

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica (LM-33)



Tesi di Laurea Magistrale

A.A. 2019/2020

**Modelli integrati per la gestione di sistemi
urbani complessi: Scenari di mobilità per il
quartiere di San Salvario**

**Integrated Models for the management of
complex urban systems: Mobility scenarios
for the San Salvario district in Turin**

Relatore:

Marta Carla Bottero

Candidato

Salvatore Pio de Nittis

Correlatori:

Cristina Becchio

Stefano Paolo Corgnati

Indice

ABSTRACT	8
CAPITOLO 1: Definizione di Smart City e aspetti legislativi.....	11
1.1 Formazione UNFCCC (Accordi di Rio) e Conference of Parts	13
1.2 Pacchetto Clima-Energia, Horizon 2020 ed Energy Roadmap 2050	20
1.3 Definizione Domini e Sotto-Domini della Smart City	25
1.4 Variabili di Contesto e influenza sui domini della Smart City.....	31
1.5 Mobility as a service & Internet of Things	34
1.6 Problemi di mobilità per il futuro	37
CAPITOLO 2: Analisi degli Scenari dell'evoluzione del sistema di trasporti in una Smart City	43
2.1 Analisi dell'approccio ST alla mobilità urbana.....	44
2.2 Presentazione di una mappa Socio-Tecnica di una città.....	46
2.3 Percorsi di avvicinamento al 2030.....	53
2.4 Presentazione Business Model & integrazione con la Smart City	62
CAPITOLO 3: Sistema di Trasporti e Autovetture del Futuro	67
3.1 Tecnologia per le Batterie e per i Sistemi di Ricarica	68
3.2 Tendenze e sviluppi dei sistemi a basse emissioni di carbonio	77
3.3 Tesla, la prima azienda mondiale totalmente Elettrica	87
3.4 Analisi del mercato automobilistico europeo	94
CAPITOLO 4: Applicazione del concetto di Smart Mobility al quartiere di San Salvario	111
4.1 Storia del quartiere.....	112
4.2 Presentazione Scenario di Riferimento per il quartiere di San Salvario.....	116
4.3 Presentazione Scenari di Mobilità Futura.....	125
4.3.1 Scenari di Base.....	126
4.3.2 Scenari Combinati.....	128
4.4 Calcolo Emissioni di Inquinanti primari e secondari	132
4.5 Confronto tra gli Scenari "di base" del Quartiere.....	140

CAPITOLO 5: Valutazione delle Alternative di Intervento	148
5.1 Metodologia della Valutazione: l'Analisi Costi-Benefici	149
5.2 Analisi dei Costi e dei Ricavi considerati nell'ACB	157
5.3 Confronto dei Costi e dei Ricavi considerati nell'ACB	159
5.4 Andamento del VAN, TIR e B/C degli Scenari Combinati.....	165
5.5 Analisi di Sensitività.....	169
CAPITOLO 6: Conclusioni.....	180
Bibliografia.....	183
Indice delle Figure.....	195
Indice delle Tabelle	200

ABSTRACT

L'importanza della riduzione dell'inquinamento è da molti anni il centro di accese discussioni in ambito scientifico, politico e sociale. Recentemente, anche grazie alle mobilitazioni del movimento "Friday for Future" guidato da Greta Thunberg, si è arrivati a definire delle azioni concrete riguardanti questo aspetto, anche se, purtroppo, non tutti gli Stati hanno aderito a questi provvedimenti (basti pensare a Cina e USA).

Tali azioni che contrastano i cambiamenti climatici sono alla base di questo argomento ed esse riescono a produrre benefici ambientali ed economici importanti per tutte le comunità che aderiscono a queste iniziative.

Le seguenti azioni devono essere dapprima testate in un ambiente non troppo vasto, per quantificare nel minor tempo possibile i benefici e poter ottenere il via libera, per l'introduzione delle seguenti tecniche in città o interi Paesi.

Per effettuare un'analisi che possa comprendere i seguenti benefici, si è optato per l'esecuzione di un'Analisi Costi-Benefici, in accordo con la Direttiva Europea, che verrà presentata in due forme: *finanziaria*, dove si considerano soltanto i flussi di cassa, ed *economica*, dove vengono incluse le esternalità che generano un effetto positivo o negativo sulla situazione considerata.

Di conseguenza, i quartieri sono le aree più adatte per la fase di sperimentazione delle seguenti azioni e, proprio per questo motivo, si è deciso di effettuare l'analisi su San Salvario e non su tutta la città di Torino.

L'obiettivo della tesi è quello di costruire alcuni scenari di evoluzione della mobilità del quartiere e applicare su di essi l'Analisi Costi-Benefici, valutando quale sia quello migliore. I seguenti dipendono dalla combinazione di quattro scenari *di base*, all'interno dei quali si sono ipotizzati dei cambiamenti riguardanti tutto il settore dei trasporti. Questi ultimi sono necessari al fine di calcolare le emissioni di inquinanti dei mezzi di trasporto del quartiere e le esternalità, dipendenti dal numero di veicoli circolanti al suo interno.

The importance of reducing pollution has been the centre of heated scientific, political and social discussions for many years. Recently, thanks to the mobilizations of the "Friday for Future" movement led by Greta Thunberg, concrete actions have been taken on this issue, although unfortunately not all States have followed these measures (just enough think of China and the USA).

Actions to combat climate change are at the heart of this argument and they are able to produce important environmental and economic benefits for all communities participating in these initiatives.

The following actions must first be tested in a not-too-large territory, in order to quantify in the shortest possible time the benefits and be able to get the green light, for the introduction of the following techniques in cities or entire countries.

In order to carry out an analysis that can include the following benefits, a Cost-Benefit Analysis has been used to carry out an analysis, in accordance with the European Directive, which will be presented in two forms: *financial*, where are included only cash flows, and *economical*, where are studied externalities that have a positive or negative effect on the situation considered.

As a result, the districts are the most suitable areas for the testing phase of the following actions and, for this very reason, it was decided to carry out the analysis on San Salvario and not on the whole city of Turin.

The goal of the thesis is to build some scenarios of the evolution of the mobility of the neighborhood and apply on them the Cost-Benefit Analysis, evaluating which is the best one. The following depends on the combination of four *basic* scenarios, within which changes have been envisaged for the entire transport sector. The latter are used to calculate the emissions of pollutants of the neighbourhood's means of transport and externalities, dependent on the number of vehicles circulating inside.

CAPITOLO 1: Definizione di Smart City e aspetti legislativi

Poter dare una definizione precisa di “smart city” è particolarmente difficoltoso, a causa degli innumerevoli aspetti che questo concetto va a modificare e a stravolgere nell’ecosistema di una città e a causa delle tantissime sfaccettature che questa tematica assume a livello internazionale. Il primo passo è quello di circoscrivere un ambito entro il quale definire il concetto di smart city [1], poiché le aree toccate dall’urbanizzazione di questo tipo sono moltissime e spaziano su diversi concetti. Infatti, gli odierni agglomerati urbani si possono considerare come dei sistemi complessi, caratterizzati da molti cittadini interconnessi.

In relazione a questo fenomeno, un’altra osservazione che si può fare è che negli ultimi anni esso ha acquisito un’importanza sempre maggiore, sia nelle politiche locali e/o nazionali che in quelle internazionali; infatti se si osservano i progetti relativi a questi sistemi urbani, si può affermare che la maggior parte vertono su argomenti strettamente collegati alle “smart city”. È complicato orientarsi nel mondo dell’urbanizzazione, poiché gli ambiti a cui si rivolgono i progetti “smart” sono molteplici e sono difficili da definire.

Una definizione abbastanza primordiale e semplificata di questo concetto potrebbe essere legata ad una previsione di una comunità futura sempre più sensibile e orientata a cercare risposte e soluzioni per risolvere svariati problemi, riferiti alla stessa città. Queste risposte provengono necessariamente da tecnologie, servizi e piattaforme digitali e sociali, che sono tutti aspetti riconducibili ad aree differenti, come la mobilità, la costruzione di edifici e il risparmio energetico. Questi domini non possono rappresentare da soli una Smart City perché devono necessariamente essere connessi tra loro mediante l’utilizzo di una piattaforma comune.

Un altro modo per definire una Smart City è quello di indicarla come un “mix multidimensionale di componenti umane, infrastrutturali, sociali e imprenditoriali”[2], che sono “unite, coordinate e integrate utilizzando nuove tecnologie”[3], per trovare una soluzione a problemi sociali, economici ed ambientali. Nelle definizioni precedenti la parte fondamentale è quella di utilizzare risorse di vario tipo per rispondere in modo efficace alle criticità di un sistema complesso, quale è una città metropolitana.

SMART Cities Timeline

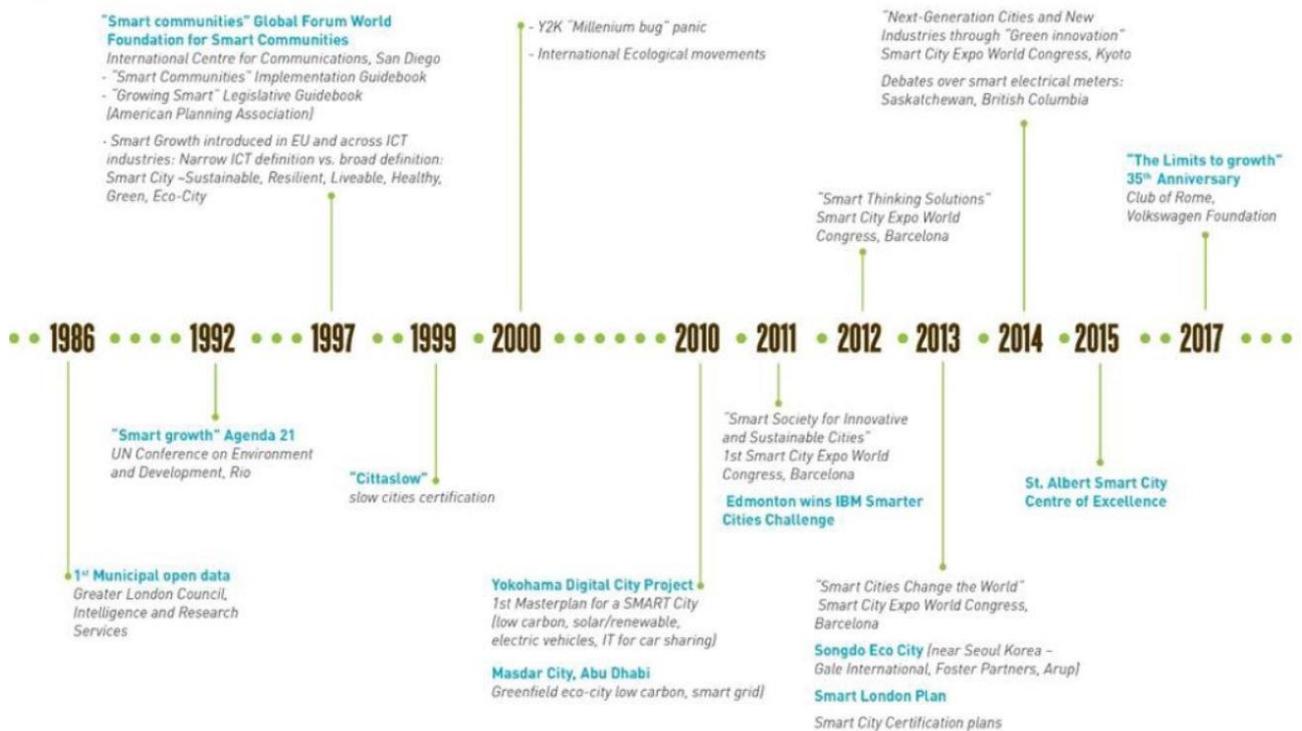


Figura 1: Sono presentati gli sviluppi più importanti della nozione di Smart City in ordine temporale. Fonte: Shields (2014)

Infatti la crescita e lo sviluppo di una città comporta l'introduzione al suo interno di problematiche di vario tipo. Per questo motivo, le risorse destinate ai progetti smart si devono definire obbligatoriamente mediante domini comuni. Una delle difficoltà di questa organizzazione è che le città su cui si effettuano questi progetti possono essere completamente diverse tra loro per ragioni sociali, politiche, geografiche ed economiche e questo può modificare sia gli effetti benefici che un progetto smart ha sugli agglomerati urbani, sia i problemi che derivano dall'adozione di un'azione smart.

Poter individuare una definizione universale di Smart City è praticamente impossibile, ma si può osservare come dal 2012/2013 le città di qualsiasi dimensione (si pensi a metropoli come New York o Londra, ma anche a cittadine più piccole dell'Europa scandinava) hanno cercato di capire quale fosse il miglior modo di introdurre questi concetti all'interno del loro tessuto socio-economico, destinando risorse su un dominio piuttosto che su un altro, in base al contesto in cui è inserita la città.

Prima di analizzare i vari domini e di indicare una suddivisione, si può capire come sta diventando sempre più prioritario il ruolo delle ICT, acronimo che sta ad indicare le Information and Communications Technology. Le ICT servono principalmente a dare maggiori opportunità e maggiori sicurezze nell'esecuzione materiale di progetti e di idee e cercano di correlare le capacità umane con quelle informatiche, provando ad effettuare un processo di affiancamento e non uno di dominazione nei confronti delle persone.

In ambito smart city, è sicuramente corretto evidenziare che l'ICT è sempre più centrale per migliorare la produttività, l'ottimizzazione dei processi di decision-making e l'integrazione di informazioni tra domini di diverso genere (ad esempio, la correlazione tra la frequenza dei passaggi di un autobus con la quantità di persone che viaggia all'interno di esso, oppure la correlazione tra le emissioni misurate da sensori con la quantità di autovetture che sono presenti all'interno della città). Nel prossimo paragrafo si evidenziano i vari progetti mondiali, che presentano una definizione "smart".

1.1 Formazione UNFCCC (Accordi di Rio) e Conference of Parts

Il problema che in questo periodo storico è sotto gli occhi di tutti (a partire dal singolo cittadino, passando per gli organi di stampa nazionali ed internazionali, fino ad arrivare agli scioperi organizzati dal movimento "Friday for Future") è la riduzione delle emissioni inquinanti e/o di gas serra, dell'utilizzo dei combustibili fossili e l'aumento dell'incidenza delle energie rinnovabili sul mercato energetico mondiale.

Infatti la produzione di emissioni inquinanti non è soltanto quella visibile tutti i giorni nelle città (si pensi al riscaldamento degli edifici mediante l'uso di caldaie non più a norma di legge, oppure all'uso intenso di autovetture private diesel o benzina, magari di 15 anni fa), ma è presente soprattutto nei cosiddetti "processi invisibili all'utente finale", come l'inquinamento dovuto al settore industriale (ad esempio, le fabbriche per la produzione di batterie per i veicoli elettrici/ibridi sono posizionate nei paesi in via di sviluppo, i quali non hanno normative restrittive sia sulle emissioni, che soprattutto sulla paga oraria della manodopera).

Per poter effettuare questi cambiamenti, il 9 maggio 1992 a Rio de Janeiro si è istituita la United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC o FCC, vale a dire la Convenzione delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici, conosciuta anche come Accordi di Rio), entrando in vigore il 21 marzo 1994 senza alcun vincolo legale per i Paesi che vi avevano aderito [5]. Questo trattato prevede il decremento dei gas serra, vale a dire di quei gas che innalzano la temperatura del Pianeta. I Paesi firmatari dell'UNFCCC sono in totale 188 e si differenziano in 3 gruppi, decretati in base alla tipologia di economia presente in quel territorio.

Nella prima versione del trattato, gli Stati firmatari non erano obbligati a rispettare i limiti di gas serra emessi, ma si cercava in tutti i modi di non far aumentare la concentrazione di questi gas entro il 2000, tenendoli uguali ai dati del 1990. Esso includeva la possibilità che le parti firmatarie adottassero, in apposite conferenze, atti ulteriori (denominati "protocolli") che avrebbero posto i limiti obbligatori di emissioni. In questa tesi si mostrano le principali Conference of Parts che sono state effettuate nel corso degli anni da questa organizzazione, partendo proprio da quella più famosa, vale a dire dal Protocollo di Kyoto del 1997.

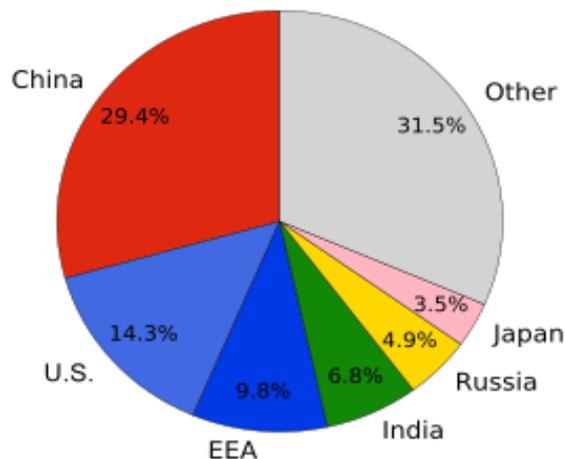


Figura 2: Emissioni di CO₂ aggiornate al 2018 delle maggiori potenze economiche mondiali. Fonte: Wikipedia

Il Protocollo di Kyoto, il quale è sicuramente più conosciuto di tutta la UNFCCC, è stato firmato nel dicembre del 1997, quando la terza sessione plenaria della Conferenza delle parti (COP-3) della Convenzione Quadro sui Cambiamenti climatici (UNFCCC) era giunta al termine [6].

Esso è un atto esecutivo, che contiene obiettivi legalmente vincolanti e decisioni sulla attuazione operativa di alcuni degli impegni della Convenzione Quadro; inoltre è stato ottenuto alla fine di negoziati molto aspri tra gli Stati Uniti d'America e gli altri Paesi maggiormente sviluppati. Il Protocollo obbliga “i paesi industrializzati e quelli ad economia in transizione (Cina, India, Brasile e gli Stati dell'Est europeo) a ridurre complessivamente del 5,2 % le principali emissioni antropogeniche di gas serra entro il 2010”.

Le tipologie di gas considerati impattanti per il riscaldamento atmosferico dal Protocollo sono sei: l'anidride carbonica (il più importante), il metano, il protossido di azoto, i fluorocarburi idrati, i perfluorocarburi, l'esafioruro di zolfo. Tutti questi gas hanno un peso totalmente diverso nel calcolo della CO₂ equivalente (CO₂eq), che rappresenta un'unità di misura che considera in modo ponderato la capacità serra dei seguenti gas, ma, a prescindere da quanto un grammo di un determinato gas influenzi la temperatura del Pianeta, è importante focalizzare l'attenzione sulle quantità emesse: ad esempio, la CO₂ è il gas che ha le maggiori emissioni del lotto, ma è anche il gas che impatta di meno sul Pianeta, se confrontato a parità di quantità con un altro dei cinque gas.

La riduzione delle emissioni dei primi tre gas si riferisce al dato del 1990, mentre per i rimanenti tre, i quali sono gas lesivi dell'ozono stratosferico e che sono stati attualmente vietati nei processi produttivi (si pensi all'abolizione dei CFC per i reparti criogenici) è il 1995. Premesso che l'atmosfera terrestre contiene 3 milioni di megatonnellate (Mt) di CO₂, il protocollo prevede che i Paesi industrializzati riducano del 5% le proprie emissioni di questi gas. Le attività umane immettono 6.000 Mt di CO₂ all'anno, di cui 3.000 dai Paesi industrializzati e 3.000 da quelli in via di sviluppo; per cui, con il protocollo di Kyoto, se ne dovrebbero immettere 5.850 ogni anno anziché 6.000, su un totale di 3 milioni.

La riduzione complessiva del 5,2 % non è uguale per tutti i Paesi, poiché per i Paesi appartenenti all'Unione Europea dovranno ridurre gli inquinanti dell'8 %, gli USA del 7 %, il Giappone del 6 %.

Ad oggi, 175 Paesi e un'organizzazione di integrazione economica regionale (EEC) hanno ratificato il protocollo o hanno avviato le procedure per la ratifica. Questi Paesi contribuiscono per il 61,6% alle emissioni globali di gas serra.

Perché il trattato potesse entrare in vigore, si richiedeva che fosse ratificato da non meno di 55 nazioni firmatarie e che le nazioni che lo avessero ratificato producessero almeno il 55% delle emissioni inquinanti; quest'ultima condizione è stata raggiunta solo nel novembre del 2004, quando anche la Russia ha perfezionato la sua adesione.

Il trattato è entrato in vigore ufficialmente il 16 febbraio 2005, dopo la ratifica da parte della Russia e del Canada avvenuta nel 2002. Grazie all'ufficializzazione l'accordo di Doha, che verrà analizzato tra poco, l'estensione del protocollo è stata prolungata dal 2012 al 2020, con maggiori riduzioni dei gas serra, coerentemente con l'approccio che si sta portando avanti da qualche anno a questa parte.

La conferenza di L'Aja (dal 13 al 25 novembre 2000), che avrebbe dovuto affrontare le divergenze politiche che erano presenti dopo la firma del Protocollo di Kyoto, fu caratterizzata in modo importante dai contrasti che opposero la delegazione dell'Unione Europea a quella degli USA [7]. La discussione si concentrò per parecchio tempo sulla proposta fatta dagli Stati Uniti, legata alla creazione di "crediti" ecologici. Si era cioè liberi di produrre anidride carbonica in una certa zona (con riferimento in particolar modo alle enormi zone industriali che sono presenti negli USA), se in altre si piantavano alberi o se erano presenti boschi e terreni agricoli che avrebbero "compensato" quella parte di CO₂ emessa dalla zona incriminata.

Nelle ultime ore della COP-6, l'Unione Europea, capitanata da Danimarca e Germania, non curandosi degli accordi prestabiliti con l'USA, rigettò le posizioni di compromesso, come i provvedimenti da impiegare in caso di mancata risposta agli obblighi ed il supporto economico verso i PVS per contrastare i cambiamenti climatici. Il Presidente della conferenza, Jan Pronk, interruppe le attività in attesa che le trattative potessero riprendere.

La COP-6 venne ripresa a Bonn nel 2001, quando gli USA avevano già rigettato il Protocollo di Kyoto e partecipavano a questa conferenza come semplici spettatori delle decisioni prese dagli altri Stati.

Malgrado i presupposti, i partecipanti giunsero ad accordi che si attenevano a quattro criteri nodali :

1. **Criteri per la flessibilità** : I meccanismi di "flessibilità", che gli USA appoggiavano pienamente quando il protocollo venne inizialmente stilato nella COP-6, comprendenti la creazione di aree stabilite per la produzione industriale ed aree "green" per equilibrare la quantità di CO₂ prodotta ed il Clean Development Mechanism (CDM), che fornisce sovvenzioni dalle nazioni maggiormente sviluppate (ad esempio l'UE o il Canada), per le attività di riduzione delle emissioni nei paesi in via di sviluppo, con un credito da utilizzare a favore delle nazioni donatrici.
2. **Abbattimento del carbonio**: venne stabilito un credito a favore dei dinamismi che comportano assorbimento di carbonio dall'atmosfera, comprendete la gestione degli spazi verdi e coltivabili e la ri-vegetazione, senza un limite massimo di cui una nazione poteva servirsi per l'eventuale abbattimento. Nel caso del controllo delle foreste, un'appendice Z impostava tetti specifici per ogni nazione; in merito alle terre coltivabili, i Paesi potevano usufruire di crediti solo in vista di miglioramenti rispetto al 1990.
3. **Conformità delle azioni**: l'azione finale sulle procedure di conformità e le relative multe riguardanti la non-conformità rispetto a quanto previsto dal protocollo vennero rinviati al COP-7, ma in essa è stata elaborata una bozza in merito alle conseguenze dovute alla noncuranza nei confronti dei targets sulle emissioni, che avrebbero incluso la sospensione del diritto di vendere crediti per un surplus nella riduzione di emissioni e avrebbero richiesto un piano di recupero per gli Stati che non avessero raggiunto gli obiettivi prefissati.
4. **Finanziamento** : per sopperire alle esigenze dovute ai cambiamenti climatici vennero messi a disposizione due fondi, uno per le nazioni meno sviluppate, ed uno che si confacesse al Protocollo di Kyoto, supportato da una tassa sul CDM e da contributi volontari.

