffusione certa sul mercato. Questa asserzione influenza le politiche e favorisce aspettative da parte dei cittadini. In questo contesto, è utile esplorare quanto queste stime sono ragionevoli o devono essere oggetto di dubbi. I nostri risultati dipingono un panorama molto più preoccupante dove il 99% delle affermazioni non sono verificabili (almeno, per una frazione di loro, di pagare gli autori, mettendo le persone interessate di fronte all'alternativa "pagarci o crederci"), mentre la residua frazione appare di debole valore scientifico. I nostri risultati indicano, che, senza un confronto più trasparente e critico, le politiche a supporto dei veicoli elettrici rischiano di basarsi su basi deboli.

Parole chiave

Abstract

The public debate, in Italy as in other countries, presents Electric Vehicles as a technology with good market diffusion potential. This belief influences the policy makers and policy advisors and favors expectations of the general public toward the diffusion of this technology. In this context, it is relevant to explore how much figures present in the public debate are reliable. The purpose of the present article is to check whether these claims just make sense or are subject to doubt. Our finding is much more worrying: 99 % these claims are not even open to scrutiny (unless, for a fraction of them, upon payment formulating the infamous alternative: "trust us or pay us"). The tiny remaining fraction has a poor scientific value. Our finding supports the assumption that, without a more critical and open confrontation, the policies supportive of EV are at risk of being formulated on weak basis.

Key Words

TULLIO GREGORI

Impatto ambientale di auto elettriche turni di produzione

Environmental impact of electric car production shifts

Riassunto

In questo lavoro viene affrontato il tema dell'impatto ambientale di una riduzione della produzione di automobili con motore a combustione interna (ICV) a vantaggio dei veicoli con batteria elettrica (BEV). Questo cambiamento tecnologico è analizzato mediante l'approccio Input Output, che viene esteso alle variabili ambientali. Si tratta di un modello lineare che permette di valutare gli effetti di uno spostamento della produzione di automobili con combustione interna a quelle elettriche. L'analisi riguarda solo il diverso utilizzo degli input produttivi, anche se può essere facilmente estesa per comprendere una composizione diversa della domanda finale e del contenuto degli inquinanti per unità di output. I cambiamenti nelle emissioni e la posizione relativa dell'industria automobilistica sono indagati utilizzando la versione ridotta di Exiobase_1. I risultati dipendono dal mix degli input, ma la variazione totale dell'inquinamento è trascurabile. Nello scenario peggiore, l'impatto è quasi dell'1% per quanto riguarda il policloro bifenile e l'idrocarburo policiclico aromatico, ma è molto più basso per il CO₂ ed i composti organici volatili non metanici. Ricordiamo che l'industria automobilistica sprigiona una gran quantità di quest'ultimo e spostare la produzione sui veicoli elettrici non migliora affatto la situazione. Inoltre, gli input necessari per la produzione di batterie aumentano complessivamente le emissioni, anche se fanno apparire l'industria automobilistica meno inquinante rispetto agli altri settori.

Parole chiave

Auto elettriche, Input Output ambientale, cambiamento tecnico, formula di Morris-Sherman

Abstract

In this paper I tackle the environmental impact of a production shift from internal combustion engine powered cars (ICV) to battery electric vehicles (BEV). This substitution is analysed using the well know framework of Environmentally Extended Input Output models. I propose a very simple approach that allows to assess effects of a gradual technical change in car manufacturing as BEVs substitute ICVs. Final demand and direct emission modifications can be addressed too, but the present analysis focuses on car manufacturing input variations alone. Using the short version of the Exiobase_1 dataset changes in air emissions and the relative position of the car industry are investigated. Results depend on the type of input shifts, but pollution changes are negligible yet. In the worst scenario, impacts are about 1% for polychlorinated biphenyls and polycyclic aromatic hydrocarbon only, and much lower for CO₂ and non-methane volatile organic compounds. Car manufacturing is one of the largest emitter of the latter and shifting to BEV production does not change the picture at all. Nonetheless, more inputs needed to produce batteries increase overall pollution but make car manufacturing appear a lower emitter.