Le Conferences of Parts successive si occuparono del solo ampliamento dei punti citati, fino alla COP-11 tenutasi nel 2005 a Montréal, durante la quale si è principalmente discusso in merito ad una drastica riduzione delle emissioni di clorofluorocarburi, i quali sono identificati come i principali responsabili del cosiddetto "buco dell'ozono".

Questi gas possono occupare l'atmosfera anche per un intero secolo, dunque è conveniente limitarne notevolmente l'immissione. Questa conferenza tuttavia non ebbe molto successo, nonostante essa riprendesse il Protocollo di Montreal del 1987, cercando di migliorarlo, perché allora erano presenti molte nazioni in via di sviluppo come Cina, India e Brasile, alle quali non si poteva imporre di far cambiare tutti i frigoriferi ai cittadini, prendendone altri di classe A, perché non c'erano le adeguate condizioni economiche.

La conferenza numero 15 si è tenuta a Copenaghen dal 7 al 18 dicembre 2009 e si è sorprendentemente chiusa con un accordo messo a punto da Stati Uniti e Cina, con il contributo di India, Brasile e Sud Africa, sostanzialmente accettato dall'Unione Europea. L'accordo di Copenaghen prevede di contenere di 2°C l'aumento della temperatura media del Pianeta e un impegno di supporto da parte dei Paesi industrializzati nei confronti delle nazioni più povere.

L'intesa non è però stata adottata dall'assemblea della Convenzione delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici e, di conseguenza, non è vincolante, né operativa. Infatti, dopo questo incontro, nulla è cambiato dal punto di vista legislativo poiché si fa sempre riferimento al Protocollo di Kyoto, integrato dalle COP precedentemente analizzate.

Durante la COP-18, svolta a Doha dal 24 novembre all'8 dicembre 2012, i Paesi si promettevano di ridiscutere parte del Protocollo di Kyoto del 1997, cercandolo di aggiornare alle esigenze del 2012.

Infatti si è firmato il Secondo Periodo di impegni nel Protocollo di Kyoto, il trattato che regola il mercato delle emissioni e gli impegni per la riduzione dei gas serra dei Paesi industrializzati. Nelle intenzioni iniziali, il cosiddetto "Kyoto 2" doveva entrare così in azione dal 1 gennaio 2013 e durare fino al 2020, quando verrà sostituito dal nuovo trattato. Si scelse di denominare l'accordo con quel nome, proprio per ricordare che questo accordo doveva essere un miglioramento dell'intesa inizialmente firmata nella cittadina giapponese nel 1997.

A Doha, gli Stati che hanno firmato contano meno del 20% del totale: infatti Russia, Canada, Giappone e Nuova Zelanda si sono rifiutati di essere inclusi in quest'accordo, per non danneggiare il mercato interno di petrolio e metano.

Di fatto, ci si è limitati a prevedere dei negoziati per un trattato globale legalmente vincolante sul cambiamento climatico, che richiederà tagli alle emissioni a tutti gli Stati membri, da firmare entro il 2015. In pratica si è partiti con le intenzioni di firmare un nuovo accordo con azione immediata per la riduzione delle emissioni, ma si è arrivati soltanto ad un rinvio di 3 anni sia per l'esecuzione reale degli accordi, sia per la discussione dello stesso accordo, cosa che è stata effettuata nelle due COP successive, prima di arrivare alla COP di Parigi.

La suddetta conferenza ha visto le parti interessate negoziare in merito all'accordo di Parigi, improntato sulla riduzione dei mutamenti climatici. La commissione organizzatrice riteneva che l'obiettivo della conferenza tenutasi nel 2015 fosse quello di giungere ad un accordo vincolante e globale sul clima, detto "Accordo di Parigi", condiviso all'unanimità da tutti i Paesi del mondo.

Nel documento i membri si impegnano a ridurre la produzione di anidride carbonica (CO₂) nel minor tempo possibile e a limitare il riscaldamento globale a meno di 2° C (Celsius). Ogni paese che ratifica l'accordo sarà tenuto a fissare un obiettivo di riduzione delle emissioni, ma il quantitativo sarà volontario. I Paesi inadempienti saranno invece incoraggiati ad attuare il piano riguardante il clima.

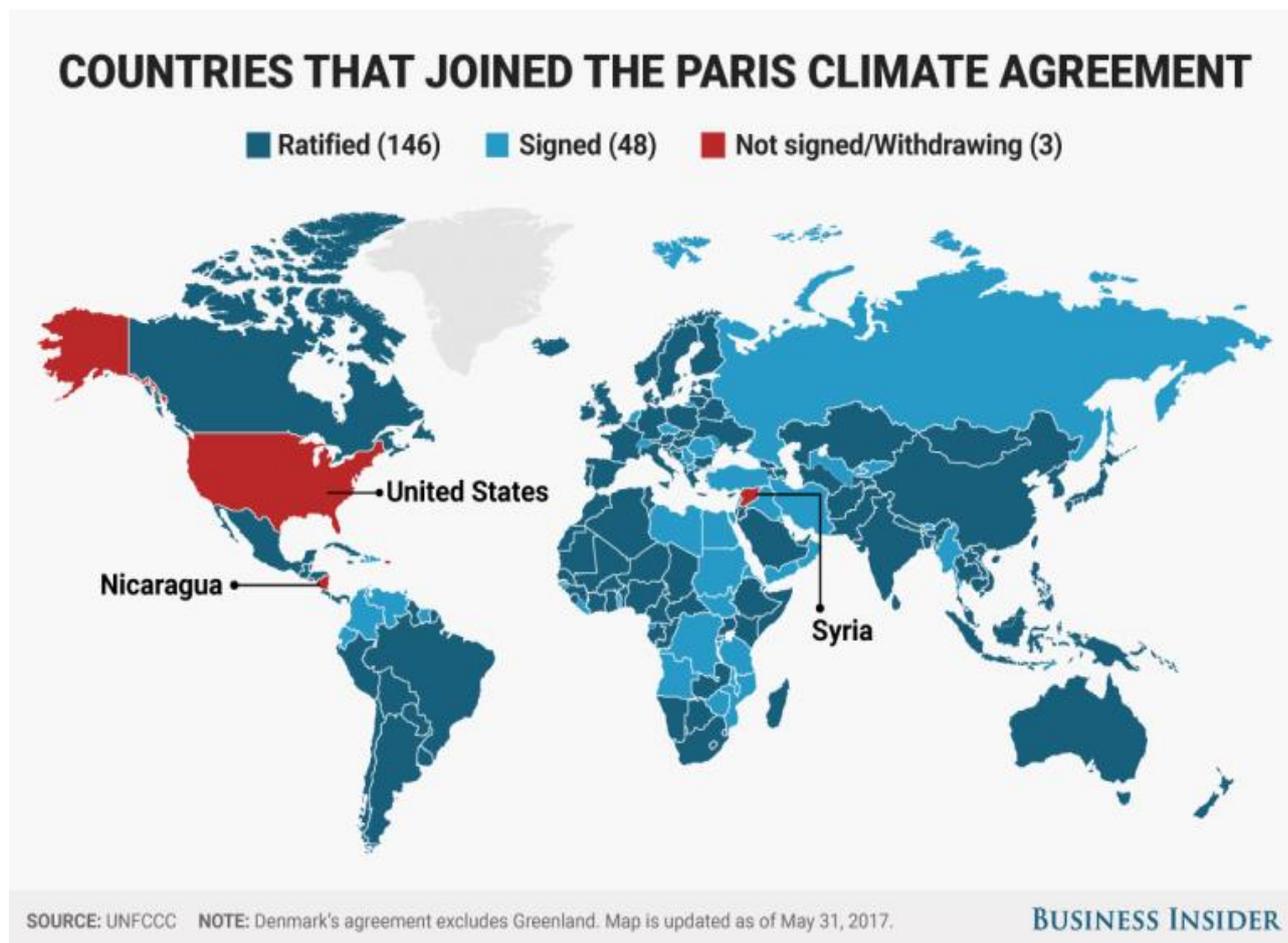


Figura 3: Situazione della ratificazione e della firma dell'Accordo di Parigi, aggiornata al 31 Maggio 2017. Fonte: UNFCCC

L'accordo diverrà giuridicamente vincolante solo se sottoscritto da almeno 55 Stati che rappresentino il 55% delle emissioni di gas climalteranti.). Rispetto alla figura sottostante, aggiornata al 2017, ci sono le seguenti modifiche:

1. Sia il Nicaragua, che la Siria durante il 2018 hanno firmato l'accordo di Parigi, lasciando l'onere agli Stati Uniti di essere l'unico Paese mondiale a non aver firmato questo accordo;
2. Tra gli Stati indicati in blu chiaro, vale a dire quelli che hanno soltanto firmato e non ratificato quest'accordo, vanno esclusi i Paesi Bassi, la Repubblica Ceca, la Svizzera e la Russia che hanno ratificato recentemente l'accordo di Parigi, per quanto riguarda la situazione europea.



Figura 4: A sinistra, il confronto delle emissioni di CO2 totali dei 40 Paesi più inquinanti nel mondo; a destra il confronto tra le emissioni di CO2 pro-capite di questi Paesi. Fonte: database Edgar

La COP-24 si è svolta a Katowice in Polonia, dal 3 al 14 dicembre 2018. In questa conferenza si sono definite le norme di realizzazione dell'Accordo di Parigi risalente al 2015. Dopo che gli Stati Uniti hanno abbandonato l'accordo di Parigi, la Cina ha assunto un ruolo di primo piano ospitando molte delle riunioni preparatorie nelle settimane precedenti alla conferenza. Nel novembre 2018, l'Organizzazione meteorologica mondiale ha pubblicato un rapporto in cui si afferma che i livelli atmosferici di biossido di carbonio del 2017 hanno raggiunto 405 parti per milione (ppm), un livello mai visto [8].

L'obiettivo finale è stato quello di frenare il cambiamento climatico globale e ideare un "Rule Book", un libro guida per concretizzare tutti i principi dell'Accordo, che entrerà in vigore nel 2020. Il limite di 2°C imposto dal COP-21 è ormai inadeguato : è necessario limitare, entro il 2030, le emissioni di anidride carbonica nell'aria del 45% per far sì che le temperature non superino 1,5°C . Infine, si è stabilito come distribuire le risorse finanziarie necessarie a sostenere i PVS al fine di supportarli nell'abbattimento delle emissioni di diossido di carbonio.

1.2 Pacchetto Clima-Energia, Horizon 2020 ed Energy Roadmap 2050

L'Unione Europea, facendo parte delle super-potenze mondiali, in questi anni è sempre stata molto sensibile alle problematiche legate all'ambiente, e ha sempre cercato di spingersi oltre il lavoro effettuato nelle Conference of Parts della UNFCCC. Infatti nel corso degli anni ha presentato diverse iniziative, volte alla riduzione di emissioni inquinanti e di gas serra, al miglioramento delle condizioni climatiche, all'incremento dell'uso di fonti rinnovabili in luogo di centrali a carbone o a petrolio per la produzione di energia elettrica e all'uso di fondi, stanziati dalla stessa UE, per poter effettuare questi cambiamenti.

Al termine del protocollo "Kyoto" In seguito alla conclusione del trattato del protocollo di Kyoto, è entrato in vigore il Pacchetto Clima-Energia 20-20-20 (chiamato anche strategia "20-20-20"), pensato dall'Unione Europea, al cui interno vengono indicati dei target da raggiungere per l'anno 2020 [9]. Tale strategia consiste in una serie di azioni, che servono per ridurre l'effetto dei cambiamenti climatici, senza dover attendere ulteriori accordi globali, e per aumentare l'efficienza energetica. Questo pacchetto mira a ridurre le emissioni di gas serra, fissando tre obiettivi che dovranno essere raggiunti entro il 2020 dagli Stati membri.

Nel "pacchetto clima-energia 20-20-20", emanato dall'UE, inserito all'interno della Direttiva 2009/29/CE, approvata nel 2009 e con valenza dal 2013 fino al 2020, si prospetta :

1. La riduzione del 20% le emissioni di CO₂ rispetto ai livelli del 1990;
2. L'abbattimento dei consumi energetici del 20% rispetto alle proiezioni per il 2020;
3. La produzione di energia da fonti energetiche rinnovabili (FER) per almeno il 20% dei consumi totali di energia.



Figura 5: Obiettivi del Piano 20-20-20. Fonte: www.reteclima.it

Ma qual è il significato reale di questo piano? [10] La prima esigenza per l'UE consisteva nella ricerca di una valida strategia per il contrasto del cambiamento climatico in attesa della COP-15 di Copenaghen (2009), la quale si prefissava una riduzione delle emissioni pari al 20% entro il 2020, incrementando tale valore al 30% e poi al 50% rispettivamente nel 2030 e 2050, assumendo come valori di riferimento i dati del 1990. Di seguito, vengono presentati in modo schematico le misure contenute in questo pacchetto:

1. **Revisione del sistema EU-ETS** (European Union Emission Trading Scheme);
2. **Promozione del sistema "Effort sharing extra EU-ETS"** ;
3. **Energia da fonti rinnovabili** : la produzione, mediante queste fonti, del 20% dell'energia destinata ai consumi; un esempio è fornito dal settore dei trasporti, in cui almeno il 10% dell'energia sfruttata dovrà provenire dai biocarburanti;
4. **Nuovi limiti di emissione di CO2 per le auto**: in riferimento a dati concreti, dal 2011 il limite di CO2 emesso dalla flotta dei veicoli immatricolati deve essere di 130 g/km e si dovrà ulteriormente ridurre a 95 g/km per il 2020;
5. **Miglioramento dei combustibili** : consiste in una riduzione pari al 6% dei gas serra prodotti dai combustibili durante l'intero ciclo di vita.

L'Unione Europea ha promesso una visione volta al futuro, con lo scopo di ottenere un sistema energetico quasi completamente privo di emissioni. Sulla base delle indicazioni fornite dal Piano 20-20-20, sono state elaborate diverse misure al fine di limitare l'emissione, , tra cui si menziona l'esperienza del "Patto dei Sindaci", il Patto ad adesione volontaria, dove le Municipalità europee possono impegnarsi per l'attuazione sul proprio territorio locale degli obiettivi visti nel Piano europeo.

Horizon 2020 è un sistema di finanziamento ideato nel 2014 dalla Commissione europea, organo esecutivo dell'Unione europea. È l'ottavo dei programmi quadro per la ricerca finanziaria e lo sviluppo tecnologico, la ricerca finanziaria (Framework Programmes for Research and Technological Development), che mette in primo piano l'innovazione, accelerando la crescita economica e fornendo soluzioni agli utenti finali che spesso sono agenzie governative [11]. Il programma rende disponibile un finanziamento di circa 80 miliardi di euro,[12] con un incremento del 23% rispetto alla fase precedente.

L'obiettivo del programma è quello di integrare lo spazio europeo della ricerca (ERA), coordinando le politiche nazionali di ricerca e riunendo i finanziamenti di ricerca in alcuni settori, per evitare duplicazioni. Horizon 2020 serve anche ad attuare la politica europea in materia di ricerca e innovazione ambientale (European Environmental Research and Innovation policy), che mira a definire e trasformare in realtà un insieme di eventi, volti a rendere più ecologica l'economia e la società, per realizzare uno sviluppo sostenibile.

Horizon 2020 fornisce sovvenzionamenti a progetti di ricerca e innovazione attraverso inviti a presentare proposte funzionali e competitive. La partecipazione, da parte dell'Unione Europea, è esplicitamente incoraggiata e, infatti, tutti i membri dell'UE hanno aderito a questo progetto.

I paesi associati, finanziandosi autonomamente per la messa in atto del progetto, hanno firmato un accordo di associazione ai fini del presente programma quadro e, a partire da maggio 2017, 16 paesi sono stati associati a Horizon 2020 [13]. Esso supporta l'open access per la pubblicazione dei risultati della ricerca entro 6 o 12 mesi dalla prima pubblicazione su una rivista cartacea o online, al fine di limitare la burocrazia, favorire la trasparenza e accelerare l'innovazione.

La Commissione Europea, nel 2011, ha fornito le possibili evoluzioni future del sistema energetico, sollecitando la de-carbonizzazione tramite la comunicazione “Una tabella di marcia verso un'economia competitiva a basse emissioni di carbonio nel 2050”, la cosiddetta “Energy Roadmap 2050”.

Al fine di ottenere una riduzione delle emissioni di Carbonio pari all'80% entro il 2050, senza compromettere i rifornimenti energetici e la concorrenza nel settore, è possibile sfruttare la de-carbonizzazione, strumento chiave per i settori che contribuiscono ad innalzare le emissioni.

A scopo illustrativo, nella figura 6, sono riportate le varie riduzioni che ci si aspetta di conseguire in futuro nei diversi settori. Il settore che permette di limitare in maniera sostanziale le emissioni è quello energetico (in blu nella figura), in cui i combustibili fossili possono essere sostituiti da fonti rinnovabili a basse emissioni [14], ma ovviamente servirà del tempo affinché queste fonti abbiano la stessa affidabilità, competitività e convenienza dei combustibili fossili.

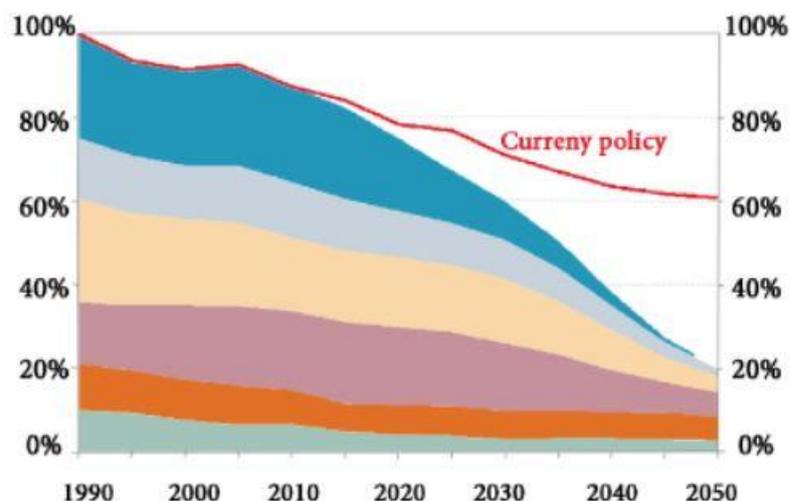


Figura 6: Riduzione delle emissioni di Gas ad effetto serra nell'UE in base ai diversi settori di riferimento. Fonte: Commissione Europea, 2050 low-carbon economy.

Tale documento, considerando diversi scenari, mostra le possibili conseguenze di un sistema energetico a zero emissioni e la strategia utile per attuarlo.

Esso può essere considerato uno strumento fornito agli Stati membri perché possano fare le scelte giuste in merito al settore energetico e quindi favorire investimenti privati mediante la realizzazione di adeguati presupposti economici. Ciò si riscontra nel concetto di traguardi intermedi, che consentono un controllo periodico dei cambiamenti climatici, affinché siano indirizzati correttamente.

L'analisi è fondata su situazioni evolutive che probabilmente non avranno riscontro nella realtà, ma sono tutte realizzate mediante l'insieme delle varie strategie attuate per il decremento delle emissioni.

Le seguenti strategie rilevano la strada da percorrere per evitare situazioni catastrofiche. La *Energy Roadmap 2050* espone alcune considerazioni che tutti gli Stati membri dovranno fare in futuro:

1. **Investimenti sulle strategie “green”** da attuare as soon as possible, per evitare di farsi cogliere impreparati quando queste tecnologie saranno il traino per l'economia europea. Inoltre, sarà vantaggiosa la consapevolezza che la delocalizzazione degli stabilimenti nei Paesi meno sviluppati non può essere un'ancora di salvataggio per la sopravvivenza di aziende che non vogliono investire nella tecnologia e nella qualità dei prodotti.
2. **La riduzione delle emissioni di diossido di carbonio e l'aumento dell'efficienza** nei processi produttivi e nelle zone industriali dei maggiori agglomerati urbani. Inoltre, si prevede l'introduzione di energia ottenuta da fonti rinnovabili, al fine di ridurre le emissioni di CO₂, per evitare stravolgimenti climatici che possono modificare l'equilibrio del Pianeta.
3. **Riduzione dei costi di fornitura dell'energia**, la quale è una diretta conseguenza del punto 1, poiché se si ha l'opportuna previdenza nell'effettuare investimenti nella giusta direzione, la tecnologia arriverà a completa maturazione nel momento in cui essa dovrà sostituire le modalità convenzionali di estrazione di energia, come il carbone o il petrolio. Infine, la creazione di una vera economia di scala nel mercato europeo può contribuire a questo abbattimento dei costi.

I traguardi imposti potranno essere raggiungibili solo se si apportano delle modifiche al sistema energetico attuale. Tutto ciò sarà inevitabilmente vittima dell'aumento della concorrenza e della messa in atto della sicurezza energetica su scala europea. L'adozione di un'economia “green” permetterà la creazione di posti di lavoro e di benefici sulla salute.

Da qui, nel 2014 il Consiglio Europeo, partendo da quanto fatto in precedenza, ha stabilito degli obiettivi da raggiungere per il 2030 (UE 2030 Clima-Energia) [15]. Per il futuro vengono aumentati i target, sempre secondo le azioni identificate dal “Pacchetto 20-20-20”, e sono:

1. Riduzione del 40% della CO₂ rispetto ai livelli del 1990, percentuale che salirà al 60% per il 2040 e all'80% per il 2050;
2. Riduzione dei consumi energetici del 27% rispetto alle proiezioni per il 2030;
3. Produzione di energia per almeno il 27% da FER, percentuale che andrà rivista nel corso dell'anno 2020 per poter proiettare l'economia verso gli obiettivi del 2050.

I limiti sono individuati nei punti 1 e 3 dell'elenco appena definito, in linea con la “Tabella di marcia verso un'economia competitiva a basse emissioni di carbonio nel 2050”.

1.3 Definizione Domini e Sotto-Domini della Smart City

Il concetto di Smart City risulta difficile da decifrare. Alcuni studiosi la definiscono una città che ha adottato tecnologie innovative capaci di migliorare la qualità della vita dei suoi abitanti, riducendo la dipendenza dai combustibili fossili, diminuendo in linea di massima i consumi energetici oppure legandosi a sistemi di trasporto intelligente.

Altri, invece, ritengono che il concetto di “Smart City” sia riscontrabile nella possibilità dei cittadini di migliorare le proprie vite tramite un uso più intelligente dei dati e dei servizi pubblici. Esemplicando, si tratta di un più semplice accesso alle informazioni sui posti di lavoro disponibili, o alle visite mediche presso i centri ospedalieri.

In realtà, le Smart Cities sono la concretizzazione di entrambi questi concetti e, in modo particolare a livello della mobilità urbana, è di fondamentale importanza provare a migliorare la qualità di vita dei residenti, mirando a ridurre la dipendenza da fonti fossili, sostituendo gli autobus diesel con quelli a metano o elettrici e sfruttando la più alta quota di energia proveniente da fonti rinnovabili [16]. Ci si deve inoltre soffermare sulla mobilità del futuro, a partire dalla centralità delle ICT e dell’Internet of Things, per dar vita ad una città interconnessa ed intelligente.

La questione della mobilità urbana rappresenta una nuova challenge per le politiche ambientali e urbane in uno scenario di sviluppo sociale ed economico del Paese caratterizzato da crescenti tassi di urbanizzazione, notevoli limiti nelle politiche dei trasporti pubblici e ripresa economica, che hanno causato un aumento sostanziale della motorizzazione individuale (automobili e motocicli), così come della flotta di veicoli sfruttati per il trasporto delle merci.

Il modello di mobilità incentrato sul trasporto motorizzato individuale si figura insostenibile a causa delle esigenze di spostamento legate alla vita urbana e, inevitabilmente, danneggia l’ambiente.