Key Words

Electric car, Environmental Input Output, technical change, Morris-Sherman formula

SAVERIA CAPELLARI

L'auto elettrica come innovazione radicale: alcune riflessioni sulla situazione attuale

The electric car as radical innovation: some thoughts on the current situation

Riassunto

I veicoli elettrici rappresentano un'innovazione particolarmente importante per la società per gli effetti positivi che si stima possano avere sull'ambiente. Questa innovazione assume la natura di un'innovazione radicale o dirompente che, secondo la letteratura, richiede, per diffondersi, condizioni specifiche: in particolare un sistema innovativo più aperto alla collaborazione e in grado di selezionare in modo efficiente la tecnologia migliore tra quelle prodotte dal sistema della ricerca. In questo saggio esaminiamo l'innovazione nel settore automobilistico evidenziando il ruolo dominante ancora giocato da operatori storici e i pochi tentativi di rendere più aperto e cooperativo il sistema innovativo settoriale. Date la forte dinamica sperimentata negli ultimi anni dall'attività di invenzione, i principali ostacoli alla diffusione dei veicoli elettrici sembrano ancora collegati al processo di innovazione e, in particolare, alla difficoltà di selezionare uno standard tecnologico comune.

Parole chiave

Veicoli elettrici, innovazione radicale, innovazione dirompente, settore automobilistico

Abstract

Electric vehicles represent an innovation which is particularly important for the society because of its estimated positive effects on the environment. This innovation assumes the nature of radical or disruptive innovation that, following the literature, requires to become effective, definite conditions, in particular an innovation system more open to collaboration and able to efficiently select the better technology among the inventions produced by the research system. In this paper we look at the innovation in the automotive sector highlighting the dominant role still played by incumbents and the few attempts to make the sector more open and cooperative. Given the strong dynamics of the invention activity experimented in recent years, the main obstacles to the diffusion of electric vehicles seem connected to the innovation process and, in particular, to the problem of reaching a common technological standard.

Key Words

Electric vehicles, radical innovation, disruptive innovation, automotive industry

Un'analisi della sostenibilità della mobilità urbana dei passeggeri nei comuni capoluogo di provincia italiani

A sustainability analysis of urban mobility in the Italian provincial capitals

Riassunto

In questo articolo ci si è chiesti se il trasporto sia diventato più sostenibile o meno nei comuni capoluogo di provincia, nel loro complesso e a livello di singola città. Risulta che, in termini complessivi, molti indicatori a cui attribuiamo una relazione positiva con la sostenibilità sono migliorati. Essi sono: i posti-km offerti dai mezzi di trasporto pubblico, la domanda di trasporto pubblico, il tasso di motorizzazione per le autovetture euro IV e euro V, la densità delle zone a traffico limitato, la disponibilità di aree pedonali, il numero degli stalli di sosta a pagamento, la densità di piste ciclabili, la quota modale di utenti del trasporto pubblico e la quota modale di utenti che si spostano in bicicletta o a piedi. L'unico che è diminuito è "la percentuale di viaggi di durata inferiore ai 15 minuti". Diversi indicatori a cui attribuiamo invece un relazione negativa con la sostenibilità sono diminuiti di valore, ovvero: la densità veicolare, il numero di giorni di superamento del limite per la protezione della salute umana previsto per il PM10, il tasso di incidenti stradali, la quota modale di utenti che utilizzano l'auto come conducente o la motocicletta, ciclomotore, scooter. Fa eccezione l'indicatore "consistenza dei motocicli" che è aumentato. Queste evidenze ci portano a concludere che la mobilità urbana è diventata mediamente più sostenibile in Italia nel decennio 2001-2011. A livello di città, la situazione è molto più variegata: alcune città mostrano miglioramenti significativi della mobilità sostenibile, altre invece sembrano fare dei passi indietro. Una quantificazione del grado di miglioramento si ha contando il numero di indicatori che vanno nella direzione di una maggiore sostenibilità nel decennio 2001-11. Su un totale di 15, nessuna città migliora rispetto a tutti gli indicatori. Il massimo è 13, in quanto la densità di motocicli aumenta in tutte le città, così come diminuisce la quota di viaggi brevi. Le 10 più grandi città italiane sono presenti nella parte alta della classifica, in particolare le grandi città del nord-Italia, con questi valori: Torino (13), Milano (13), Bologna (12), Firenze (11), Roma (11), Bari (10), Genova (9), Napoli (7), Catania (6), Palermo (6). I dettagli sono riportati nell'articolo. Per confrontare le città abbiamo inoltre elaborato un iniziale indicatore sintetico di mobilità sostenibile che ci ha permesso di valutare come è cambiata la loro posizione nel 2011 rispetto al 2001. Concentrandoci nuovamente solo sulle 10 più grandi città italiane, hanno migliorato la loro posizione relativa: Firenze (+47 posizioni), Bari (+22), Bologna (+9), Roma (+9), Torino (+2) e Milano (+1), mentre l'hanno peggiorata Genova (-1), Napoli (-10), Palermo (-18) e Catania (-41).