Ad oggi è difficile predire quale tecnologia del veicolo sarà vincitrice nel futuro : elettrico a batteria, a celle a combustibile e via discorrendo, ma si potrebbe sostenere una fruttuosa combinazione di propulsione elettrica e carburanti rinnovabili. Infine, si prevede la scomparsa, nel giro di 30 anni, dei combustibili fossili (previsione che non coinvolge i veicoli pesanti e gli auto-articolati); il motore a benzina verrà utilizzato unicamente come motore di supporto per i veicoli ibridi Plug-In.

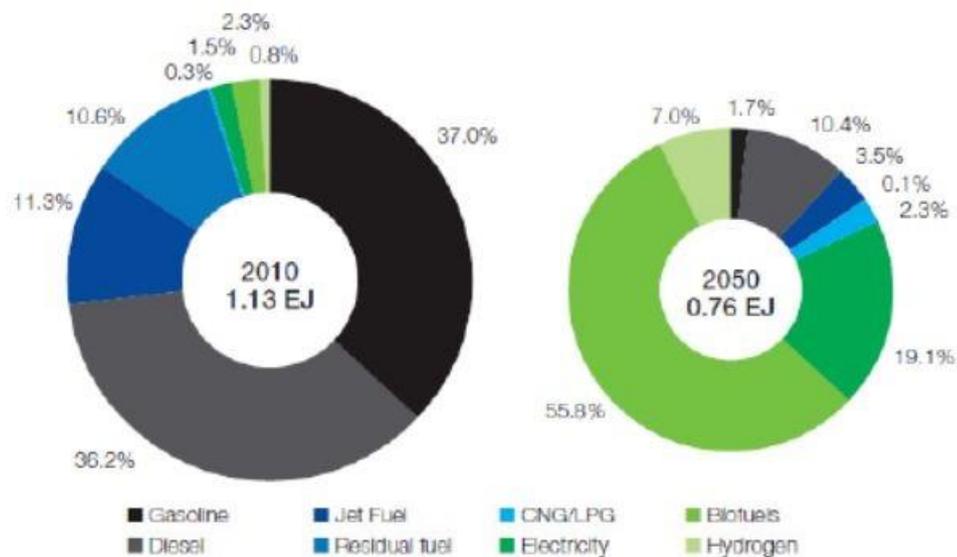


Figura 7: Previsioni relative all'uso di energia per il trasporto fino al 2050. Fonte: IEA, 2013

La figura 7, riporta le proiezioni per contributi di diverse fonti di energia per il trasporto. Secondo lo scenario carbon-neutral di Nordic Energy Technology Perspectives (IEA, 2013), si nota l'aumento delle quote di biocarburanti ed elettricità, con una quota importante anche per l'idrogeno. Una tendenza rivoluzionaria per il sistema di trasporto si basa sull'utilizzo delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione (ICT), mentre l'intelligenza caratterizzerà tutti i livelli dei sistemi. Nella figura 8 sono riassunti, attraverso dei simboli, le principali caratteristiche che rendono una città più o meno smart.



Figura 8: Rappresentazione degli ambiti su cui influisce il concetto di Smart City. Fonte: www.reccom.org

Si può affermare che l'ICT consente alle persone, alle organizzazioni, ai leader delle città di connettersi con il mondo digitale. Hardware e software sono i componenti principali delle infrastrutture ICT. Questa tecnologia multidisciplinare è costituita da dispositivi intelligenti, computer, sensori, reti Internet e Intranet, servizi di infrastrutture sociali come ferrovia, strade, acqua ed energia e servizi operativi, database. L'ICT integra tutti questi componenti della città con altre parti interessate e funge da piattaforma, in cui tutti gli elementi consentono di interagire tra loro come sistemi uomo-uomo, macchina-uomo e macchina-macchina.

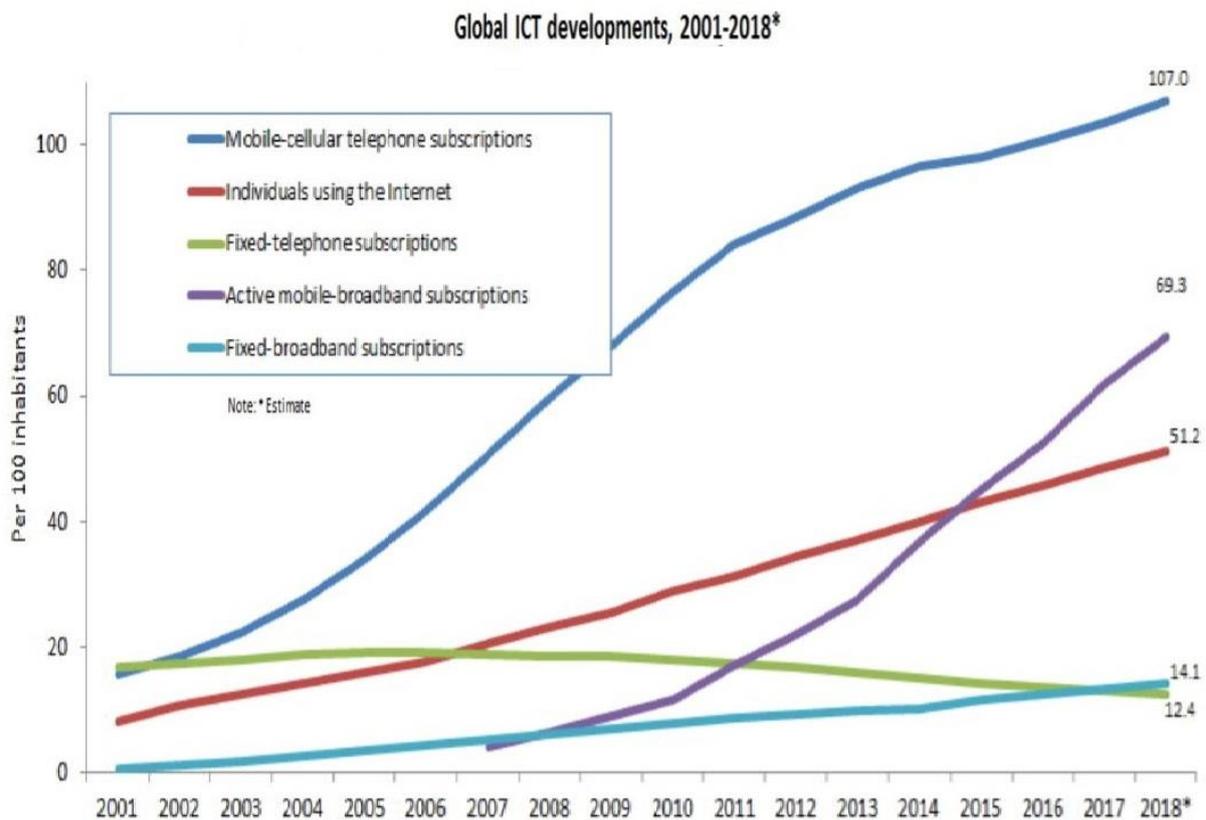


Figura 9: Sviluppo mondiale delle ICT nel periodo 2001-2018 Fonte: ITU World Telecommunication (2018)

Prima dello sviluppo delle ICT, si era classificata la smart city mediante l'utilizzo di domini che la suddividono in base agli elementi che possono modificare l'aspetto e la tendenza di una città a svilupparsi in questo modo e, grazie a questa suddivisione, si è permesso agli accademici di avere una base comune per iniziare a studiare il fenomeno.

Su una caratteristica centrale nel concetto di smart city gli studiosi sembrano essere d'accordo: una città di questo tipo dovrebbe essere in grado di ottimizzare l'uso e lo sfruttamento sia di beni tangibili (infrastrutture di trasporto, risorse naturali, distribuzione dell'energia ecc.) che di beni non tangibili (capitale umano, educazione, sviluppo accademico, inclusione sociale, ecc.).

Passando all'analisi dei domini di una smart city, essi si possono classificare in prima battuta, in base alla loro importanza e alla loro influenza nel cambiamento delle condizioni della suddetta [17]:

1. **Domini Hard**, vale a dire quelle categorie che influiscono pesantemente sul livello di smartness di una città e che sono maggiormente importanti per lo sviluppo della stessa in quella direzione; all'interno di questa famiglia sono presenti diversi aspetti, visualizzati nella tabella, che, ad una prima occhiata, sembrano non essere collegati tra di loro e non possono incidere sul processo di smart city, ma si riescono a fare alcuni esempi che smentiscono questa impressione.

Infatti, la gestione delle risorse idriche o dei rifiuti può essere controllata da centraline che rilevano la quantità elevata di queste due peculiarità per attivare in automatico le precauzioni per ridurle, oppure altre centraline che rilevano elevato traffico o alta concentrazione di inquinanti possono avvisare automaticamente l'apparato centrale di governo per adottare misure restringenti sulla mobilità.

2. **Domini Soft**, che sono rappresentati da quelle caratteristiche che non impattano direttamente sulla smart city, ma che sono fondamentali per poter agevolare l'ingresso di questo concetto all'interno del tessuto di una città; infatti, all'interno di questa classe sono presenti **l'educazione, la cultura, l'inclusione sociale ed il welfare** che rientrano perfettamente nel discorso precedente. Infine, sono presenti anche **l'Economia, il grado di E-Government e l'Amministrazione pubblica**, le quali possono agevolare od ostacolare lo sviluppo del concetto di smart city all'interno di un agglomerato urbano.

Tabella 1: Classificazione domini Hard/Soft secondo influenza ICT. Fonte: "Current Trends in Smart City initiatives: Some stylised facts" (2014)

Domini Hard	Domini Soft
Energy Grids	Educazione
Illuminazione Pubblica	Cultura
Risorse Naturali	Inclusione Sociale
Gestione Risorse Idriche	Welfare
Gestione dei Rifiuti	Amministrazione Pubblica
Ambiente	E-government
Trasporti	Economia
Mobilità	-
Logistica	-
Edifici	-
Assistenza Sanitaria	-
Sicurezza Pubblica	-

Come si evince dalla Tabella 2, i domini generali individuati sono generalmente sei e questo schema si può mantenere come punto focale in tutto il percorso della trattazione. Per chiarire in maniera ottimale il ruolo e l'importanza di questi aspetti si è cercato di spiegare in maniera molto sintetica tutti i domini. Si ricorda che in questo lavoro si andrà ad analizzare in particolar modo il dominio dei trasporti, ma in questa sezione si riporta per completezza una panoramica generale di tutti i domini, i quali influenzano il carattere smart di una città.

Un'altra tipologia di classificazione dei domini è quella di dividerli in base all'ambito in cui questi ultimi si inseriscono nel tessuto di una smart city:

1. **Risorse Naturali & Energia:** è una sezione in cui sono raccolti tutti i sotto-domini che modificano l'equilibrio di queste caratteristiche della smart city; infatti, al suo interno, sono presenti le **Smart Grids**, che sono un insieme di sensori che gestiscono la distribuzione dell'energia in modo intelligente, **l'Illuminazione Pubblica**, la **quantità di Energie Rinnovabili** usate in città (solare, eolica, geotermica, idroelettrica [18]) e la **gestione delle risorse idriche e dei rifiuti**, le cui gestioni sono una sfida ambientale fondamentale per il futuro [19].
2. **Trasporti & Mobilità:** in questo blocco sono presenti tutte le caratteristiche che modificano la morfologia del trasporto in una città; al suo interno sono presenti tre sotto-domini che rappresentano l'evoluzione intelligente degli spostamenti in città, intesi come previsione esatta e precisa degli orari del trasporto pubblico, elevata frequenza nel passaggio degli autobus, alto utilizzo dei sistemi di mobilità green e aumento della velocità di percorrenza; quest'ultima è una peculiarità di quegli agglomerati urbani che hanno deciso di adottare una strategia molto aggressiva di de-carbonizzazione, cercando di eliminare ogni vantaggio dello spostamento privato, in luogo di un uso maggiore del trasporto pubblico, che ovviamente rispetti le ultime normative in ambito ambientale [20].
3. **Edifici:** in questo dominio rientrano tre sotto-domini incentrati sulla **qualità delle costruzioni** (livello di sicurezza, di connessione con il tessuto urbano e di qualità ambientale riferita alle emissioni in costruzione e durante il suo utilizzo), **sulla gestione delle strutture**, intesa come il management di spazi destinati alla costruzione di nuovi edifici e sulla **building services**, intesi come servizi che rendono un edificio vivibile al 100%.
4. **Living:** è un dominio dove si cerca di includere tutte quelle misure che garantiscono un miglioramento della qualità della vita dei cittadini e quindi al suo interno sono presenti l'attenzione **all'assistenza sanitaria**, ai servizi riguardanti il **welfare** e la **sicurezza pubblica**. Oltre a questi, rientrano anche il **controllo dell'inquinamento**, che si collega al dominio dei trasporti e la **gestione degli spazi pubblici**, intesi come quantità di aree riservate a parchi e ad attrazioni pubbliche e la rimozione delle barriere architettoniche che migliorano la percezione della città.
5. **Government:** in questa sezione sono presenti tutti quegli accorgimenti che limitano la percezione di illegalità e di favoritismi nel tessuto sociale di una città più o meno grande; infatti, per **controllo degli appalti** e per **E-Government** si intende, rispettivamente, una trasparenza fondamentale nella trasmissione di un bando per l'assegnazione di un nuovo progetto e la completa visualizzazione dei documenti, relativi al bilancio economico e alle modifiche quotidiane delle regole, mediante accesso Internet.

6. **Economy & People:** all'interno di questa parte si cerca di unire due aspetti molto importanti per il tessuto urbano, vale a dire quello del **capitale economico** e quello del **capitale umano**; infatti, è importante per una smart city avere un insieme di persone molto attive e intraprendenti per cercare di ottenere finanziamenti da destinare a progetti che indirizzano l'agglomerato urbano verso un futuro maggiormente interconnesso.

Tabella 2: Logica di classificazione per domini e sotto-domini

Domini	Sotto-Domini
Risorse Naturali & Energia	Smart Grids
	Illuminazione Pubblica
	Energie Rinnovabili/Green
	Gestione dei Rifiuti
	Gestione Risorse Idriche
Trasporti & Mobilità	City Logistics
	Infomobility
	Mobilità delle Persone
Edifici	Building Services
	Gestione delle Strutture
	Qualità dell'Edificio
Living	Controllo dell'Inquinamento
	Sicurezza Pubblica
	Assistenza Sanitaria
	Welfare Services
	Gestione Spazi Pubblici
Government	E-Government
	Controllo sugli Appalti
	Trasparenza
Economy & People	Imprenditorialità e Innovazione
	Intrattenimento e Cultura
	Capitale Umano
	Educazione e Servizi Scolastici

1.4 Variabili di Contesto e influenza sui domini della Smart City

Le variabili di contesto sono riferite a quegli agenti esterni alla costruzione dei domini visti nel paragrafo 1.3, ma che in qualche modo influenzano la costruzione di un progetto all'interno del tessuto urbano considerato. Infatti, queste variabili si possono dividere in cinque categorie differenti, le quali non hanno per forza una correlazione tra di loro, nel senso che se si modifica una caratteristica di una città non è detto che vada a influenzare le altre presenti nella stessa categoria. Nel dettaglio, si possono dividere le seguenti variabili in queste categorie:

1. **Strutturale**, al cui interno sono presenti la Popolazione, la Densità abitativa e l'estensione di una città; queste tre caratteristiche sono importanti poiché è facile capire che in una piccola città a bassa popolazione è più semplice introdurre un progetto orientato al futuro e soprattutto che non è ancora ben testato rispetto ad una metropoli; infatti, è proprio questo il processo che si adotta per quelle attività che sono ancora in fase embrionale e che hanno bisogno di effettuare dei test reali per capire le potenzialità.
2. **Economica**, dove sono presenti tutte quelle variabili che influenzano la capacità di una città di produrre fatturato e, quindi, di accettare con miglior grado i progetti relativi alle smart city; infatti, questi progetti sono molto sviluppati nelle aree più ricche del Pianeta e sicuramente non possono trovare investitori nei Paesi sotto-sviluppati, dove si fatica a trovare cibo. All'interno di questa sezione si trovano il **PIL**, l'**Inflazione**, il **tasso di crescita** e il **PIL Pro-Capite**, che riassumono perfettamente il concetto di ricchezza di una nazione.
3. **Sociale**, che è composta dall'insieme delle variabili che caratterizzano la popolazione di una città, vale a dire dal tasso di disoccupazione e dal global Right to Information Rating, che rappresenta la promozione dei diritti fondamentali per la democrazia. Infatti, una città con un tenore di vita alto e con pochissimi problemi sociali, intesi come presenza di conflitti civili all'interno del Paese o presenza di disparità economiche troppo elevate, è sicuramente più adatta a sostenere il processo di adozione di un'idea correlata alla smart city, piuttosto che un paesino con problemi di lavoro e di inclusione sociale.
4. **Ambientale**, in cui sono presenti le emissioni di **inquinanti primari** (Particolato e Ossidi di Azoto), i quali incidono tantissimo sulla definizione di smart city, poiché una città di questo tipo dovrebbe avere queste quantità ridotte al minimo, per incrementare la qualità della vita dei suoi cittadini [21]. La maggior parte dei progetti svolti per le smart city verte su questi argomenti, proprio perché recentemente l'Unione Europea ha iniziato a finanziare questa tipologia di investimenti, creando un buono sviluppo in tutte le tipologie di città, anche quelle che prevalentemente hanno poco in comune con le smart city.

5. **Tecnologica**, che è rappresentata dal **Global Innovation Index** (che è un indicatore che valuta la disponibilità ad investire di una città) e dal **numero di strutture con accesso ad internet**, le quali indicano il grado di smartness di un agglomerato urbano; ovviamente, maggiore è il numero di postazioni collegate ad internet [22] e maggiore sarà la connessione e la trasmissione di dati, i quali sono importantissimi per questo aspetto della city.

Tabella 3: Classificazione delle Variabili di Contesto

Categoria	Variabile di Contesto	Unità di misura
Strutturale	Popolazione	Pop.
	Densità abitativa	Pop./km ²
	Estensione Città	km ²
Economica	PIL	M€
	PIL Pro-Capite	M€/pop.
	Inflazione	%
	Tasso di Crescita	%
Sociale	Tasso di Disoccupazione	%
	RTI	Posizione
	Country Expenditure	%
Ambientale	Emissione PM-10; PM-2,5	mg/m ³
	Emissione NOx	mg/m ³
Tecnologica	GII	Punteggio
	Internet Access	%

Per valutare l'impatto delle variabili di contesto sui domini principali della smart city descritti nel paragrafo precedente, si fa riferimento al Coverage Index (CI), che rappresenta un coefficiente calcolato con l'analisi statistica, che indicherà quanto una tipologia di progetto sia "Smart" rispetto ad un'altra e, in generale, quanto più è alto il C.I., tanto più è alto il livello di "smartness" del progetto. Al fine di elaborare tale indice, è necessario assegnare un valore ad ognuno dei domini e dei sotto-domini, affinché si possa calcolare il contributo di ognuno di essi sul Coverage Index.

Potrebbe essere utile riflettere sulle modalità di impatto delle variabili di contesto, precedentemente elencate, sulle città nell'attivazione di progetti Smart City e sui domini generali della stessa Smart City. Nella Tabella 4 si può vedere l'influenza delle variabili di contesto su ogni dominio principale; senza addentrarci in inutili spiegazioni teoriche, si spiega il modo di lettura di questa tabella:

- In ogni riga sono presenti le variabili di contesto, mentre le colonne rappresentano i domini principali in cui viene suddivisa una smart city;
- Per compilare la tabella, si valuta l'influenza di ogni variabile di contesto, se essa va incontro ad un aumento (tranne nel caso delle emissioni dove si è ipotizzata una riduzione di queste ultime), sul dominio interessato e si possono avere tre condizioni differenti:

- Se la variabile di contesto non influenza il dominio, si scrive N.C. nel riquadro interessato, come nel caso dell'influenza delle Emissioni di inquinanti primari nei confronti degli Edifici o del Government;
- Se questa variabile influenza il dominio, si può avere una condizione **positiva**, rappresentata dal simbolo "+", o un impatto **negativo**, visualizzato dal simbolo "-", come nel caso dell'aumento della Densità di popolazione, che provoca un impatto negativo sui Trasporti e gli Edifici e un impatto positivo sul Government e sull'Economy and People.

Tabella 4: Prospetto circa le ipotesi effettuate per ogni coppia di variabili. Il segno + indica che si immagina una correlazione positiva, il segno - indica una correlazione negativa, mentre NC indica che non si immagina nessuna correlazione.

Variabili di Contesto	C. I.	Ris. Naturali & Energia	Trasporti	Edifici	Living	Government	Economy & People
Popolazione	-	-	-	+	-	+	+
Accesso a Internet	+	N.C.	+	+	+	+	+
Spesa per Scolarizzazione	+	N.C.	N.C.	N.C.	+	-	+
Estensione Città	+	+; -	-	-	-	+	-
Densità di popolazione	-	-	-	-	-	+	+
Emissioni PM-10	+	-	+	N.C.	+	N.C.	-
Emissioni NOx	+	-	+	N.C.	+	N.C.	-
PIL	+	+	+	+	+	+	+
PIL Pro-Capite	+	N.C.	-	+	+	+	+
Tasso di Disoccupazione	-	N.C.	+; -	N.C.	-	-	+
GII	+	+	+	+	+	+	+

1.5 Mobility as a service & Internet of Things

Un conseguenza tangibile dell'aumento dell'urbanizzazione è il maggior inquinamento caratterizzante una città dotata di sistemi di riscaldamento e di trasporto, il quale rappresenta un ingente problema presente e futuro. A tal proposito, si è pensato di implementare la Mobility as a service (MaaS) nei modelli di mobilità sostenibile e smart, una soluzione “alternativa” che prevede la riunione di ogni tipo di trasporto in un'unica app mobile intuitiva, la quale combina le opzioni di trasporto dei diversi fornitori, gestendo ogni richiesta dalla pianificazione del viaggio ai pagamenti nel modo più intelligente e conveniente possibile.

MaaS nasce come un'alternativa easy and green rispetto ad una comune auto privata, e free-stress, in quanto consente agli utenti di raggiungere luoghi in una città nel modo più efficiente possibile. L'evoluzione dall'era industriale a quella digitale ha portato con sé innumerevoli innovazioni e sono sempre più numerose le applicazioni “mobile” fornite ai cittadini, legate al concetto di MaaS.

La figura 10 mostra un crescente tasso di urbanizzazione che nel 2050 ammonterà ad un 66% : la prima conseguenza corrisponderà ad un maggiore intasamento delle aree urbane, cui seguono maggiori tempi di percorrenza delle strade, una minor frequenza di passaggio del trasporto pubblico o un peggioramento della qualità dell'aria e della vita dei cittadini.

Considerando la continua crescita della densità urbana, la MaaS ottimizza i costi e i tempi del trasporto di merci e persone, e ,con l'aggiunta di una maggiore variabilità nel lato dell'offerta del trasporto, presenta sufficienti strumenti per rendere un sistema di trasporto più flessibile.



Figura 10: Incremento dell'urbanizzazione fino al 2050. Fonte: World Urbanization Prospects, 2014

I progettisti dei trasporti, in primo luogo, si occupano di costruire nuove infrastrutture che siano utili per alleviare la congestione, sia che si tratti di strade sia di riduzione dei tempi di percorrenza, con l'obiettivo di rendere le città più vivibili, senza renderle meno incentrate sui veicoli.

Se la priorità della MaaS, quindi, è quella di facilitare la vita dell'utente, allora tale servizio ha la capacità di ottenere informazioni ed elaborare tutte le opzioni possibili e le preferenze di ciascun utente [23], analizzando destinazioni e costi, permettendogli di pianificare e prenotare viaggi servendosi di un'unica app offerta dalla piattaforma MaaS, la quale non può che sfruttare la crescita dello smartphone. L'applicabilità del concetto "Mobility as a service" richiede, inoltre, una diffusione capillare della fibra ottica e della rete 5G, nonché un costante e preciso aggiornamento in merito alle opzioni e agli orari di viaggio.

Per consentire queste condizioni, inoltre, una vasta gamma di attori (oltre alle aziende, imprenditori singoli e pubblica amministrazione) dovrebbero interagire tra loro e con gli stessi clienti:

1. Operatori della gestione della mobilità;
2. Società di telecomunicazioni (come Tim, Vodafone, Operatori Virtuali);
3. Sistemi di pagamento (Visa, MasterCard e altri);
4. Fornitori di servizi di trasporto pubblici e privati (ad esempio, GTT per Torino, ATM per Milano, TPER per l'Emilia-Romagna e ATAC per la città di Roma);
5. Autorità locali, responsabili del trasporto e della pianificazione urbana.

Sicuramente efficace è l'integrazione dell'infrastruttura fisica, che consente il cambio in tempi rapidi tra i vari servizi di trasporto, come gli interscambi di autobus e metropolitane, o gli spazi per bici e car sharing nelle stazioni ferroviarie o in prossimità di quelle della metro.

CityMapper, Moovit e Ally sono alcune delle piattaforme utilizzate in tutto il mondo. Il fornitore di dati è uno degli strati intermedi tra l'operatore del trasporto e l'utente finale, e gestisce lo scambio di dati tra i vari fornitori di servizi, fornendo i gateway e le analisi dell'interfaccia di programmazione dell'applicazione (API) su utilizzo, domanda, pianificazione e reporting.

L'Internet of things (IoT), teorizzata per la prima volta nel 1999, consente di connettere tra loro oggetti e dispositivi di varia natura, anche i più "improbabili". Negli ultimi anni è riuscita a ritagliarsi uno spazio fisso nella stampa di settore, anche se spesso le notizie non sono del tutto positive. È possibile infatti che qualcuno ne evidenzi alcuni limiti sul fronte della sicurezza, i quali possono mettere a rischio sia i nostri dati personali, sia la tenuta stessa di Internet. Nondimeno, l'Internet of Things è uno dei trend tecnologici più importanti del decennio [23].

Stime risalenti ad ottobre 2017 ritengono che nel 2023 il valore dell'Internet of Things debba raggiungere i 200 miliardi di dollari (rispetto ai 16 miliardi del 2016), facendolo diventare uno dei settori più importanti e strategici del mondo dell'hi-tech.

Il fondatore degli Auto-ID Labs [24] del MIT, Kevin Ashton, dice dell'IoT: "Se avessimo computer che già conoscono tutto ciò che c'è da conoscere sulle cose utilizzando dati acquisiti senza il bisogno di intervento umano, saremmo in grado di tenere traccia e classificare tutto ciò che ci circonda riducendo la quantità di rifiuti prodotti, perdite e costi. L'Internet of things ha il potenziale di cambiare il mondo esattamente come lo ha cambiato Internet. Forse anche di più."

In altre parole, il termine IoT racchiude tutte le tecnologie che consentono di trasformare un qualunque oggetto in un dispositivo connesso ad Internet, quindi provvisto di tutte le funzionalità e caratteristiche di device creati e progettati per essere utilizzati sul web [25]. In tale categoria, quindi, si annoverano i protocolli di comunicazione che permettono di connettere vari dispositivi tra di loro.

Qualsiasi prodotto facente parte di una routine presenta tutti i requisiti per poter essere trasformato in un oggetto smart : non sorprendono, perciò, le stime rivolte al 2020, per il quale si prevede che i dispositivi connessi e facenti parte dell'IoT saranno 26 miliardi.

Attualmente i dispositivi dell'Internet of Things sono progettati e realizzati per rispondere alle funzioni di **monitoraggio e controllo**. La connettività e la capacità di comunicare, difatti, forniscono all'utente la possibilità di monitorare, anche a distanza, il funzionamento di un dispositivo IoT. Ne sono esempio i sistemi di videosorveglianza che possono essere consultati 24 ore al giorno e che si possono comandare dalla centrale operativa per le amministrazioni pubbliche o semplicemente da un'app per il comune cittadino.

I sensori e i tag, dal canto loro, instaurano una connessione tra l'oggetto e l'ambiente in cui esso è collocato, con la rilevazione di dati utili al suo funzionamento ed un conseguente adattamento. (ad esempio, un impianto di riscaldamento di un'abitazione che, sfruttando i dati dei sensori, regola automaticamente la temperatura dell'ambiente per garantire il giusto livello di benessere a chi ci vive o ci lavora). [26]

Da tale premessa, è possibile estrarre la consapevolezza di come in realtà con ci siano limiti ai possibili campi di applicazione dell'IoT, anche se al giorno d'oggi la concentrazione è focalizzata sul campo della domotica, sulle Smart Cities e sugli impianti di controllo e produzione industriale. E chissà, magari tra qualche anno sarà la stessa sveglia a decidere quando suonare in base alle nostre abitudini e all'orario cui siamo andati a dormire.

1.6 Problemi di mobilità per il futuro

Il numero di domini cittadini coperti da “smart proposals” è significativamente correlato alla densità demografica, ma non alle dimensioni di una città in termini di popolazione : tutte le città, sia grandi che piccole, presentano punti di forza e punti deboli in termini di capacità di innovazione. Tuttavia, i piccoli centri urbani rappresentano un buon “ecosistema” per avviare nuove sperimentazioni su scala limitata e possono mostrare meno inerzia derivanti da investimenti passati in infrastrutture ICT.

L’avanzamento della tecnologia, la disponibilità di nuove fonti di energia ed il ruolo che lo smartphone ha assunto nella quotidianità hanno comportato un adattamento del concetto di mobilità, che abbraccia quello di una città in evoluzione.

Se le automobili stanno perdendo la posizione di rilevanza mantenuta sino agli inizi del 21° secolo, la causa è da rintracciarsi nei cambiamenti dovuti alla praticità. Come rilevano le statistiche, il consumo usuale della mobilità ha raggiunto una volta storica : l’auto personale, simbolo di indipendenza, nonché di status sociale, sta perdendo non solo i suoi vantaggi rispetto alle diverse forme di trasporto, ma anche una delle sue applicazioni basilari, in quanto le city car non sono più il mezzo per spostarsi comodamente e velocemente dal punto A al punto B ovunque e in qualsiasi momento.

In alcuni luoghi, le auto nel futuro potrebbero risultare utili solo nella combinazione di viaggi individuali e trasporti pubblici, integrandosi e contribuendo alla mobilità necessaria. Le automobili, quindi, cesseranno di essere la prima scelta e saranno un tassello in un sistema integrato di mobilità e trasporto.

Se la tradizionale risposta ai problemi di congestione è la costruzione di nuove strade, questo non fa che stimolare l’utilizzo dell’automobile e così si torna alla questione di partenza, dando vita ad un circolo vizioso causa del degrado della qualità dell’aria, del riscaldamento globale e della riduzione della qualità della vita nelle città.

La disorganizzazione della città induce la popolazione a risiedere in luoghi lontani da quelli in cui si svolgono le principali attività, causando un aumento del numero di spostamenti e viaggi. Pertanto, si osserva una riduzione della frequenza dei trasporti collettivi ed il trasporto individuale diviene più conveniente.

Nella figura 11 è evidenziato il ciclo che porta alla costruzione di nuove strade, azione che però è considerata ‘ingenua’ dato che incrementa notevolmente il traffico urbano e la crescita urbana indisciplinata.



Figura 11: Circolo vizioso che porta alla costruzione di nuove strade per la risoluzione dei problemi di congestionamento di una città. Fonte: Ministério das Cidades, 2008

La mancanza di corsie riservate agli autobus rende questi veicoli sempre più lenti e potenzialmente meno attraenti, portando a una maggiore resistenza al loro utilizzo e quindi a un maggior numero di utenti che migrano verso il trasporto individuale.

Il trasporto collettivo è reso disponibile quando il veicolo destinato a questo scopo viaggia in modo efficiente offrendo buone performance e riducendo al minimo i tempi di viaggio degli utenti, soprattutto rispetto all'auto, indi per cui uno degli obiettivi delle smart cities è proprio quello di rendere i mezzi pubblici un sistema di mobilità che si delinea migliore o quantomeno uguale all'auto personale, a proposito di viaggio, comodità e sicurezza.

In merito al trasporto individuale, in alcuni Paesi sono già diffuse misure che limitano l'utilizzo di veicoli privati, in modo particolare nei grandi centri urbani. Basti pensare ai pedaggi o alle politiche di prezzo per il parcheggio. Inoltre, l'uso di auto individuali non può che causare un aumento dell'indice di inquinamento, con ripercussioni non indifferenti sulla salute pubblica.

Le sostanze invisibili sono i cosiddetti PM-10 e PM-2.5, generati dai processi di combustione nelle automobili e nelle industrie e dai sistemi di riscaldamento. Sono frammenti solidi di sostanze inquinanti inferiori o uguali a 10 e 2,5 micrometri di diametro, della misura quasi 20 volte più piccola di quelli di un granello di sabbia, che tecnicamente si depositano su un filtro quando essi sono a 52°C e con un opportuno rapporto di diluizione con l'aria.

Secondo diversi studi, si sostiene che quanto più piccola è la particella, tanto maggiore è il danno alla salute della popolazione. I dati sono quindi impressionanti e accendono un campanello d'allarme sia per la riduzione di queste emissioni nell'immediato presente, che per la conversione dei sistemi che provocano queste emissioni in sistemi "zero emissions".

Il particolato è costituito da particelle fini di solidi o liquidi (parte solubile del particolato che viene assorbita da quella solida, la cosiddetta SOF) sospesi nell'aria. Entrano nel flusso sanguigno e causano problemi respiratori e cardiaci; la Commissione Europea ha deciso che il limite annuo medio entro cui le città devono sottostare è di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mentre è possibile sfiorare per 35 giorni l'anno il limite di $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. In pratica, fino al mese di ottobre 2015, a Torino e a Milano si è superato questo limite rispettivamente per 60 e 77 giorni, e questi sono dati molto allarmanti [27]. Inoltre, rispetto ai dati del 2015, negli ultimi anni non si è affatto avuto un miglioramento, a causa dei cambiamenti climatici e della mancata sostituzione di automobili a diesel e di caldaie di riscaldamento con sistemi di ultima generazione.

Un altro problema molto importante per la salute dei cittadini sono le emissioni di NO_x , che in questi ultimi anni stanno aumentando a causa del maggior numero di vetture diesel presenti nel parco automobili e anche a causa delle caldaie di riscaldamento ormai vetuste, che non sono state ancora sostituite. Nella figura seguente si mostra la diminuzione di emissioni NO_x nelle zone dove si è attivato il tele-riscaldamento, rispetto a quelle dove è ancora assente.

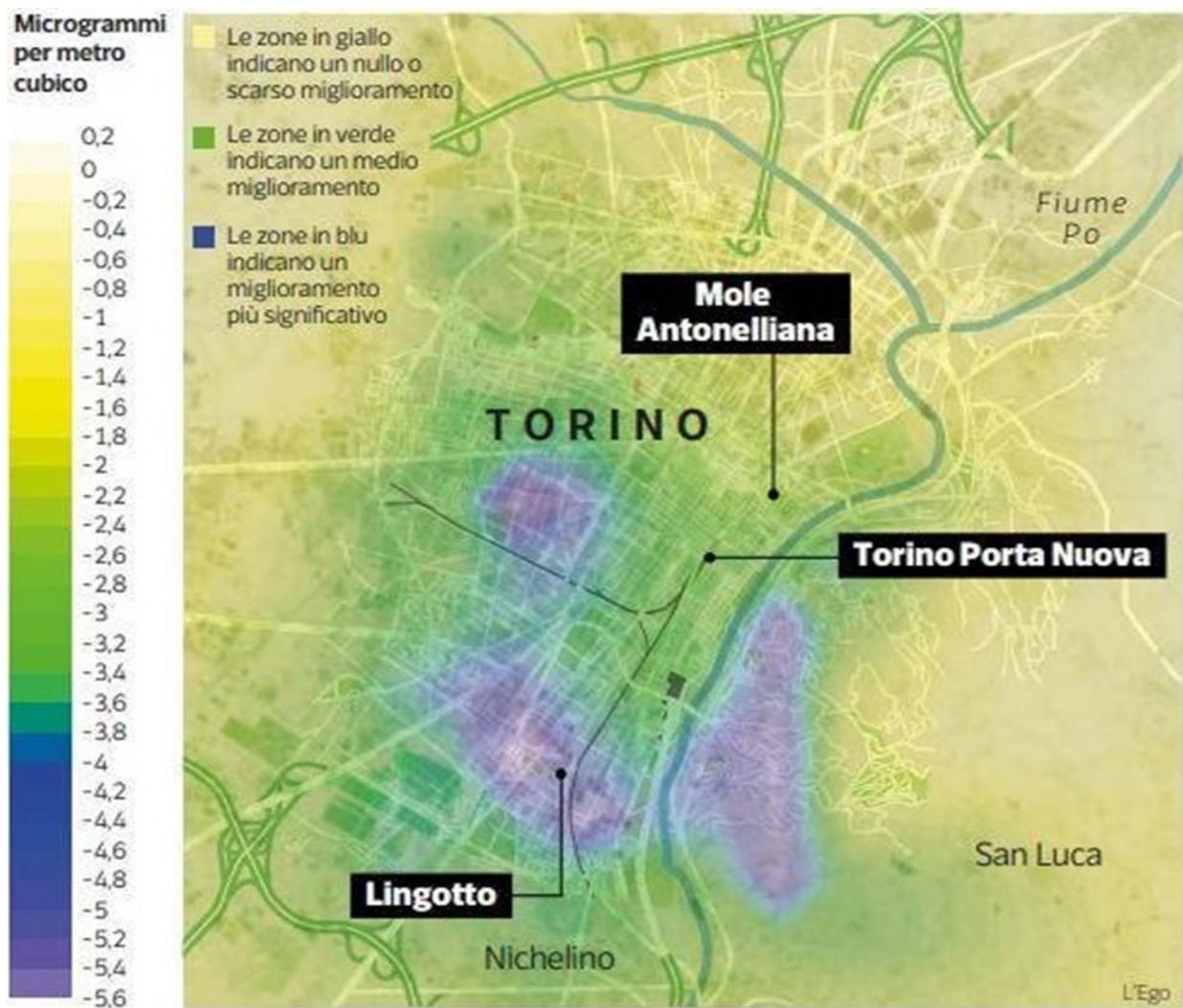


Figura 12: Differenza di concentrazione degli ossidi di azoto (NO_x), in seguito all'introduzione del teleriscaldamento, in luogo delle classiche caldaie. Fonte: www.corriere.it

Secondo i ricercatori, un ulteriore segnale di inefficienza è che le automobili occupano molto più spazio nelle strade, ma rispondono a meno di un terzo delle persone trasportate. Questa inefficienza si osserva anche nell'inquinamento. Quando si usa un'auto, un passeggero emette molto più particolato e CO2 per ogni chilometro che viene percorso, rispetto a un passeggero che utilizza una motocicletta o un autobus, come riportato nella parte alta della Figura 20.

In questo tipo di confronto, i ricercatori non riportano i dati sugli autobus extra-cittadini perché non sono disponibili dati sul numero di passeggeri trasportati. Questa stessa inefficienza si applica anche alle emissioni di gas serra (parte bassa Figura 20), che non danneggiano direttamente la salute, ma sono responsabili del riscaldamento globale. Questi dati sono riferiti alla città di San Paolo in Brasile, ma sono tranquillamente riferibili a moltissime grandi città presenti in UE o negli USA.



Figura 13: Nella parte superiore sono descritte le emissioni di PM per km percorso da un passeggero a bordo di quei mezzi, mentre l'altra figura rappresenta le emissioni di GHG giornaliere suddivise per tipologia di mezzo di trasporto. Fonte: IEMA, 2017

Gli aspetti ambientali e le risorse naturali sono i fattori che determinano il concetto di mobilità. Le aziende ed i fornitori di piattaforme estendono il proprio interesse alle esigenze delle persone e mirano ad un utilizzo più efficiente delle risorse e delle infrastrutture di trasporto con lo scopo di fornire una mobilità ecologica avente alla base le energie rinnovabili.

Tale aspetto è oggetto di interesse per l'industria automobilistica, ma anche per i governi, in quanto la de-carbonizzazione rappresenta il principio fondamentale dell'economia ed il motore della trasformazione della mobilità.

Il quadro politico negli ultimi anni è molto chiaro e persegue un'unica direzione: entro il 2050, le emissioni di gas serra prodotte dal settore dei trasporti devono essere almeno il 60% inferiori ai livelli del 1990. In vista di normative sempre più severe, i combustibili fossili avranno un ruolo marginale per l'alimentazione dei sistemi di trasporto; infatti, alcuni Paesi stanno già lavorando in questa direzione: ad esempio, la Norvegia prevede di vietare completamente le auto con motore a combustione entro il 2025.

La mobilità post-fossile, tuttavia, non solo dipenderà dalle auto, ma sarà possibile solo in seguito ad una totale trasformazione dell'intero panorama della mobilità stessa.

La mobilità elettrica avrà grande successo solo se alla base avrà requisiti quali un utilizzo intelligente e connesso del trasporto ed infrastrutture energeticamente sostenibili. Essa si fonda sull'inclusione di veicoli in una realtà di trasporto multimodale, inserita in un Pianeta che sfrutta al 100% energie rinnovabili.

Per essere attraenti e competitive, le sfruttano i sistemi di trasporto pubblico e garantiscono un funzionamento ecologicamente sostenibile, elementi che devono acquisire la stessa importanza attribuita all'auto individuale. Nello specifico, il requisito chiave che assicura il successo della mobilità elettrica è individuabile a livello dell'innovazione nell'operatività e nei veicoli, che spiana la strada verso la mobilità a emissioni zero.

La nuova generazione, estesa ad una società connessa per mezzo dell'internet, che quindi non comprende solo i giovani consumatori, è fortemente improntata sulla condivisione, la quale rappresenta la base per la formulazione del neo-concetto di mobilità.

Lo sharing sta acquisendo grande popolarità in quanto fornisce agli utenti la possibilità di usare un mezzo "privato" senza possederlo, il che comporta notevoli vantaggi, anche economici. Sharing, quindi, diviene sinonimo di flessibilità e trasporto. Quasi tutte le case automobilistiche hanno approcciato a questo nuovo concetto, progettando nuovi modelli di business e sviluppando ulteriormente i propri prodotti di car sharing.

Sempre più persone si convertiranno a tale nuova idea di trasporto, sfruttando la possibilità di usufruire di un mezzo quando necessario, il quale, inoltre, risponde alle non meno importanti esigenze di gusto. Ciò avrà ripercussioni sulla flessibilità e sull'efficienza dei costi, che tenderanno ad aumentare, ma anche sull'impatto ambientale, e alleggerirà i sistemi di trasporto locali, garantendo una mobilità personalizzata.

Studi scientifici confermano che un'auto condivisa sostituisce almeno tre autovetture private, ma si dovrà lavorare molto sull'opinione pubblica, che è ancora molto restia ad abbandonare l'automobile di sua proprietà e le abitudini che derivano dal suo possesso.

Infine, la condivisione sarà il principio funzionale non solo per l'uso privato individuale dei veicoli, ma anche per il pendolarismo lavorativo, sotto forma di car sharing aziendale.

CAPITOLO 2: Analisi degli Scenari dell'evoluzione del sistema di trasporti in una Smart City

Negli ultimi anni diversi studiosi hanno cercato di analizzare il futuro del settore dei trasporti, anche con l'obiettivo di capire come gli impatti ambientali possono essere ridotti drasticamente; in questa parte del lavoro si cerca di effettuare un'analisi delle dinamiche attuali e future della mobilità urbana [1], che è espressamente incentrato sul settore socio-tecnico (ST) dell'innovazione[2]. Gli scenari di tipo ST differiscono dalle altre tecniche di previsione in quanto forniscono una rappresentazione più sistemica e realmente dinamica del futuro e dei cambiamenti [3]. In particolare questi scenari sono utili non tanto per la descrizione statica dei risultati futuri, quanto per l'analisi delle dinamiche future, dei diversi attori che contribuiscono alla formazione dei suddetti scenari, dei percorsi di transizione e del ruolo degli interventi pubblici. [4, 5]

Bisogna evidenziare due aspetti che sono al centro di questi scenari, soprattutto nell'ambito dei trasporti:

- A. Cooperative di attori innovativi, motivati da diversi interessi, idee o sistemi di promozione; i trasporti sono al centro del processo di cambiamento urbano.
- B. I percorsi di transizione dipenderanno fortemente dall'abilità di cooperative esistenti ed emergenti di sfruttare il loro posizionamento attuale, inteso come ambito in cui questi insiemi di aziende operano, per trasformare le loro reti comunicative ed influenzare positivamente l'evoluzione della mobilità urbana.

Una cosa da tenere presente è la relazione tra le dinamiche delle cooperative e quelle delle istituzioni politiche, vale a dire se questi due attori sono sulla stessa linea di pensiero oppure se ci sono dei contrasti molto forti, che potrebbero incidere sull'andamento di un progetto o sulla sua validazione.

L'analisi non è limitata soltanto all'auto e alle sue evoluzioni future, ma l'attenzione è rivolta anche a due diverse dinamiche: lo sviluppo dell'attuale sistema di mobilità urbana, basato sull'automobile privata, e la sua integrazione in nuovi sistemi della mobilità urbana, volti a ridurre le emissioni di carbonio (ad esempio la propulsione elettrica, il car-sharing, la sostituzione degli autobus urbani con quelli di ultima generazione, ecc.).

In questo capitolo si procederà con l'analisi dell'attuale situazione urbana riguardo i sistemi di mobilità e poi si presenteranno tre scenari di transizione alternativi per il 2030, che è stato scelto come anno di riferimento perché, allo stesso tempo, è abbastanza vicino da garantire una conoscenza sufficiente dei componenti che andranno a influenzare il futuro, ed è abbastanza distante da poter consentire percorsi di transizione alternativi. Sia i percorsi di transizione, che gli scenari non fanno riferimento ad una specifica situazione geografica, ma si cerca di effettuare delle considerazioni quanto più possibili globali, cercando di considerare tutt'al più la situazione europea.

2.1 Analisi dell'approccio ST alla mobilità urbana

In questa sezione si approfondisce l'approccio socio-tecnico (ST) all'analisi del processo di innovazione, incentrato sulla mobilità. In questo caso si vogliono sottolineare due specificità che sono molto rilevanti per la seguente analisi. La prima è che l'approccio di tipo ST **non è conservativo**: la complessità è esplicitamente considerata come una caratteristica rilevante del processo di innovazione.

In particolare, l'innovazione tecnologica non è considerata il motore principale dell'innovazione, ma è un elemento strutturale del funzionamento dell'economia, che interagisce con altri componenti istituzionali ed economici[6].

Al centro dell'analisi si può trovare **l'azione intenzionale** di individui e gruppi, il potere, gli interessi, i conflitti tra gli individui, la politica e l'opposizione ai cambiamenti[7]. Ciò significa soltanto che nessuna innovazione può esistere senza azione umana [8]. Le funzioni sociali (alloggio, alimentazione, produzione, fornitura di energia, ecc.) sono soddisfatte da uno o più sistemi ST.

L'approccio ST è un concetto che viene suddiviso in livelli relativi allo spazio: al livello inferiore troviamo i suoi singoli componenti (regole, leggi, conoscenze, attori, preferenze, risorse finanziarie, ecc.), mentre a livello macro si considerano fenomeni e tendenze socioeconomiche globali, che esulano dall'ambiente in cui viene approvato un progetto ST. Altri due concetti di base completano la sua definizione:

1. Il sistema ST dominante è una struttura di tipo stabile e potente, che influenza fortemente la dinamica di tutti gli altri sistemi subalterni o secondari[9];
2. Esiste un insieme di sistemi ST, ovvero uno spazio, in cui il sistema è parzialmente o totalmente protetto dall'esterno, per poter interagire solo con altri sistemi ST. Questo insieme viene definito come una nicchia di sistemi ST ed esso è particolarmente rilevante per la generazione e la sperimentazione di innovazioni e per il potenziamento dei nuovi sistemi ST.