Parole chiave

Sostenibilità; indicatori, capoluoghi di provincia

Abstract

In this article, the question was raised whether transport has become more sustainable in the provincial capitals. It appears that many indicators to which we attribute a positive relationship with sustainability have improved. They are: the seats-km offered by public transportation, the demand for public transport, the rate of motorization for private cars euro IV and V euro, the density of limited traffic areas, the availability of pedestrian areas, the number of paid parking stalls, the density of cycle lanes, the share of public transport users and the share of users who travel by bicycle or on foot. The only one who fell is "the percentage of trips lasting less than 15 minutes." Several indicators to which we attribute a rather negative relationship with sustainability have declined in value, namely: the vehicular density, the number of days exceeding the limit for the protection of human health set for PM10, the rate of road accidents, the share of users who use their car as a driver. An exception is the indicator "consistency of motorcycles" that has increased. These findings lead us to conclude that urban mobility has become generally more sustainable in Italy in the decade 2001-2011. At the city level, the situation is much more varied: some cities show significant improvement of sustainable mobility, while others seem to take a step back. A quantification of the degree of improvement is provided by counting the number of indicators that go in the direction of greater sustainability in the decade 2001-11. Of a total of 15, no city improved on all indicators. The maximum is 13, since the density of motorcycles increases in all cities and the proportion of short trips. The 10 largest Italian cities are in the top of the standings, especially the big cities of northern Italy, with these values: Torino (13), Milan (13), Bologna (12), Florence (11), Rome (11), Bari (10), Genoa (9), Naples (7), Catania (6), Palermo (6). To compare among cities, we have developed a synthetic indicator of sustainable mobility. By focusing again on only the 10 largest Italian cities, Florence (+47 positions), Bari (+22), Bologna (+9), Rome (+9), Turin (+2) and Milan (+1), have improved their relative position, while Genoa (-1), Naples (-10), Palermo (-18) and Catania (-41) have worsened it.

Key Words

Sustainability; indicators, provincial capitals

Individuazione delle tipologie di pendolari nel Friuli Venezia Giulia

Identifying types of commuters in Friuli Venezia Giulia

Riassunto

Nel presente lavoro si utilizza la matrice del pendolarismo, costruita a partire dai dati censuari, per l'individuazione di tipologie di pendolari a seconda che il motivo dello spostamento sia lo studio o il lavoro distinguendo tra comuni sotto e sopra i 20000 abitanti. La matrice del pendolarismo infatti fornisce informazioni relative ai movimenti giornalieri da e per i comuni di residenza e di lavoro (o studio), considerando i movimenti che prevedono il rientro in giornata all'abitazione di residenza. Il dettaglio territoriale considerato nella matrice (disponibile sul sito dell'Istat) è il comune, all'interno del quale vengono stratificati i pendolari sulla base di alcune variabili rilevanti, che non sono però le sole che possono influenzare e spiegare il pendolarismo.