Gli attori, tutti caratterizzati da razionalità limitata, sono il motore del processo di cambiamento evolutivo: attraverso le azioni compiute, essi replicano la struttura del sistema ST; allo stesso tempo, generano, direttamente o indirettamente, la variazione e selezione di variabili strutturali. Ogni attore presenta doti immateriali (risorse fisiche e finanziarie, conoscenza e competenze, capitale sociale e legittimità, ecc.) ed è motivato ad intraprendere progetti dalle sue idee e visioni ed esso può influenzare la dinamica dei sistemi ST.

L'appartenenza delle cooperative agli attori è quindi fondamentale per comprendere le dinamiche e le interazioni dei sistemi ST e si ha la suddivisione degli attori in due tipologie: le cooperative di "*attori principali*" sono interessate e agiscono attivamente per la riproduzione di un sistema ST esistente, mentre le coalizioni di "*attori secondari*" cercano di trasformare un'innovazione in una pratica sociale per stabilire un nuovo sistema ST.

Il Potere politico, la legittimità e le capacità di avere relazioni molto forti sono essenziali per entrambi i tipi di coalizioni [8]: gli attori principali usano le loro doti e i loro poteri per catturare l'attenzione della politica e ottenere finanziamenti importanti per lo sviluppo del progetto; invece, gli attori secondari hanno bisogno prima di influenzare la cultura presente in quel Paese, i dibattiti politici e le regole informali, prima di raggiungere una credibilità duratura e un'influenza importante sulle norme formali e politiche, sempre per il discorso di ottenere finanziamenti che risultano essere ossigeno per questi progetti [10].

La dinamica dei sistemi ST può essere raggruppata in due grandi famiglie: l'adattamento di un sistema ST dominante e il tentativo di un altro sistema ST per assumere la posizione dominante. L'adattamento può essere spiegato nel cambiamento delle abitudini nelle istituzioni, nei mercati; il livellamento di tali cambiamenti è garantito dalla struttura ed è supportato da una coalizione di attori, interna al sistema dominante e che si impegna per la sua sopravvivenza.

La situazione cambia completamente quando un sistema "secondario" tenta di ottenere la posizione dominante: è necessario un processo di ricerca di risorse, conoscenze, attori, che sono già coinvolti nel sistema dominante; si devono creare nuove tecnologie e ricercare nuovi mercati in cui il sistema può essere interessante e, inoltre, deve essere attivato un nuovo processo di allineamento multidimensionale [11].

Infatti, per cercare di ricondurre questi concetti teorici alla realtà, si può correlare nel campo della mobilità il sistema ST dominante a quello degli spostamenti privati e quello secondario agli spostamenti con il trasporto pubblico o con i sistemi di mobilità leggera.

Invece, le nicchie ST, definite precedentemente, possono svolgere un ruolo rilevante in entrambi i tipi di dinamica, vale a dire:

- in caso di adattamento, le nicchie possono unirsi attivamente al sistema dominante;
- in caso di sistema secondario, le nicchie contribuiscono a minacciare la posizione dominante del sistema ST già esistente e a stabilire una nuova posizione dominante. [12]

I sistemi ST sono di solito analizzati a livello nazionale / internazionale; a volte la città, insieme al suo eco-sistema locale, viene presa in considerazione, ma solo come destinataria dell'attuazione di un processo di innovazione, generato e ideato su una scala più grande. Negli ultimi anni il ruolo attivo della città è aumentato l'interesse degli studiosi dei sistemi ST per l'integrazione di questi ultimi nell'ambito urbano.

La città è considerata come un luogo dove le coalizioni, vale a dire l'unione di più attori, possono essere costruite più facilmente; le associazioni locali possono essere mobilitate per la sperimentazione di pratiche innovative, mentre l'istituzione di nuove normative è più snella, cioè la città è un ambiente favorevole alla stabilizzazione e lo sviluppo di nicchie ST [13]. Ma la città può avere un ruolo più importante rispetto al fatto di essere solo spettatrice passiva dell'insediamento di nuove nicchie:

1. I sistemi locali ST possono coesistere con un sistema dominante nazionale / internazionale (ad esempio, nel caso di sistemi di trasporto urbano non automobilistico);
2. Le nicchie di tipo ST possono essere situate a livello locale / urbano, ma poi la dinamica del sistema dominante si applica a livello nazionale / internazionale (ad es. nel caso di auto elettriche);
3. Il livello locale / urbano non è rilevante per la riproduzione e il cambiamento del sistema ST dominante (ad es. nel caso dell'adozione del car-sharing o di nuove tecnologie di propulsione).

2.2 Presentazione di una mappa Socio-Tecnica di una città

In questo paragrafo si presenterà nel dettaglio la mappa Socio-Tecnica di una città, che serve per definire la posizione di cooperative, sistemi innovativi e amministrazioni politiche; inoltre, si cercherà di capire in che modo lo scenario iniziale può evolversi, mediante l'ipotesi di tre percorsi evolutivi differenti, valutati in base a dei fattori che verranno spiegati successivamente. Allo stato attuale, gli attori sono in grado di:

- A. Implementare le proprie strategie innovative;
- B. Riconfigurare le loro cooperative e, magari, ampliarle;
- C. Modificare la loro influenza su istituzioni e mercati.

Il posizionamento di questi attori si riferisce a tre variabili:

- A. Modelli di Business (come quello che si avvale dei Canvas, presentato al paragrafo 2.4);
- B. Tecnologie di propulsione (convenzionale, ibridi, elettrici);
- C. Influenza degli attori sulla politica e sull'opinione pubblica.

Se le prime due variabili si riferiscono alla competenza tecnologica dei singoli attori e dei sistemi e vengono rappresentate rispettivamente sull'asse delle ascisse e delle ordinate, la terza variabile indica l'importanza che quella specifica tecnologia ha in quella città o in quello scenario e nei grafici è rappresentata dallo spessore del contorno del rettangolo, che racchiude al suo interno i sistemi.

Se lo spessore è elevato, significa che si sta rappresentando il sistema dominante, mentre se il contorno è standard si indicano gli altri sistemi alternativi a quello dominante e infine se ci sono dei punti si è di fronte alle nicchie di sistemi ST. In generale, gli attori sono rappresentati dagli elenchi puntati (per attori si intendono tutti quegli individui che contribuiscono alla realizzazione o al sostentamento di quel sistema), mentre le frecce rappresentano le competenze inserite in quel sistema. Vengono presentati, di seguito, 3 sistemi di mobilità urbana e una nicchia, la quale è quella dei sistemi di condivisione [1].

Un approccio socio-tecnico viene utilizzato per dimostrare che il futuro della mobilità urbana dipende dalla competizione tra cooperative di attori innovativi, che sostengono sistemi di trasporto alternativi.

Il sistema dell'auto privata beneficia di una posizione dominante sulle alternative attuali, intese come sistema di mobilità urbana, ma sono presenti pressioni esterne per il cambiamento. Ciò è dovuto non solo per la sua notevole quota di mercato nella mobilità (oltre l'80% dei viaggi totali in tutti i Paesi sviluppati), ma anche per la capacità dei suoi attori principali (società automobilistiche e petrolifere) di influenzare le istituzioni e la società nel suo insieme [14]. Il sistema è ben ottimizzato sul modello di business di "vendita" di automobili (e altri veicoli) alle persone con una crescente attenzione alle economie emergenti dal punto di vista del business, mentre dal lato delle "tecnologie di propulsione" è presente una freccia verticale nera in Figura 3 che rappresenta il graduale passaggio dalla propulsione termica (benzina, diesel, 99% della flotta circolante) a quella elettrica[15].

L'industria automobilistica è il principale attore di questo sistema ed è evidenziato dal contorno molto spesso del rettangolo; alcune società sono posizionate nella mappa per esplicitare l'esistenza di diverse strategie innovative. Fiat e Volkswagen sono solo due esempi di aziende più conservatrici nella strategia di innovazione (ad oggi, la più diffusa), basata su efficaci motorizzazioni a combustione interna e downsizing: essa è adottata dalla maggior parte dei produttori, come Daimler, Ford, Hyundai, Nissan, Honda e Toyota [16].

Toyota e Honda sono anche i principali promotori dell' "ibridazione" delle automobili; hanno scelto la propulsione ibrida come il punto di partenza per il processo di innovazione tecnologica che, allo stesso tempo, è abbastanza flessibile da consentire l'accesso futuro alle auto totalmente elettriche e che non è troppo rischioso per quanto riguarda il lato economico delle aziende[20]. Altre importanti aziende automobilistiche - ad es. Peugeot e Nissan - sono passate direttamente alla tecnologia dell'auto "full electric", ma principalmente come parte minima delle loro immatricolazioni annue e per anticipare un processo che tra qualche anno diventerà obbligatorio intraprendere [17].

Infatti, questa è la strategia implementata dalla maggior parte dei nuovi costruttori cinesi, che stanno investendo nella tecnologia del "full electric", senza avere dei costi sommersi, frutto di investimenti precedenti. Anche piccoli produttori di automobili specializzati (come Heuliez, Pininfarina, Valmet, ecc.) stanno provando a sviluppare i propri veicoli elettrici su una base produttiva e commerciale limitata, o cercando di riutilizzare componenti di automobili già esistenti.

I fornitori di componenti sono un altro attore industriale rilevante nella produzione di automobili; in particolare, i produttori di batterie - e altri componenti elettrici ed elettronici - svolgono un ruolo sempre più rilevante nello sviluppo futuro e presente dell'elettrificazione : alcuni di essi stanno implementando strategie autonome, come Bolloré - che ha sviluppato il programma di car sharing parigino "Autolib" con Pininfarina (il produttore italiano dell'auto elettrica "Bluecar") - e BYD (Build Your Dreams), un produttore cinese di batterie per computer e telefoni cellulari, che ora ha spostato parte della produzione sulle automobili e gli autobus.

Altri produttori di automobili stanno provando un diverso approccio per aumentare la loro quota di auto "full electric": Nissan-Renault ha già lanciato l'opzione mista di vendita delle auto, abbinata al noleggio delle sue batterie, in collaborazione con Better Place; BMW (con le sue Mini Elettriche) e Daimler (con la sua Smart elettrica, in vari modelli) producono le loro auto in collaborazione rispettivamente con Vattenfall e con Enel, e queste aziende forniscono vantaggi

economici sull'installazione di una colonnina in casa, oppure sul costo di ricarica in una colonnina pubblica installata da queste due aziende.

Il **Trasporto Pubblico** è uno dei due sistemi di mobilità urbana che sono alternativi rispetto all'uso dell'auto privata, in termini di suddivisione modale del trasporto (spesso inferiore del 10% della mobilità totale) ed esso influenza le politiche nazionali, poiché a livello urbano e regionale questo sistema è in grado di ottenere una significativa quantità di risorse pubbliche, che vengono utilizzate per costruire infrastrutture dedicate e servizi di sovvenzionamento. [5, 18]

Questo sistema è principalmente centrato sul modello aziendale di "gestione" delle reti di trasporto, infrastrutture e servizi, ma con un'esperienza ben radicata nel modello degli "affitti" (basti pensare ai contratti di appalto che vengono indetti dai comuni o dalle regioni per poter acquistare autobus nuovi, in cui è inclusa anche la manutenzione per 10 anni, oltre all'acquisto del veicolo). Fin dalla sua nascita è stato in grado di collegare veicoli (carrelli, tram, treni, ecc.) alla rete elettrica; questo è il motivo di una freccia verticale nera che copre tutta le tecnologie della propulsione motorizzata. [17]

Entrambi gli attori più rilevanti di questo sistema sono locali: aziende di trasporto pubbliche e autorità urbane e regionali. Alcune città sono posizionate sulla mappa come esempi dei vari mondi urbani, che sono tra l'altro molto diverse tra loro, e sono aree in cui è già avvenuta una transizione dal trasporto pubblico a quello multimodale (ovvero l'integrazione di singoli mezzi e di modalità collettive, compresi diversi sistemi di parcheggio e di biglietti integrati che possono essere usati su diverse tipologie di mezzi), generando così una riduzione dell'uso delle singole autovetture fino al 40% della mobilità totale (dall'80%). Con l'eccezione di questi casi, il "trasporto pubblico", di solito, viene associato all'immagine di "trasporto per i poveri". [19]

La **Bicicletta** è l'altro sistema secondario di mobilità urbana: in Nord America, Europa e Australia la quota media di viaggi effettuati con questo mezzo di trasporto sono trascurabili, vale a dire circa il 2%. Questa cifra è il risultato di una tendenza in declino iniziata diversi decenni fa nei paesi sviluppati e più recentemente nelle economie emergenti. A partire dalla metà degli anni '70 la bici è ritornata in auge, supportata da fattori pubblici e movimenti politici, entrambi mirati a un livello più elevato di salute degli utenti, di vivibilità urbana e di qualità ambientale. Paesi Bassi, Danimarca e Germania hanno le migliori performances in quest'ambito, con oltre il 10% di mobilità urbana attuale assicurata dalle biciclette; vale la pena menzionare che in alcune città del nord Europa le biciclette servono ad effettuare più del 25% dei viaggi totali.

Questi casi di diffusione più ampia sono il risultato di un'azione in diversi ambiti, che combina piani e linee guida nazionali con la disponibilità locale di piste ciclabili, parcheggi dedicati e altre misure (moderazione del traffico, modifiche degli incroci, integrazione con trasporto pubblico, cultura dei cittadini, ecc.)[20]. Recentemente si è registrato l'uso crescente di biciclette in alcune città del Nord America (Portland, Minneapolis, Vancouver, ecc.), con una quota risultante che è ancora circa il 3-5% dei pendolari, ma raggiunge il 6-8% nelle aree più centrali delle seguenti città; questo è dovuto principalmente alla costruzione di nuove piste ciclabili dalle amministrazioni locali .

Come il sistema dell'auto privata, anche quello della Bici è incentrato sul modello di business di vendite e, grazie alla crescente diffusione delle biciclette elettriche [21], è in grado di coprire tutte le tecnologie di propulsione. Il Worldwatch Institute riferisce che in tutto il mondo vengono prodotte più biciclette che automobili (rispettivamente circa 130 milioni e 70): non a caso la Cina è il maggiore produttore e acquirente di biciclette (di cui 13 milioni di e-bike) .

	Inattivo	Irregolarmente attivo	Regolarmente Attivo
Malattie Cardiache	2,0	1,4	1,0
Ipertensione	1,5	1,2	1,0
Infarto	2,0	1,4	1,0
Depressione e Ansia	1,3	1,1	1,0
Diabete	1,5	1,2	1,0
Cancro al seno	1,5	1,2	1,0
Osteoporosi	2,0	1,4	1,0
Cancro al Colon	2,0	1,4	1,0

Figura 14: Fattore di rischio associato all'attività fisica. Fonte: Garrett e al. (2004)

L'uso della bicicletta può contribuire a frenare gli alti livelli di inattività fisica a livello mondiale, che è responsabile dal 6% al 10% del carico di malattie non trasmissibili, come il diabete, malattie cardiovascolari e tumori del seno e del colon. [22]

Oltre al miglioramento della condizione sanitaria, c'è anche da rilevare un miglioramento del benessere della popolazione che va in bici rispetto a quella che usa le automobili [23].

Oltre alle migliori condizioni di salute degli utenti, si registra anche una riduzione importante delle emissioni di CO2 negli agglomerati urbani; oltre a ciò, si evidenzia anche la riduzione di inquinamento acustico e un generale miglioramento della qualità della vita del quartiere o della città interessata da questo cambiamento e proprio per questo motivo la bicicletta è stata dichiarata come mezzo di trasporto sostenibile nel documento "New Urban Agenda".

La mappa della mobilità urbana è completata dal rettangolo nero tratteggiato, che rappresenta la nicchia di "**schemi di condivisione**", ovvero i sistemi che forniscono ai loro membri l'accesso a un veicolo per un uso a breve termine (con tariffe al minuto o al giorno), riducendo così i costi individuali di proprietà dell'auto.

Una flotta di veicoli, una rete diffusa di parcheggio dedicato (o semplicemente il fatto di "appoggiarsi" alla rete di parcheggi esistenti in città) e le tecnologie specifiche per il controllo remoto di veicoli (con l'uso di GPS) sono l'equipaggiamento standard di questi sistemi. Tale nicchia, che è ovviamente incentrata sull' "affitto", si sta estendendo molto rapidamente alle biciclette (a Torino è presente sia ToBike che la ditta privata Mobike), con il sistema di bike

sharing “Velib”, situato a Parigi, come esempio più rilevante: i dati più recenti contano 136 stazioni di bike sharing (con 237.000 biciclette) e 1.788.000 di utenti di car sharing (con 43.500 veicoli) in tutto il mondo. [24]Va sottolineato che la maggior parte delle esperienze di car sharing sono nate senza fini di lucro (ad es. ShareCom in Svizzera - poi fusa in Mobility - e Cambio in Germania); altre aziende di car sharing sono: "Greenwheels" in Olanda e Germania, "Zipcar" negli Stati Uniti e nel Regno Unito, "Autolib" a Parigi, “Enjoy” in 6 città italiane e "Car2go" (che poco tempo fa ha effettuato una fusione con “DriveNow”, car sharing di proprietà di BMW) in tutta Europa e Nord America. [25]

Per quanto riguarda il car sharing è giusto fare una breve digressione sulle diverse tipologie presenti a Torino e sul mercato europeo. Ad oggi, si possono distinguere ben tre varianti di questo servizio [26]:

1. **Personal Vehicle Sharing (PVS):** è un modello di car-sharing che permette di avere accesso per un breve periodo ad un’auto privata di proprietà. In questo modello le compagnie di car-sharing mettono a disposizione le proprie risorse organizzative per mettere in contatto i proprietari di auto e i noleggiatori [26].

Per fare ciò si utilizzano delle piattaforme digitali per poter coordinare al meglio queste operazioni e il noleggio effettivo può avvenire con lo scambio diretto delle chiavi del veicolo tra noleggiatore e proprietario, oppure attraverso l’utilizzo di apposite tessere magnetiche o app che permettono di accedere ai veicoli provvisti di tali tecnologie per lo sblocco;

2. **A Prenotazione (Station-Based):** è stata la prima tipologia di car-sharing e, sebbene numericamente è stata surclassata dal servizio free-floating [27], continua a essere presente sul mercato, ad esempio a Torino con il servizio Blue-Torino.

In questo caso le auto possono essere prenotate avendo a disposizione un certo tempo per poterle raggiungere e per poter prenotare il parcheggio nella zona di fine noleggio (ad esempio, con Blue-Torino si ha 1 ora e mezza a disposizione per far ciò); di conseguenza, il servizio prevede stalli riservati per il prelievo e la riconsegna, anche se il servizio permette il rilascio e la presa della vettura anche fuori dagli stalli riservati.

La tariffazione è generalmente su base sia chilometrica che oraria ed è un servizio mirato soprattutto all’utenza che decide di sostituire la proprietà della vettura con l’utilizzo di altri mezzi (trasporto pubblico, noleggio, taxi), per chi quindi fa un uso sporadico della vettura e si affida per gli spostamenti sistematici al trasporto pubblico, al quale può essere affiancato. Viene utilizzato soprattutto per spostamenti occasionali di una certa lunghezza e durata: in Italia la media di utilizzo è di 6 ore/corsa e 60 km/corsa, con un uso pro-capite sotto le 10 corse/abbonato (dati 2016);

3. **A Flusso Libero (Free-Floating):** si sviluppa commercialmente in Italia dalla fine del 2013 e si espande nelle grandi aree urbane; infatti a Torino sono presenti due servizi di questo tipo, vale a dire Enjoy [28] e Drive-Now [29] (prima si chiamava Car-To-Go).

La vettura può essere rilasciata in un qualunque posto all'interno di un perimetro urbano predefinito, di volta in volta differente ma in genere ampio, e il prelievo avviene dal punto di rilascio da parte dell'utente precedente.

Il perimetro entro cui si può lasciare il veicolo dipende dalla città in cui ci si trova e si può facilmente controllare con l'utilizzo dell'app, la quale permette anche l'inizio e la fine del noleggio del veicolo.

Il suo utilizzo è quasi esclusivamente urbano: la lunghezza media dello spostamento è di circa 6 km/corsa e la durata di 15 minuti/corsa, con un uso pro-capite di circa 12 corse /anno (dati 2016). La tariffazione è solo a tempo (a minuti) con un tetto massimo di percorrenza, oltre il quale scatta anche la tariffa chilometrica. Alcuni operatori offrono tariffe giornaliere, con una certa percorrenza inclusa (oltre cui la tariffa diviene anche chilometrica), per ampliare le possibilità di utilizzo.

È un servizio mirato a un'utenza che effettua spostamenti che, in caso di indisponibilità della vettura, possono essere svolti con altri mezzi di trasporto o evitati. Per questo motivo è alternativo al taxi o al trasporto pubblico o alla bicicletta.

Richiede flotte numerose, fin dall'avvio del servizio, ed è particolarmente indicato per quelle realtà che hanno un'alta densità di domanda di mobilità (alta densità di popolazione e elevati tassi di mobilità), quindi ci si riferisce alle zone centrali delle grandi città.

Il mercato del car sharing free-floating è molto ampio, perché utilizzabile come un qualunque servizio di mobilità cittadino e, grazie a queste caratteristiche, è in grado di aumentare la flessibilità negli spostamenti in città e riesce a unire il punto di partenza col punto di arrivo nel modo più efficiente possibile [30].

In realtà, le ultime due tipologie di car-sharing sono adatte, come visto, a modalità diverse di mobilità e possono naturalmente convivere, offrendo anzi al cittadino un miglior servizio e migliori opportunità di rinunciare alla proprietà della vettura.

Infatti sono proprio quei due gli schemi presenti a Torino, e possono essere considerati come complementari tra loro, visto che l'utilizzo del car-sharing è molto variabile e che è un servizio che conta tra i suoi pregi un'elevata flessibilità e convenienza rispetto ad altre alternative. Basti pensare al costo di una corsa di 30 minuti effettuata col car-sharing, rispetto alla stessa corsa effettuata con un taxi.

Oltre a questa situazione, è evidente la convenienza del car-sharing quando ci si sposta in comitiva da un punto di una città ad un altro, e può essere considerato tranquillamente un servizio alternativo al trasporto pubblico in questo caso, come flessibilità. Un confronto tra le caratteristiche di queste tipologie di servizio può essere riassunto nella figura seguente.

Schema servizio	Cittadino	Autorità – Comune	Mercato / Operatore
A prenotazione	<ul style="list-style-type: none"> • Senza auto o con un numero inferiore di auto rispetto alle esigenze del nucleo familiare. • Spostamenti sistematici con il TPL • Utilizzi sporadici di medio – lungo raggio che esigono la certezza della disponibilità (prenotazione). • Economicamente vantaggioso per utilizzi medio lunghi anche fuori città 	<ul style="list-style-type: none"> • Offre, assieme al TPL e altri modij) uno strumento per ridurre l'uso della vettura e il tasso di proprietà. • Vantaggioso nella misura in cui assume dimensioni significative. • Stalli dedicati 	<ul style="list-style-type: none"> • Mercato di nicchia. • Aggregabile in modo incrementale con criteri di distribuzione geografica del servizio. • Adottabile nelle grandi ma anche medie città.
Free floating	<ul style="list-style-type: none"> • Prevalentemente per spostamenti brevi e in ambito urbano. • Spostamenti effettuabili con altro mezzo in caso di indisponibilità • Compatibile con spostamenti sistematici (vincolo : convenienza economica) • Flessibilità e immediatezza 	<ul style="list-style-type: none"> • Servizio aggiuntivo al TPL in particolare nei grandi centri urbani con dinamiche di concorrenzialità. • Pressione veicolare sui centri • Vantaggioso nella misura in cui sostituisce l'uso dell'auto privata nei grandi centri urbani e raggiunge tassi di utilizzo elevati. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mercato ampio. • Adeguato soprattutto alle grandi aree urbane. • Richiede flotte numericamente molto consistenti sin dall'inizio. • La gestione dello schema è più costosa

Figura 15: Riassunto dei pregi e dei difetti dei due servizi di car-sharing, vale a dire il Free-Floating e lo Station-Based.
Fonte: “Le tipologie di car sharing” – Ministero dell’Ambiente (ICS)

Come si può vedere dalla figura 11, i vari attori sono rappresentati in un grafico che ha sulle ascisse i vari tipi di “Business Model” (da sinistra verso destra, Vendita, Affitti o Gestione) e sulle ordinate sono presenti le tipologie di motorizzazioni presenti nei mezzi analizzati (dal basso verso l’alto, Non Motorizzati, Combustione Interna, Ibridi Convenzionali, Ibridi Plug-In ed Elettrici).

I Puntini rappresentano le case costruttrici di autovetture o di sistemi collegati ad esse e sono posizionate in questo grafico in base alla loro tecnologia attuale, come già visto nel paragrafo 2.2.1, mentre le frecce rappresentano le possibilità di sviluppo dei 4 attori presenti nel grafico fino al 2030. Ad esempio, il rettangolo dello “Sharing Schemes” avrà uno sviluppo verso l’alto per l’adozione di tecnologie totalmente elettriche nelle autovetture, ma può svilupparsi anche verso il basso, grazie all’aumento dell’uso del bike-sharing.

Gli attori principali dell’evoluzione della mobilità urbana sono inseriti in rettangoli, che possiedono un contorno di diverso spessore, il quale varia a seconda dell’importanza di quell’attore nello scenario considerato.

In questo caso, riferito alla situazione attuale, la mobilità più diffusa e quindi principale (vale circa l’80% di quella totale), è quella dell’Auto Privata ed è evidenziata in **grassetto**, mentre le mobilità alternative sono l’uso della Bicicletta e dei Trasporti Pubblici, indicate con una linea continua. Infine, i servizi di sharing sono una “mobilità di nicchia” e sono rappresentati da un contorno tratteggiato. Il modo di rappresentare gli attori vale per tutte le figure mostrate nei paragrafi seguenti, quindi si eviterà di riprendere questo concetto in seguito.

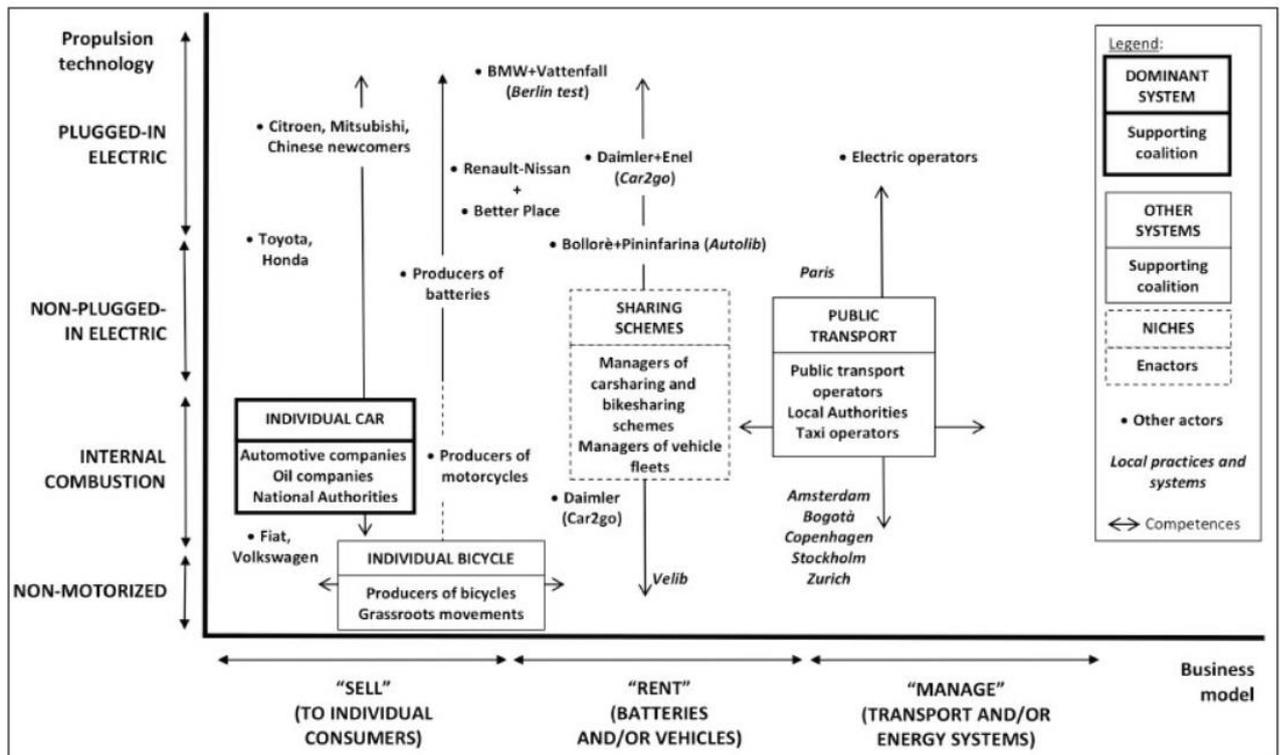


Figura 16 : Mappa Socio-Tecnica della mobilità urbana con sistemi e attori coinvolti

2.3 Percorsi di avvicinamento al 2030

Sono considerati, partendo dallo scenario visto in Figura 10, tre percorsi di transizione verso il 2030, sintetizzati brevemente di seguito, ma che verranno analizzati nel dettaglio nei prossimi paragrafi:

1. **"AUTO-City"**, ovvero la riconfigurazione del sistema di auto private, che sostiene l'unione di più aziende, attraverso l'integrazione stabile dei produttori di batterie e altri componenti elettrici;
2. **"ECO-City"**, ovvero il potenziamento delle cooperative locali per la mobilità urbana a basse emissioni di carbonio, azoto e particolato e la loro diffusione dalle città più tecnologiche a quelle più in ritardo;
3. **"City ELECTRIC"**, vale a dire la stretta collaborazione tra il settore automobilistico e quello delle industrie che producono componenti per motori elettrici o batterie; esse dovranno prendere il controllo di un nuovo sistema che unirà la modalità di trasporto con quella di approvvigionamento di energia, basata su reti intelligenti (Smart Grids) e veicoli elettrici (BEV).

Il **primo** percorso di transizione emerge dalla riconfigurazione del sistema di "auto individuale" esistente ed è generato dall'assorbimento di nuovi attori industriali, in particolare produttori di batterie. I vari costruttori di automobili mirano ad acquisire competenze cruciali sulla tecnologia elettrica, perché essa sarà sempre più considerata come la migliore risposta a lungo termine alle

crescenti pressioni politiche e ambientaliste (cambiamenti climatici, crescita del prezzo del petrolio, degrado urbano [4]).

Come suggeriscono alcuni analisti, la batteria potrebbe diventare l'elemento più importante nella auto elettriche; di conseguenza, i produttori di batterie e dei relativi motori elettrici possono diventare "attori principali" di questo sistema. Inoltre, a causa del mutevole mix di fonti energetiche utilizzate per alimentare le automobili, le aziende dovrebbero perdere la loro posizione di attore principale o eventualmente cambiare il loro core business, mentre i gestori di reti elettriche possono evolvere il loro ruolo, passando da semplici promotori di un servizio a membri fondamentali della coalizione.

Lungo il percorso di transizione il modello di business rimane focalizzato nella vendita di automobili ai singoli consumatori, ma, se anche la nicchia emergente del car sharing sarà costantemente integrata e potenziata, il core business potrebbe includere anche la parte riguardante gli "affitti".

La quota di auto elettriche aumenta costantemente lungo il percorso di transizione e nel 2030 raggiunge la soglia del 35% delle vendite totali di auto.

Si possono rilevare due diversi fenomeni globali: nei Paesi sviluppati la rapida diffusione delle auto ibride è resa possibile da consumatori e produttori che, costretti dalle nuove normative anti-inquinamento, decidono di produrre e di acquistare soltanto auto di questa tipologia; nelle economie in via di sviluppo si avrà il boom dei veicoli totalmente elettrici, grazie alla presenza di case costruttrici di autovetture e di componenti per il powertrain elettrico, che beneficiano delle minori tasse e dei minori salari per la produzione, e riusciranno ad inserire veicoli BEV ad un prezzo molto basso e soprattutto adatto al potere d'acquisto di quella popolazione [31,32].

Queste tendenze globali industriali sono aidate dallo Stato centrale (ad es. Cina e Giappone) e da schemi politici federali (ad es. UE, USA, India), che incentivano i clienti a finanziare la costruzione di infrastrutture di ricarica.

Se si ipotizza un probabile punto di arrivo di questo primo percorso di transizione (vedere Figura 11), il sistema dell' "auto privata" mantiene la sua posizione dominante nella mobilità urbana, ma, anche grazie a un sostegno alla coalizione parzialmente modificato dai fattori descritti prima, si modificano in modo significativo le sue competenze tecnologiche e commerciali, vale a dire che si ha uno spostamento verso sistemi di propulsione sempre più "eco-friendly" come gli ibridi e gli elettrici. Altri sistemi di mobilità urbana, come il trasporto pubblico e la bicicletta, rimarranno in una posizione secondaria, e verranno raggiunti in questa posizione dai sistemi di condivisione (car e bike sharing).

Va sottolineato che il percorso di transizione "AUTO-city" è quello che maggiormente si potrà verificare a causa della dipendenza dal percorso da fenomeni legati alla posizione dominante detenuta da questa tipologia di mobilità nell'attuale situazione della mobilità urbana; in particolare, la capacità di influenzare la politica è fondamentale per continuare a beneficiare dei ricchi incentivi e delle norme ambientali, che non vincolano il singolo cittadino a cambiare sistema di mobilità [33].

Inoltre, i consumatori non devono cambiare radicalmente le loro abitudini, ma devono solo adattarsi gradualmente ai tempi tecnici di ricarica del veicolo, e psicologicamente dovranno sostituire l'azione del rifornimento con la stessa azione di ricarica. Contemporaneamente, è in discussione se questo percorso di transizione farà raggiungere la de-carbonizzazione, fissata da un numero crescente di legislazioni e di Stati; ci sono diversi fattori sfavorevoli a riguardo:

- A. Il basso tasso di diffusione delle auto elettriche;
- B. L'effetto di "rimbalzo" sul consumo di energia, che può essere generato da una quantità crescente di automobili da ricaricare in tutto il mondo;
- C. Il mix energetico utilizzato per alimentare e ricaricare le auto elettriche in alcuni paesi, con la Cina che è lo Stato che si comporta peggio in questo ambito, visto che preleva energia elettrica soltanto mediante l'uso di petrolio o carbone.

A causa di ciò si dovrebbe considerare come, durante questa transizione, lo sviluppo degli scenari di mobilità potrà cambiare se verranno approvati degli obiettivi ambientali più rigorosi e in modo più rapido. Ciò si deve fare per cambiare gli atteggiamenti delle persone riguardo tutto il sistema di mobilità e dopo il 2030 si potranno avere due scenari di sviluppo della situazione:

- A. Si potrà avere un sistema di "Auto privata" ancora dominante, ma con delle tecnologie molto avanzate e soprattutto con la maggior parte di automobili elettriche e ibride plug-in, le quali sono le meno inquinanti; inoltre, si avrà un aumento dei sistemi di car sharing sempre per la riduzione dell'inquinamento.
- B. L'influenza dell'auto privata diminuirà, lasciando spazio sia ai sistemi di condivisione, che all'uso della bicicletta e del trasporto pubblico, possibilmente elettrico.

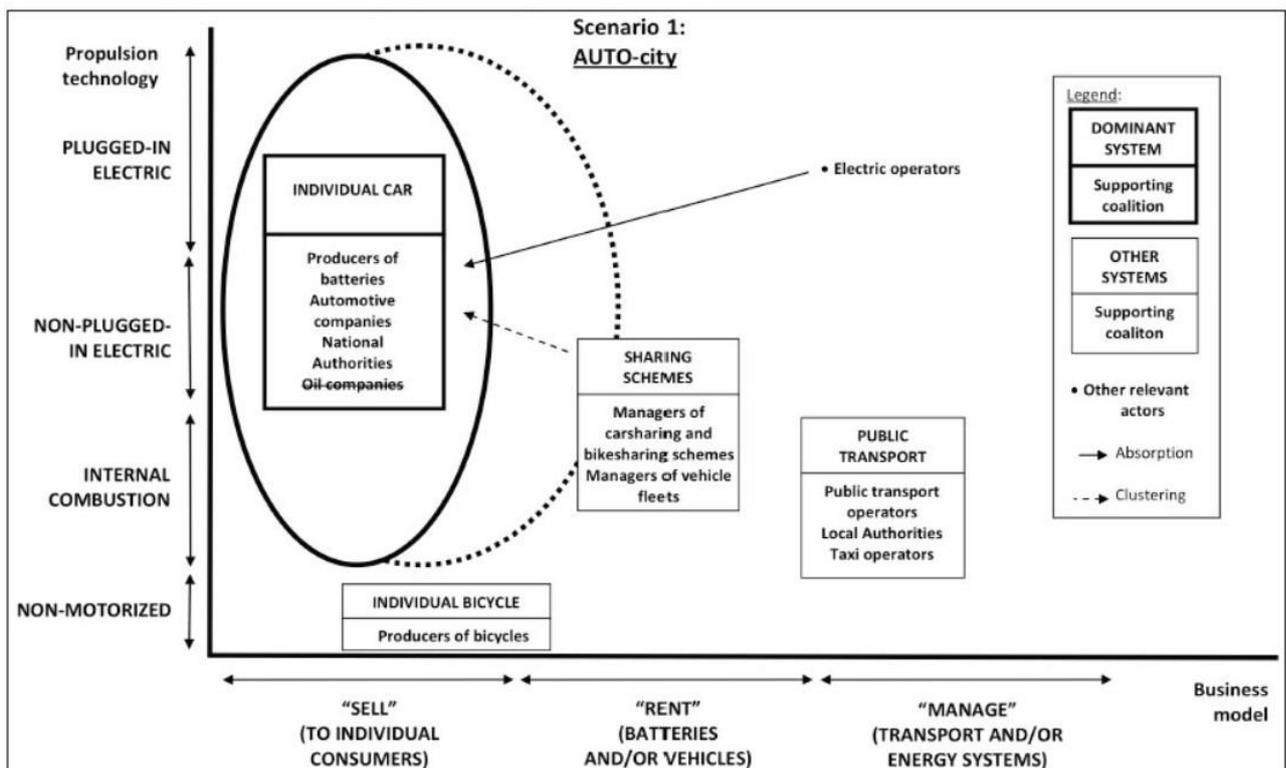


Figura 17: Scenario di Transizione "AUTO-City": Situazione Finale nel 2030

Nel percorso di transizione denominato **ECO-city**, gli attori secondari della mobilità urbana (società di trasporto pubblico, autorità locali, fornitori di tecnologie, ONG, ecc.) supportano una nuova visione per le città sostenibili e promuovono la creazione di nuovi sistemi integrati di trasporto urbano (IUTS), grazie anche all'aiuto dell'Internet of Things, che verrà approfondito nel prossimo capitolo [34].

Durante il percorso di transizione, si ha l'unione, prima a livello locale e poi a livello nazionale, di esistenti ed emergenti sistemi di mobilità a basse emissioni di carbonio (il trasporto pubblico, i sistemi di sharing, la bicicletta, etc.).

I produttori di veicoli elettrici sono gradualmente assorbiti nel sistema integrato di trasporti, principalmente come fornitori di tutti i tipi di veicoli per lo sharing e come gestori di flotte.

In questo sistema dei trasporti vengono assorbiti anche i dispositivi per la pianificazione individuale dei trasporti. Tutti e due i meccanismi di unione e di assorbimento coprono tutte le tecnologie di propulsione e i modelli di business "affitto" e "gestione".

L'attuale dinamica della transizione "ECO-city" è il risultato di due forze parallele, che devono essere analizzate in chiave spaziale: per quanto riguarda il livello nazionale / internazionale, si ha il graduale disallineamento della maggior parte costituenti istituzionali, economici e tecnologici dell' "Auto privata"; allo stesso tempo, questi e altri elementi sono gradualmente inseriti in un numero crescente di IUTS.

Per migliorare la comprensione di questi processi di cambiamento, il percorso di transizione può essere diviso in due fasi:

1. **Fase 2019-2025:** Le nicchie urbane, in cui sono implementati gli IUTS, crescono rapidamente di numero e di importanza. In alcuni Paesi (Germania, Francia, Turchia, Canada, Colombia, India, Sud Africa, ecc.) vengono create delle reti nazionali di cooperative, che agiscono in questo campo, ottenendo legittimità e supporto politico; qui i programmi nazionali sono attuati per favorire la diffusione degli IUTS verso le città che sono in ritardo. La Banca mondiale e quelle nazionali finanziano la diffusione di IUTS nelle città che non sono al passo con i tempi. Gli operatori elettrici mostrano un crescente interesse verso IUTS ed entrano in alcune coalizioni nazionali. Sempre più Paesi aboliscono gli incentivi per acquistare automobili, mentre entrano in vigore leggi per la limitazione dell'uso dell'auto e tasse per l'acquisizione di nuove auto. Di conseguenza, le loro vendite iniziano a diminuire in tutto il mondo.

2. **Fase 2026-2030:** Vengono create più cooperative nazionali di attori che operano in questo settore e nasce un'associazione mondiale. Gli operatori elettrici sono coinvolti in un numero crescente di IUTS e svolgono un ruolo attivo nelle reti nazionali.

Alcuni grandi Paesi (Stati Uniti, Russia, Cina, ecc.) attuano programmi nazionali per la diffusione di IUTS, mentre in altri Paesi (Germania, Francia, Giappone, ecc.) questi schemi di trasporti integrati sono coadiuvati da investimenti pubblici per la distribuzione dell'elettricità.

Le vendite di auto continuano a diminuire in tutto il mondo e in molti Paesi viene segnalata una riduzione del parco automobili del singolo cittadino; come effetto di queste tendenze, alcune grandi aziende automobilistiche falliscono, mentre altre riconvertono la propria produzione, concentrandosi sulla produzione di car sharing sempre più efficienti e convenienti.

La Figura 12 rappresenta il 2030 secondo questo scenario di evoluzione, in cui ci sono reti di coalizioni locali molto stabili, che supportano la riproduzione mondiale di IUTS, mentre l'auto privata passa ad un ruolo secondario, supportata dalle poche case automobilistiche mondiali sopravvissute.

La "ECO-City" è uno scenario più sostenibile di "AUTO-city" e più veritiero rispetto a quello della "City ELECTRIC", a causa della combinazione efficace di diverse azioni: la sostituzione dell'uso dell'auto con il trasporto non motorizzato oppure con i veicoli condivisi e col trasporto pubblico, oltre alla diffusione della propulsione elettrica, deve essere sostenuto dalla necessità di una de-carbonizzazione aggressiva di tutto il processo di generazione dell'energia, cercando di aumentare significativamente la vivibilità urbana [35].

Il problema è che lo scenario "ECO-city" è uno scenario di difficile attuazione rispetto all'"AUTO-city", perché la sua effettiva implementazione dipende dall'adozione delle modifiche delle abitudini a tutti i livelli della vita sociale:

- A livello **macro**, la delegittimazione e la destabilizzazione del sistema dell'auto privata, con relativi problemi dal punto di vista delle aziende automobilistiche, che potrebbero chiudere gli stabilimenti per la riduzione delle vendite, creando un problema molto grave dal punto di vista sociale;
- A livello **micro**, la diffusione di nuovi stili di vita urbani che non sono più basati sull'uso di singole auto, ma sull'uso di sistemi di trasporto connessi tra di loro e meno impattanti dal punto di vista delle emissioni [36];
- A livello **sistemico**, la creazione e il potenziamento delle coalizioni di aziende che possono creare IUTS in Italia e la possibilità di avere città che sono all'avanguardia su questo punto di vista e che fungano da traino per i restanti agglomerati urbani.

Le IUTS usciranno da una posizione secondaria e raggiungeranno una posizione dominante nella mobilità urbana, solo se questi processi si rafforzeranno reciprocamente e genereranno una nuova cultura dell'uso della mobilità nel singolo cittadino.

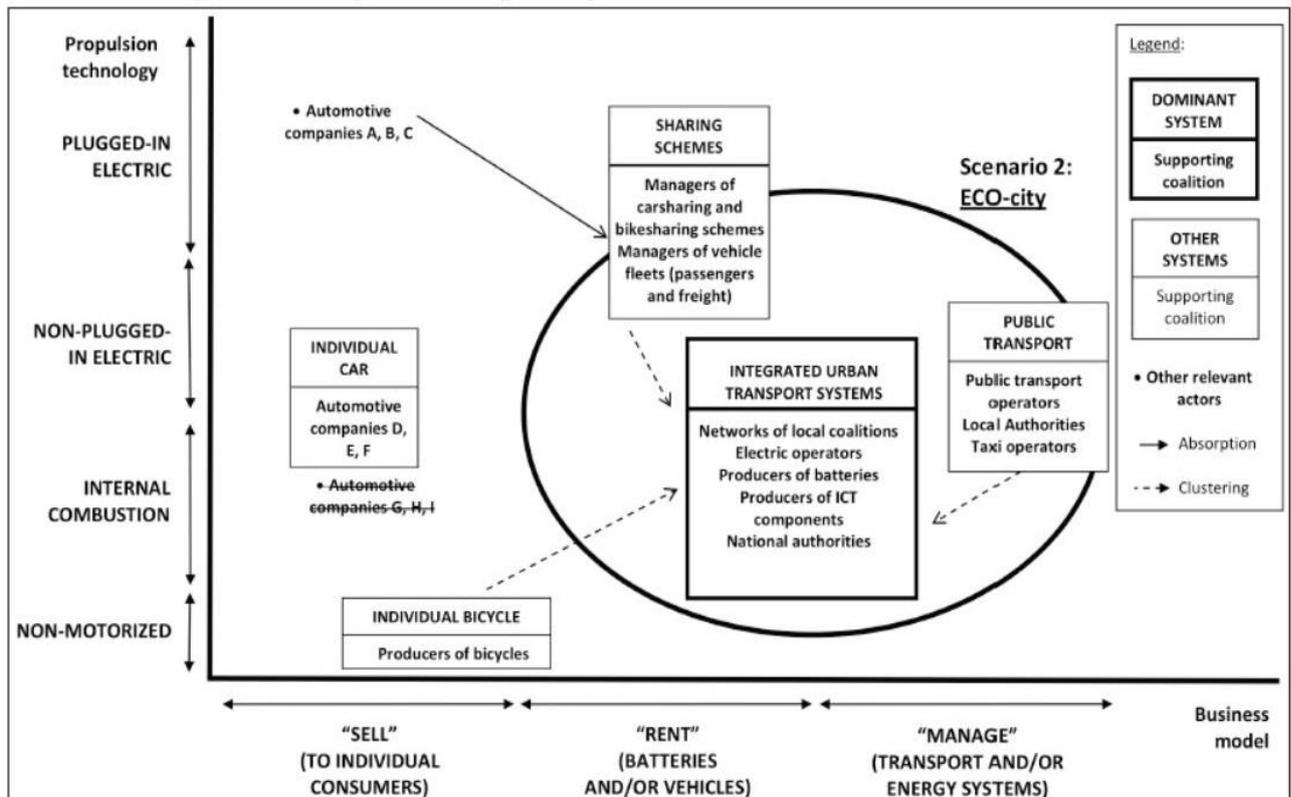


Figura 18: Scenario di Transizione "ECO-City": Situazione Finale nel 2030

Nell'ultimo percorso di transizione da analizzare, vale a dire il **City ELECTRIC**, ci sono aziende locali e nazionali interessate all'adattamento dei loro sistemi di propulsione elettrica e di generazione della stessa energia alla diffusione di veicoli BEV, perché mirano alla nuova frontiera delle reti intelligenti (Smart Grids), cioè le reti che sono in grado di scambiare elettricità con risorse energetiche distribuite, anche al fine di aumentare la stabilità della rete e ridurre gli squilibri della domanda e dell'offerta, soprattutto nel caso delle fonti rinnovabili [37].