Al fine dell'identificazione delle tipologie di pendolari si utilizza la *cluster analysis*. La *cluster analysis*, ha l'obiettivo di riconoscere dei gruppi che appaiono con "naturalness" nelle osservazioni e che si caratterizzano per un'elevata omogeneità all'interno dei gruppi stessi e per un'elevata eterogeneità tra di essi. In pratica, partendo dai dati, si vogliono ottenere dei *cluster* distinti di elementi raggruppati in base alla loro distanza o similarità misurata su alcune variabili rilevanti. Tra i diversi metodi si è scelta la *two step cluster analysis* in quanto permette di analizzare una grossa mole di dati e di considerare sia variabili quantitative che qualitative.

Parole chiave

Mobilità, *two step cluster*, lavoro, matrice del pendolarismo

Abstract

This paper uses the matrix of commuting, constructed from Census data, for the identification of types of commuters travelling for study or work, distinguishing between municipalities below and over 20,000 inhabitants. The commuting matrix has information about daily movements to and from town of residence and work (or study). The considered territorial level is the municipality, within which the commuters are stratified on the basis of some relevant variables.

In order to identify the types of commuters the cluster analysis is used. Cluster analysis, aims at recognizing the groups that appear with "naturalness" in the observations and which are characterized by high homogeneity within the groups and high heterogeneity between them. In practice, starting from the data, we want to obtain clusters of elements grouped according to their similarity or distance measured on some relevant variables. Among the different methods, we choose the two-step cluster analysis as it allows to analyze a large amount of data and to consider both quantitative and qualitative variables.

Key Words

Mobility, two step cluster, work, matrix of commuting

LUCIA ROTARIS, ROMEO DANIELIS

I fattori socio-economici che influenzano la scelta del carsharing
The socio-economic factors that influence the choice of carsharing

Riassunto

In Italia si registra una crescente domanda ed offerta di servizi di carsharing. Le città interessate sono soprattutto di grandi dimensioni, fra cui spicca per consistenza tanto della domanda quanto dei servizi offerti la città di Milano. L'obiettivo del presente contributo è capire se c'è una domanda potenziale di carsharing anche in una regione non densamente abitata e caratterizzata da città di medio piccole dimensioni come il Friuli Venezia Giulia ed analizzare quali sono le determinanti socio-economiche di tale domanda.

Un'indagine condotta nel 2014 su un campione di 1276 individui ha permesso di stimare una domanda potenziale variabile dal 6% al 28% del campione intervistato, con valori che variano in funzione dell'indicatore utilizzato per studiare la propensione all'uso del carsharing ed al tipo di mobilità che verrebbe soddisfatta con questo tipo di modalità di trasporto. Le determinanti socio-economiche più importanti sono risultate il grado di conoscenza del servizio di carsharing e la sensibilità per le problematiche ambientali, l'età e lo status degli intervistati, la composizione del nucleo familiare e la dipendenza della mobilità familiare dall'auto privata, la frequenza degli spostamenti sistematici e non, la distanza percorsa, la dimensione della città.

Parole chiave

Carsharing; domanda potenziale; caratteristiche socio-economiche

Abstract

In Italy there is a growing demand and supply of car-sharing services, especially in large cities, among which the city of Milan stands out for the size of the demand and the services offered. The aim of this paper is to understand whether there is a potential demand for car sharing in a region not densely inhabited and characterized by medium-small city such as Friuli Venezia Giulia and to analyze what are the socio-economic determinants of that demand. A survey conducted in 2014 on a sample of 1,276 individuals allowed to estimate a potential demand varying from 6% to 28% of the sample, with values that change according to the indicator of the propensity to use the carsharing service and the type of mobility that would be satisfied with this kind of transport mode. The most important socio-economic determinants were: knowledge of the carsharing service, sensitivity to environmental issues, age and status of the respondents, household composition, dependence of the family mobility pattern from private car, frequency of systematic and not-systematic trips, distance traveled, and size of the city.

Key Words

Carsharing; potential demand; socio-economic characteristics