Il seguente percorso di transizione si può dividere in due fasi:

1. **Test locali (2019-2025):** In questo periodo, le città svolgono un ruolo molto importante per i test delle tecnologie da adottare (sia per le automobili elettriche, che per le infrastrutture di ricarica) e per l'istituzione di nuove coalizioni di aziende. Si svolgono parecchi esperimenti, soprattutto per adattare il sistema di erogazione dell'energia in previsione di un aumento della mobilità e capire se è più conveniente connettersi ai veicoli o alle stazioni di sostituzione della batteria [38]. Dopo diversi anni di test e sperimentazioni, sempre più consumatori e produttori sono coinvolti nella costruzione di un nuovo mercato ed è sempre più evidente che i sistemi Smart Grids + Electric Vehicle genereranno profitti e miglioramenti ambientali[39].

2. **Consolidamento su scala globale (2026-2031):** i risultati positivi dei precedenti test suscitano l'interesse degli operatori di diversi settori: non solo dei gestori di reti elettriche, ma anche dei produttori di batterie, fornitori di Componenti per l'ICT e dei produttori di auto PHEV e BEV. Anche a causa delle crescenti pressioni di tutti questi operatori sulle istituzioni politiche, la legislazione nazionale a supporto dei sistemi SG + EV sono implementati con successo in diversi Paesi, a cominciare da quelli che presentano quote più elevate di generazione di energia elettrica da fonti rinnovabili (Danimarca, Germania, Spagna, Francia, ecc.) [32].

Già i sussidi per l'acquisto stabiliti sono limitati alle sole auto elettriche plug-in e sono integrati con investimenti nelle infrastrutture (ad es. reti ferroviarie metropolitane e SG). Inoltre, l'istituzione degli standard comuni su tipologia di ricarica, prese di corrente e batterie (inteso nell'ambito della produzione e dello smaltimento di queste ultime, i quali sono le sfide più difficili da affrontare) viene fatta per catalizzare ulteriormente la diffusione di sistemi SG + EV.

Anno per anno quest'integrazione delle politiche energetiche e dei trasporti è seguita da un crescente numero di Stati e federazioni (California, Oregon, UE, Giappone) che sviluppano progetti e investono in questo campo.

A causa della necessità di ingenti investimenti, le grandi aziende a poco a poco raggiungono una posizione dominante in una situazione di oligopolio globale, ma alcuni meccanismi, sia spontanei che guidati dagli stessi Stati, stanno cambiando il profilo di questi leader di mercato: ad esempio, c'è stata una grande fusione tra General Motors e General Electric, mentre si è creata una joint venture (simile alle coalizioni, di cui si è parlato prima) globale da Renault/Nissan, già unite in un accordo precedente, Better Place e un gruppo internazionale di produttori di energie rinnovabili.

Lo scenario finale che emerge da questo percorso di transizione è rappresentato in Figura 13. Questo è il risultato di un'offerta di acquisto andata a buon fine per il sistema dell' "auto individuale", che viene lanciato dagli attori secondati, provenienti da un altro settore. Questa è un'ipotesi molto forte ed è il motivo secondo cui questo scenario appare molto ottimistico e soprattutto tanto distante dalla realtà, in cui l'auto privata avrà ancora la sua posizione dominante almeno per i prossimi 20-30 anni.

La sostenibilità ambientale di questo scenario è fortemente condizionata dal mix energetico utilizzato per generare elettricità e la sua vicinanza alla realtà è fortemente condizionata da due fattori:

- A. È necessario un lungo periodo di test e di sperimentazione, perché nel campo urbano non c'è praticamente traccia di questi sistemi di trasporto da parte di operatori che attualmente gestiscono l'energia: la speranza è che i percorsi alternativi possono diventare dominanti, durante tutto questo tempo di transizione;
- B. A causa delle economie di scala latenti, il nuovo sistema SG + EV non può semplicemente emergere dall'evoluzione o dalla diffusione di sistemi già esistenti (come nel caso del percorso di transizione "ECO-city"), ma deve essere implementato a livello

nazionale / internazionale, partendo quasi da zero: c'è fortemente bisogno degli investimenti privati e/o pubblici, i quali potrebbero non essere disponibili (anche a causa di questioni macroeconomiche). L'unico punto di forza degli operatori elettrici nelle prime fasi del percorso di transizione è che essi possiedono una struttura essenziale per la diffusione di auto elettriche, che corrisponde alla rete elettrica, la quale va anch'essa potenziata ed ampliata per sostenere l'aumento esponenziale di domanda.

Sia la sostenibilità che la realtà di questo percorso di transizione trarrà beneficio da un'accelerazione della diffusione globale delle energie rinnovabili e ancora di più dalla stabile integrazione tecnologica ed economica delle energie rinnovabili e delle ICT.

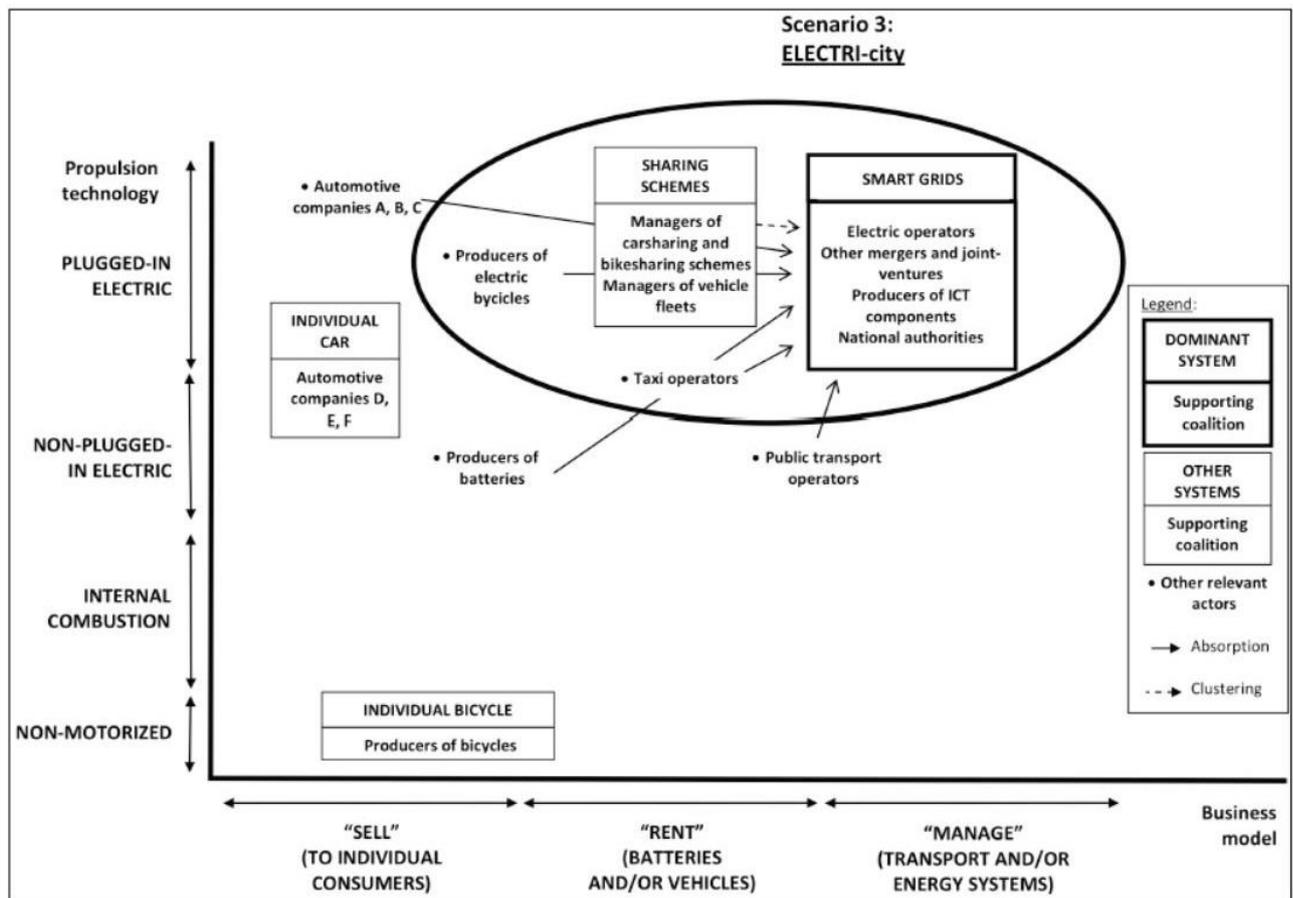


Figura 19: Scenario di Transizione "City ELECTRIC": Situazione Finale nel 2030

L'analisi di percorsi di transizione alternativi mostra che la configurazione della mobilità urbana nel 2030 dipenderà da tre elementi:

1. L'attuale posizionamento dei sistemi socio-tecnici e il supporto delle aziende;
2. La futura competizione tra i 3 sistemi di mobilità secondari e le loro strategie di innovazione;
3. Quale sistema secondario accumulerà abbastanza potere per vincere la battaglia sulle istituzioni politiche per avere più finanziamenti e per poter spodestare l'auto privata dalla sua posizione dominante.

Tre opzioni politiche si possono derivare da questi elementi:

- A. Qualsiasi intervento per il miglioramento delle emissioni della mobilità urbana che, allo stesso tempo, non destabilizzerà la posizione dominante dell'auto privata, si tradurrà in uno scenario di “Auto City” incentrato sulle auto elettriche;
- B. Una politica multilivello sui sistemi di trasporto è necessaria per facilitare la diffusione di sistemi urbani integrati e l'emergere di uno scenario di “ECO City”, in cui le auto elettriche avranno un ruolo secondario;
- C. È necessaria una politica industriale, che crea le condizioni per l'istituzione di una "City ELECTRIC", scenario in cui l'auto elettrica non sarà altro che un elemento di un sistema energia + trasporto. Come corollario di quanto affermato negli scenari politici, sia l'opzione a), che entrambe le opzioni b) e c) devono essere integrate da interventi mirati specificamente a indebolire la posizione dominante dell'auto privata, anche concedendo incentivi a chi utilizza i sistemi di trasporti, le bici private o i vari schemi di “sharing”.

I risultati di cui sopra sono stati possibili grazie all'analisi ST dell'evoluzione di cambiamenti strutturali e delle coalizioni di aziende innovative. Questa analisi ha anche fornito alcuni suggerimenti per ulteriori ricerche, che potrebbero essere rilevanti non solo nel campo della mobilità urbana. Come suggerito da alcuni studiosi [40], l'integrazione stabile di un gruppo (multilivello) il meccanismo di selezione nella rappresentazione delle transizioni ST può aiutare per evidenziare come le dinamiche di supporto alle coalizioni interagiscono con l'evoluzione complessiva di una funzione sociale.

Tra l'altro, questo può aiutare a rispondere ad alcuni temi di ricerca rilevanti: l'integrazione delle istituzioni e della politica in studi futuri; l'esplicita considerazione delle persone, non tanto come consumatori o utenti, ma piuttosto come cittadini che votano e che sostengono, anche economicamente, le ONG, le startup e le piccole aziende.

Dopo la presentazione dei modelli di evoluzione di una Smart City nel settore dei trasporti, degli attori principali che sono presenti nel processo di trasformazione di una città da tradizionale a smart, si procede con l'analisi del Business Model che influenza lo sviluppo e l'approvazione di questi progetti da parte delle amministrazioni locali.

2.4 Presentazione Business Model & integrazione con la Smart City

Secondo gli studiosi Osterwalder e Pigneur, danno la seguente definizione: “*Un Business Model descrive la logica in base alla quale un’organizzazione o un progetto crea, distribuisce e cattura valore*” [41]. Il Business Model Canvas è uno strumento utile a sviluppare nuovi modelli di business o formalizzare quelli già esistenti. Esso è formato da **uno schema grafico**, dove viene schematizzato in modo chiaro dal punto di vista visivo il modo secondo cui un’impresa, o un progetto aziendale, crea valore, quali sono le risorse economiche e le attività necessarie all’implementazione del progetto o del nuovo prodotto, la parte di clientela interessata all’acquisto del prodotto.

Il modo migliore per descrivere un modello di business lo si effettua attraverso i nove elementi fondamentali, che mostrano la logica e le azioni che le società utilizzano per generare ricavi finanziari. I nove canvas coprono le quattro aree principali di un’azienda, vale a dire l’offerta del prodotto in un determinato campo, i clienti interessati, la sostenibilità finanziaria e le infrastrutture utilizzate per generare il prodotto in questione.

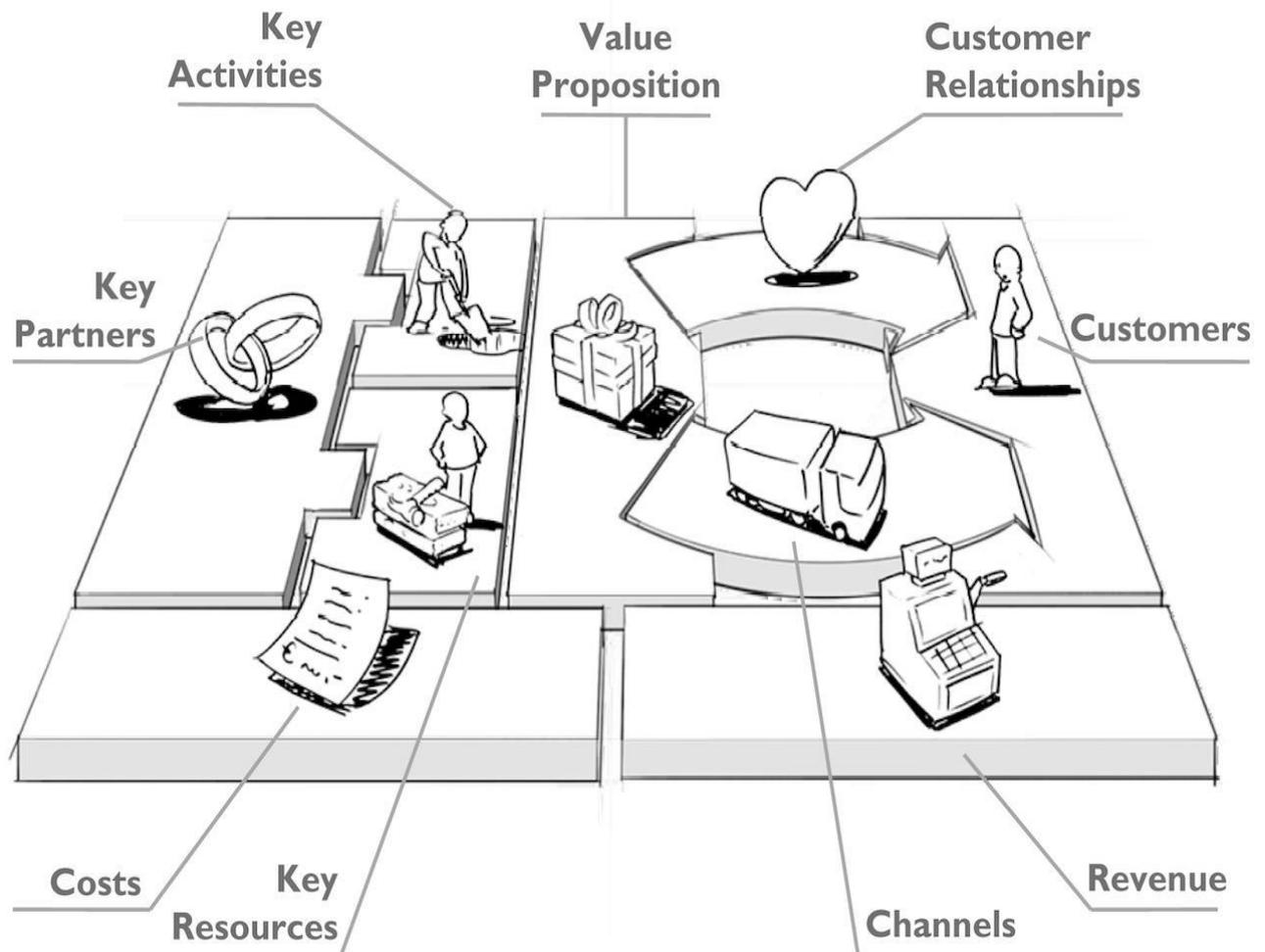


Figura 20: Schema Business Models, diviso in Canvas

Le quattro aree descritte precedentemente si ritrovano perfettamente nello schema di costruzione di un'azienda e sono ben visibili nella Figura 14 le aree di suddivisione del Business Model. Si può notare come al centro della figura sia presente il prodotto che dovrà essere inserito sul mercato, ed esso è affiancato da diversi blocchetti che verranno brevemente spiegati di seguito.

In particolare, osserviamo che al centro, in corrispondenza del prodotto, vi è la cosiddetta **Value Proposition**, che descrive fondamentalmente il valore offerto da quel servizio o da quel prodotto, considerando tutti gli aspetti che sono alla sua sinistra e alla sua destra. Esso può rappresentare anche un'esplicita richiesta di un cliente nei confronti di un'azienda che è sua partner.

Dopo aver definito la parte centrale, si passa alla parte destra della figura, che è rappresentata dall'area di **Front-end**, la quale descrive i rapporti che l'azienda ha all'esterno e soprattutto i canali che essa usa per promuovere e pubblicizzare il prodotto. Infatti, esso è suddiviso in:

1. **Customers**, che rappresentano i segmenti di clientela raggiunti; in questa sezione si cerca di raggruppare tutti i possibili utenti del servizio/prodotto che si sta proponendo sul mercato. Si può dire che questi variano moltissimo in base al prodotto che si sta commercializzando, e dipendono dalla disponibilità a pagare, dalla volontà ad investire su un determinato aggeggio e dal segmento di clientela a cui lo stesso prodotto si rivolge (basti pensare ai segmenti di clientela che attrarre la vendita di un'autovettura o quella di un'aspirapolvere);
2. **Channels**, all'interno dei quali sono inclusi tutti i canali di comunicazione che promuovono il prodotto prima, durante e dopo l'immissione nel mercato; essi possono essere di diverso tipo e raggiungono i diversi segmenti di clientela in base alle abitudini di questi ultimi. Ad esempio, un prodotto può essere pubblicizzato attraverso internet, mediante la costruzione di spot televisivi ad hoc, oppure tramite la diffusione di brochure tecniche: queste tre tipologie attrarranno diverse persone con differente tenore di vita e, quindi, disponibilità di denaro per comprare un prodotto;
3. **Customers Relationship**, che indicano i rapporti che l'azienda ha con i clienti a cui è stato venduto il prodotto; questo è un blocco molto importante, poiché un'azienda può costruirsi una reputazione eccellente grazie al livello dell'assistenza che dà all'utente se il prodotto da lui acquistato presenta problemi di fabbrica o semplicemente se il cliente ha bisogno di qualche spiegazione per l'uso del servizio acquistato.
4. **Revenue**, al cui interno sono inseriti tutti gli incassi che l'azienda può avere dalla vendita del prodotto; infatti, si parla di incassi poiché questi dati verranno sottratti ai costi in un secondo momento per ottenere i veri ricavi ottenuti dalla vendita del prodotto, i quali rappresentano la riuscita o meno di quest'ultimo.
Se i clienti costituiscono il cuore del modello di business, le entrate sono le sue arterie; infatti, la giusta collocazione del prodotto all'interno del mercato può rappresentare la vittoria di un'azienda su un'altra, poiché esso può essere costruito con materiali di alta

qualità e avere le migliori componenti al suo interno, ma se viene proposto ad un prezzo fuori mercato, rimarrà invenduto e può generare grossi problemi per l'azienda stessa.

Alla sinistra del prodotto c'è l'area di **Back-end**, che specifica quali sono gli elementi e le attività che contribuiscono alla progettazione e all'ingegnerizzazione dello stesso prima dell'introduzione sul mercato. Si può dividere nei seguenti blocchi:

- A. **Key Partnerships**, che rappresentano la rete di fornitori e di partner dell'azienda che permettono il corretto funzionamento del modello di business; un'azienda inizia delle partnership per diverse motivazioni, tra cui creare alleanze strategiche tra due industrie non concorrenti oppure istituire delle joint-venture tra aziende dello stesso ramo per la condivisione di idee e di piattaforme, per il risparmio di costi e l'aumento dei rispettivi profitti;
- B. **Key Resources**, al cui interno sono presenti le cosiddette risorse chiave, vale a dire quel tipo di risorse che permettono ad un'azienda di essere leader nel suo campo di appartenenza; ad esempio, un'industria che produce scocche per le autovetture dovrà avere uno stabilimento ad alta automazione per ridurre il più possibile i difetti di lavorazione umani, mentre un'azienda che effettua l'assemblaggio di parti molto grandi non ha bisogno di questa particolarità;
- C. **Key Activities**, che rappresentano le strategie fondamentali che un'azienda deve attuare per rendere efficiente il suo modello di business per poter operare nel miglior modo possibile sul mercato; queste attività variano in base alla tipologia di azienda e al tipo di prodotto da offrire al consumatore; ad esempio, se Google è più incentrata sullo sviluppo delle risorse di rete e della programmazione con il sistema operativo Android, Sony o Huawei si concentrano maggiormente sull'ottimizzazione dei processi produttivi e su quella dei prodotti che immettono sul mercato;
- D. **Costs**, che sono praticamente i costi che l'azienda deve sostenere per la produzione del Value Proposition; all'interno di questa categoria rientrano tutti i costi dovuti alla costruzione di nuovi stabilimenti, di attrezzature più sofisticate e più precise, ma sono inclusi anche tutti i costi sostenuti nella fase di progettazione e nella fase di promozione del prodotto, in particolar modo per quei segmenti di mercato dove è importantissimo fare pubblicità per aggredire la concorrenza.

La **Struttura dei costi (Cost Structure)** definisce tutti i costi che si devono sostenere per far funzionare un business model e descrive i costi più importanti, sostenuti durante il funzionamento in un particolare modello di business.

La descrizione del business model è un punto di partenza molto importante per l'innovazione [42], perché può essere utilizzato come un mezzo per cercare di intensificare lo sviluppo di nuove tecnologie e la relativa creazione di profitti o di migliorie sociali, dovute a questi aspetti. **Quindi, i business models, relativi alle smart cities, si possono considerare come degli strumenti importanti per accomunare gli sviluppi tecnici alla prospettiva economica delle varie tecnologie o dei vari progetti.**

Nella creazione di un business model, relativo ad un dominio della smart city descritto nel capitolo 1, dopo aver analizzato il dominio interessato dall'analisi con i rispettivi sotto-domini, si passerà allo studio dettagliato dei modelli di business, concentrando l'attenzione in particolare sui blocchi del Canvas ritenuti più interessanti e significativi da analizzare. Inizialmente si guarderà il dominio nel suo complesso, per poi passare ad un'analisi più dettagliata dei sotto-domini.

CAPITOLO 3: Sistema di Trasporti e Autovetture del Futuro

In questo capitolo verrà fatta chiarezza sulle tecnologie riservate ai mezzi elettrici in via di sviluppo o già in commercio. Si inizierà con l'analisi delle varie tipologie di batterie presenti sul mercato e installate attualmente sui veicoli, con un cenno alle tecnologie in fase embrionale. Dopo aver fatto ciò, si procederà con la spiegazione delle varie modalità di ricarica presenti sul mercato e del modello dei Supercharger che può rivoluzionare in maniera più che positiva questo settore.

In seguito, si analizzeranno i vari scenari elaborati dall'Unione Europea sulla previsione di vendita di quei mezzi considerati a basso impatto ambientale e si cercherà di commentare in maniera oggettiva se queste previsioni possono essere veritiere. Infatti, in certi casi sono state fatte delle previsioni poco veritiere, che ipotizzavano una larga diffusione di veicoli elettrici e ad Idrogeno già dal 2030.

La realtà dei fatti è molto diversa, visto che attualmente le automobili con carburanti convenzionali sono quelle maggiormente vendute, visto il costo relativamente basso se confrontato con un veicolo a basso impatto ambientale. Oltre ai motivi economici, c'è anche la maggiore affidabilità di questi veicoli e il maggior range di utilizzo, vale a dire che attualmente i mezzi elettrici hanno il problema di percorrere distanze troppo brevi con una ricarica completa, se confrontati alle percorrenze dei veicoli convenzionali.

Proprio per la vicinanza al tema trattato, si mostrerà la storia del marchio Tesla come esempio lampante di ciò che tra venti anni potrà essere una consuetudine nel mondo dell'automotive, vale a dire una gamma di modelli soltanto elettrici, anche accessibili a tutte le fasce sociali della popolazione, per cercare di abbattere le emissioni di inquinanti primari e secondari nel mondo.

Inoltre, si procederà all'analisi del mercato italiano delle autovetture per capire la situazione attuale della diffusione di questi veicoli green e per mostrare i provvedimenti adottati dal Governo per incentivarne l'acquisto e i costi di gestione e manutenzione.

Nell'ultima parte si spiegheranno nel dettaglio le varie tipologie di ibridi convenzionali e plug-In, mostrando pregi e difetti e cercando di capire quale di queste architetture potrà avere un ruolo primario nel futuro per affiancare le vetture "full electric", oltre ad un elenco delle automobili presenti sul mercato, che rientrano in queste categorie.

3.1 Tecnologia per le Batterie e per i Sistemi di Ricarica

Due tra le peculiarità più importanti che possono portare all'incremento della diffusione dei veicoli elettrici risiedono nella tecnologia di costruzione delle batterie e nella loro modalità di ricarica, che verranno presentati in questo paragrafo.

La **batteria** altro non è che “un oggetto in grado di **accumulare energia chimica** e di rilasciare quest'energia sotto forma di **elettricità**” [1]. Per le autovetture di tipo ibrido o elettrico questa corrente viene trasferita al motore elettrico oppure ad un altro sistema meccanico che possiede funzioni simili, i quali la trasformano in energia meccanica, che serve per fornire il moto alle ruote.

Il principio fondamentale delle seguenti batterie è lo stesso della **pila di Volta**, creata dall'omonimo scienziato lombardo nel 1799. Alla base del loro funzionamento risiede un processo chimico, il quale genera un **flusso di elettroni** da una sostanza che li cede (tramite ossidazione, anodo) a una che li riceve (tramite riduzione, catodo). [1]

La presenza di una terza sostanza quasi sempre di tipo liquido, chiamata **elettrolita**, all'interno della batteria permette di portare il flusso di elettroni in una direzione precisa che va dall'**anodo** (o polo negativo), dove si trova l'elemento chimico che cede elettroni, al **catodo** (o polo positivo), dove si trova quello che riceve elettroni, generando corrente continua.

Le diversità tra la pila di Volta e le moderne batterie montate sulle auto elettriche riguardano principalmente i materiali e le tecnologie utilizzate, i quali sono molto più efficienti e prestanti rispetto alle pile dell'Ottocento o del Novecento. Attualmente, sono diverse le tipologie di batterie presenti sulle auto elettriche o ibride. Si passa da tecnologie ormai obsolete per questa particolare applicazione (Piombo e NiMH) ad altre che sono al loro massimo sviluppo, che garantisce ottime performance di durata ed autonomia, ad altre ancora che stanno attraversando la fase di sperimentazione o quella progettuale. Di seguito viene proposta una carrellata delle varie batterie installate su vettura.

Con la denominazione di batterie **al Piombo** si fa riferimento a quel tipo di batterie che sarebbe meglio definire “accumulatori al piombo acido”. Storicamente, risultano essere il primo tipo di batterie ricaricabili e sono state costruite per la prima volta nella seconda metà dell'Ottocento. Il principio di funzionamento è garantito da un anodo di piombo e un catodo di perossido di piombo, immersi in una soluzione contenente acido solforico (elettrolita).

Il pregio dei bassi costi di produzione viene perfettamente bilanciato dall'occupazione di tanto spazio a bordo del veicolo (con conseguente aumento di peso) e dalla bassa capacità di immagazzinare energia, la quale causa una scarsa autonomia. Queste batterie, che oggi sono utilizzate solo come supporto ai motori di avviamento e per la gestione elettrica delle vetture ad alimentazione tradizionale, proprio per i bassi costi, sono state installate fino agli Anni '90 anche per alimentare vetture elettriche.

Tra gli esempi più illustri si trovano, non con poco stupore, due autovetture del gruppo Fiat (ora FCA): la Panda Elettra, commercializzata dal 1990 al 1996, che permetteva 100 km di autonomia e che si ricaricava completamente in circa 10 ore, e la Cinquecento Elettra che era equipaggiata con un motore elettrico da 9,2 kW e manteneva il cambio manuale a 5 rapporti della Cinquecento standard. Poteva raggiungere una velocità massima di 80 km/h ed aveva un'autonomia di circa 70 km con 12 batterie AGM al piombo, alloggiare tra bagagliaio e vano motore anteriore. Oggi solo i mezzi che non possono circolare su strada, come muletti o carrelli transpallet, usano ancora batterie al piombo.



Figura 21: A Sinistra l'esempio della Panda Elettra (1990), a destra quello della Cinquecento Elettra(1996)

Le batterie al **Nichel-Metallo Idruro** (che viene abbreviato in NiMH) si differenziano da quelle al piombo mostrate in precedenza per i diversi materiali implementati. In questa tipologia l'anodo è formato da una lega metallica, mentre il catodo è in nichel; appartengono a questa categoria le normali stilo ricaricabili "AA" o "AAA". In campo automotive le seguenti batterie hanno trovato applicazione diffusa soprattutto grazie a Toyota, che le ha montate fino a qualche tempo fa su tutte le Prius.

Oggi sono state rimpiazzate quasi nella totalità delle applicazioni dalle batterie agli ioni di litio, perché queste ultime risultano più efficienti. Tra i maggiori difetti delle batterie NiMH è presente il fastidiosissimo "effetto memoria" che fa diminuire progressivamente la capacità di immagazzinare energia della batteria, riducendo di conseguenza l'autonomia della vettura, se si effettuano molte ricariche parziali, proprio come succedeva nei telefoni cellulari di una volta.

Rispetto ad altre batterie, però, quelle NiMH possono contare su un ciclo di vita abbastanza lungo (anche di 10/15 anni). Anche questa tipologia di batterie soffre di una scarsa capacità di immagazzinare energia, che provoca una bassa percorrenza in full electric; infatti Toyota le utilizzava su un veicolo ibrido come la Prius, il quale può contare anche su un propulsore a benzina per la sua movimentazione.



Figura 22: Schema posizionamento del motore elettrico, termico e Batteria al Ni-MH nella Toyota Prius di seconda generazione. Fonte: Toyota

Le batterie agli **ioni di Litio** sfruttano una procedura leggermente diversa per sviluppare corrente continua, ma teoricamente si hanno un anodo in litio e un catodo in carbonio. Le seguenti batterie (spesso abbreviate in Li-ion) possiedono il pregio di avere una densità energetica molto elevata, il che significa che sistemi di packaging relativamente compatti e leggeri generano maggiori quantità di energia elettrica rispetto alle tipologie mostrate precedentemente.

Sono inserite in qualsiasi tipo di dispositivo elettronico, dai telefoni cellulari ai computer, e hanno preso il sopravvento anche nel settore automotive. Uno dei pregi è stato già citato poche righe fa, vale a dire l'alto grado di efficienza. A questo si aggiunge il fatto che, non essendo succube dell' "effetto memoria" presente nelle batterie Ni-MH, non hanno bisogno di cicli di carica e di utilizzo completi: possiedono maggiori cicli di ricarica e possono essere "rifornite" parzialmente senza perdere le loro capacità.

Tra i contro, però, si deve evidenziare la scarsa vita utile (al massimo 5/7 anni): le batterie Li-ion iniziano a ridurre le loro prestazioni addirittura fin dalla loro produzione, senza che esse vengano utilizzate in vettura.

Infine, oltre ad essere altamente infiammabili e ad avere un elevato costo di produzione (dovuto alla presenza del Litio), lavorano correttamente soltanto in una finestra di temperature molto esigua, che va da -10° a $+30^{\circ}$ C, mentre al di fuori di quest'intervallo la loro efficienza decade molto velocemente. La prima Leaf, nel 2007, ha inserito batterie al litio formate da celle laminate, più piatte ed efficienti, sviluppate in joint-venture da Nissan e NEC.



Figura 23: Immagine di una batteria agli ioni di litio installata in applicazioni automotive. Fonte: www.motor1.com

L'evoluzione delle batterie agli ioni di litio è rappresentata dalle batterie **allo stato solido o ai polimeri di Litio**, le quali possiedono una sostanza solida anziché liquida come elettrolita.

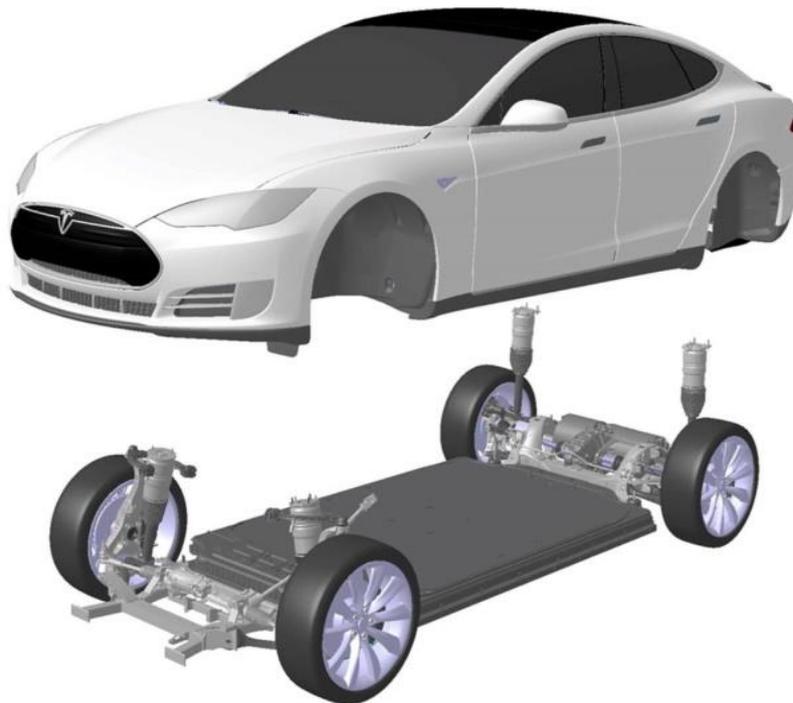


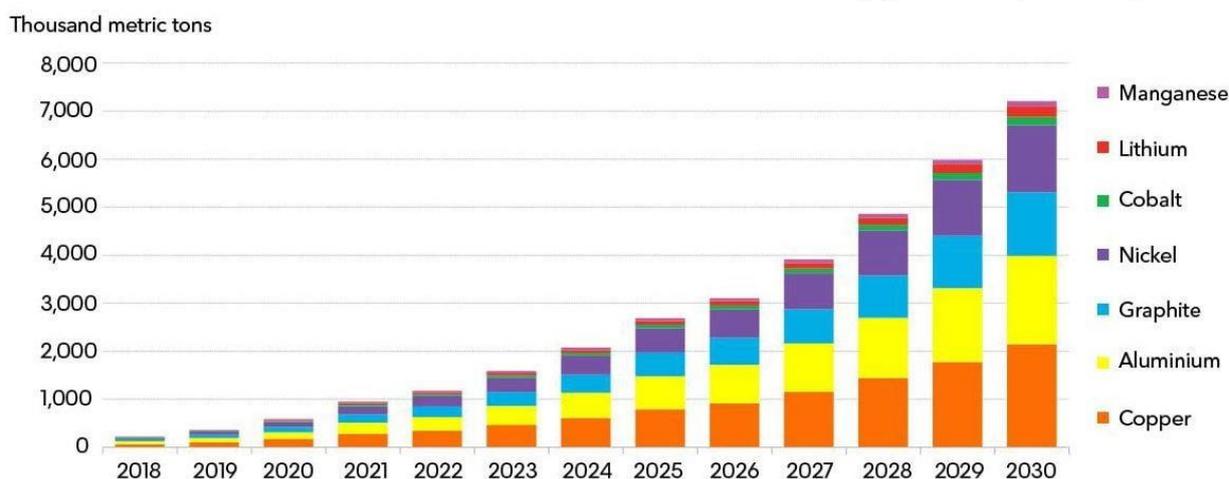
Figura 24: Schema costruttivo della Tesla Model S, che monta batterie ai Polimeri di Litio. Fonte: www.motor1.com

Questo schema costruttivo permette l'aumento della densità energetica della batteria, innalzando, di riflesso, la capacità di generare energia rispetto alle dimensioni (si parla di miglioramenti vicini al +50%). Questa caratteristica provoca, in ambito automobilistico, la migliore performance nell'autonomia di una vettura che installa batterie di questo tipo: a parità di peso e di dimensioni, si percorrono più chilometri rispetto alle precedenti tipologie di accumulatori.

Tra i pregi di queste batterie sono presenti la miglior gestione delle temperature al loro interno e la minor infiammabilità. Quest'ultima caratteristica concede una migliore flessibilità nell'organizzazione degli spazi interni, permettendo di realizzare moduli sottilissimi e di inserirli sotto al vano bagagli. A fronte di questi vantaggi, si ha un'alta instabilità delle batterie quando sono in stato "overcharged" e si può avere la totale perdita di funzionamento, se esse non vengono ricaricate entro un certo valore di voltaggio. Sono state utilizzate per la prima volta da Tesla, che le ha fatte sviluppare su misura da Panasonic. Molti costruttori automobilistici stanno andando in questa direzione, tra cui anche Volkswagen, Toyota e BMW.

Nella Figura 25 viene presentato un grafico, dove si mostra la richiesta sempre crescente di metalli rari come Litio, Nichel, Cobalto e Manganese, ma anche Rame, ossidi di Alluminio e Grafite; l'approvvigionamento, la disponibilità e il costo di queste materie prime sarà una componente cruciale della diffusione delle automobili elettriche in futuro, poiché i battery pack sono base portante dell'architettura elettrica.

Metals and materials demand from lithium-ion battery packs in passenger EVs



Source: *Electric Vehicle Outlook 2018, Bloomberg New Energy Finance*. Note: Copper includes copper current collectors and pack wiring. Aluminium includes aluminium current collectors, cell and pack materials and aluminium in cathode active materials.

Figura 25: Grafico che mostra l'andamento crescente della richiesta di materiali per la costruzione di batterie al Litio in applicazioni automotive

Il **grafene** è un materiale che viene costantemente studiato da circa 20 anni: è ricavato dalla grafite ed è formato da atomi di carbonio, che possono avere uno strato singolo o doppio. Essendo molto resistente e molto flessibile, sta iniziando a prendere piede nella produzione di transistor e, di recente, viene inserito nelle batterie al litio per rivestire i poli degli anodi e dei catodi, ottenendo miglioramenti nei tempi e nella capacità di ricarica e mantenendo circa costanti le temperature.

La stabilità temperature all'interno delle batterie è una feature di fondamentale importanza per garantire agli accumulatori un rendimento costante e vicino ai livelli ipotizzati in fase prototipale: quando si scaldano o si raffreddano troppo, le loro prestazioni infatti decadono se non è inserito il rivestimento in grafite.

Oggi si stanno studiando dei metodi per cercare di sfruttarlo come elemento basilare di una nuova generazione di batterie, programmate per i dispositivi mobili e i droni, che hanno bisogno di accumulatori leggeri ma con elevata densità energetica. Secondo diversi studi, un elettrolita semisolido a base di grafene potrebbe avere al suo interno una capacità superiore del 60% rispetto al litio e garantire ricariche molto più veloci [2].

Recentemente, la Samsung, azienda produttrice di dispositivi elettronici e di elettrodomestici, ha dichiarato di aver messo a punto dei processi atti a sintetizzare il grafene in una forma tridimensionale sferica, garantendo costi contenuti. In altre parole, senza rinunciare ai pregi di questa tecnologia, Samsung è riuscita ad abbattere i costi del suo utilizzo e potrebbe inserire questa tipologia di batterie nei nuovi modelli top di gamma (S11 e Note 11), per aumentare la durata e il ciclo di vita della batteria e degli stessi smartphone.

Le batterie in fase prototipale o sperimentare sono tantissime e tutte queste soluzioni cercheranno di vincere la corsa all'elettrificazione, garantendo prestazioni sempre maggiori. Tra queste, è particolarmente interessante la soluzione della startup bolognese Bettery. È chiamata “Nessox” ed è una batteria che effettua il suo ciclo di ricarica semplicemente “facendo il pieno”, proprio come su un'auto con alimentazioni tradizionali.

La differenza con queste ultime è importante, poiché la batteria Nessox necessita del pieno di un **liquido** molto particolare che la stessa utilizza internamente per avviare la produzione di energia elettrica. Questa sostanza, una volta esaurita, può essere sostituita da altro liquido in grado di “ricaricare” la batteria, svolgendo un'operazione che, una volta sviluppato il procedimento, richiederà pochi minuti, proprio come se si dovesse fare il rifornimento di combustibile [1].

Un'altra soluzione, ancora in fase sperimentale se non embrionale, su cui molte aziende stanno investendo risorse, è quella delle **celle metallo-aria**. Piuttosto che pensare questi dispositivi simili alle batterie in commercio oggi, si tratta di sistemi che possono generare energia impiegando l'ossidazione del metallo (litio o zinco nelle applicazioni più efficienti) a contatto con l'aria, riuscendo anche a immagazzinarla.

Il difetto che ostacola maggiormente la diffusione e il passaggio alla fase di prototipazione di questa tipologia è il processo di ricarica, poiché esse si devono rigenerate de-ossidando il metallo, poiché lo si deve riportare nelle condizioni vicine allo stato originario [2]. Tale processo richiede ossigeno puro, perché la presenza di anidride carbonica e di umidità nell'aria potrebbe danneggiare gli elettrodi metallici. Nella figura 24 è presente lo schema di funzionamento.

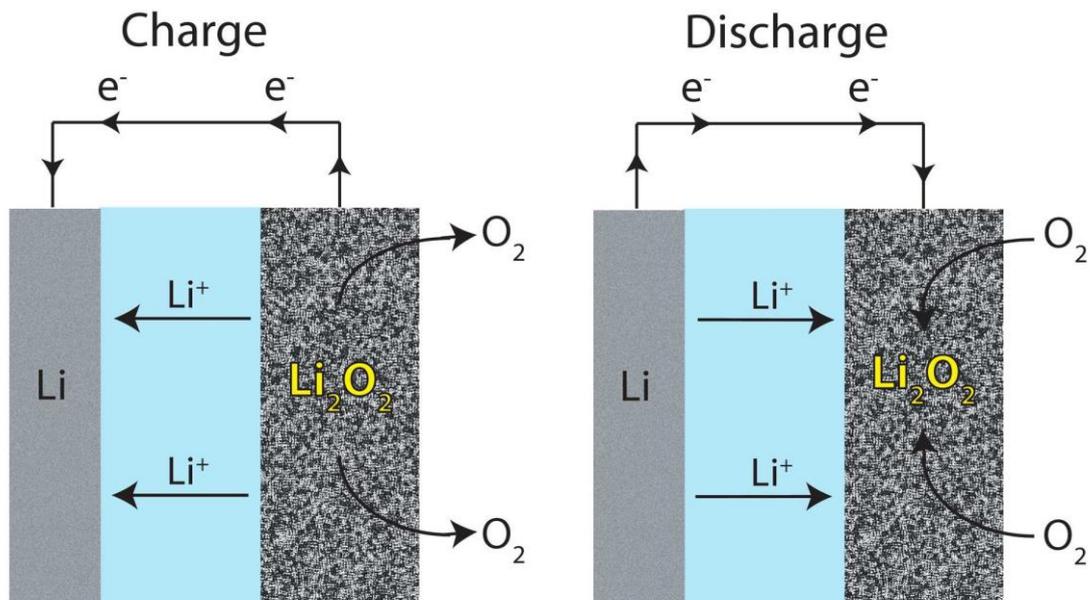


Figura 26: Batterie Metallo-Aria, dove per la ricarica serve la de-ossidazione del metallo con l'uso di ossigeno puro, e per l'utilizzo di energia si usa l'ossidazione del metallo da parte dell'aria. Fonte: www.motor1.com

Si riporta nella Figura 27 un riassunto grafico riguardante le performance dei vari tipi di batterie presenti sul mercato, escludendo dal computo quelle di tipo sperimentale (al grafene e a ricarica liquida). Si può notare, come già evidenziato in precedenza, che le batterie al Piombo e quelle al Ni-Cd o al Ni-MH hanno un'elevata potenza specifica, a fronte di una scarsissima energia immagazzinata. Ciò significa che le autovetture con questo tipo di batterie hanno o un'autonomia scarsa, o un peso elevato, determinato dall'inserimento di una batteria molto pesante che garantisce un livello discreto di autonomia.

Questo problema dell'immagazzinamento dell'energia si è parzialmente risolto con l'adozione delle batterie agli ioni o ai polimeri di Litio, anche se non si è ancora arrivati ad avere un'autonomia comparabile con le autovetture convenzionali. Per effettuare questo ulteriore passo in avanti, si confida nelle due tipologie di batterie in via di sviluppo.

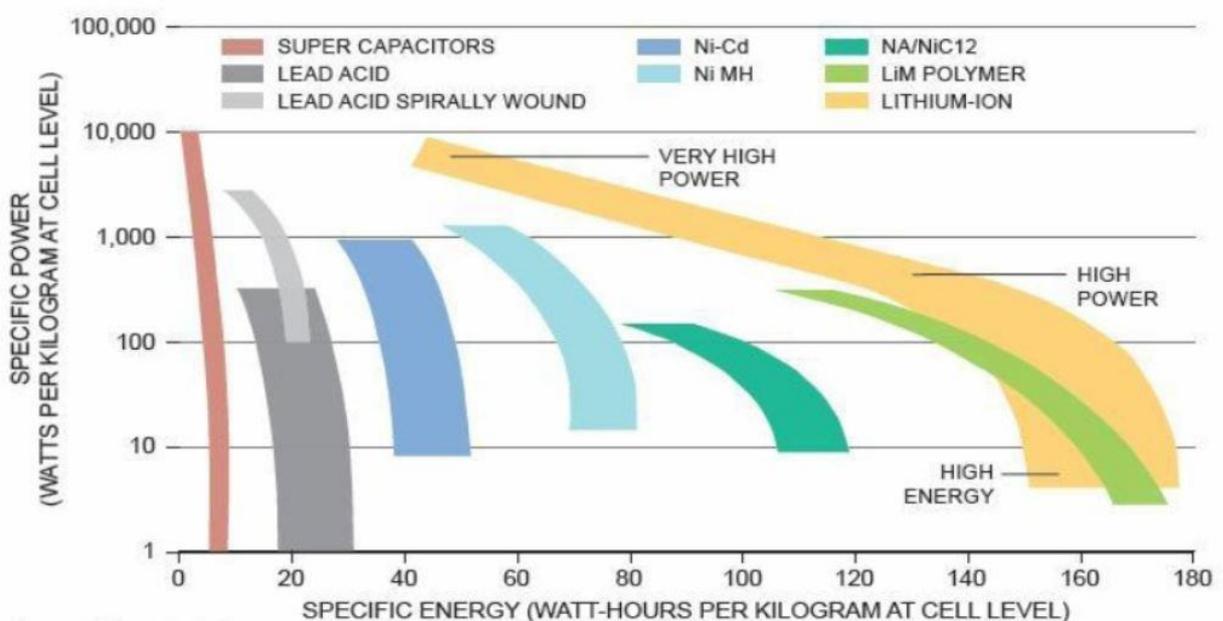


Figura 27: Confronto tra diverse tipologie di batterie su potenza sviluppata ed energia immagazzinata

Nella Figura 28 sono indicate le varie tecnologie di ricarica della batteria presenti e in via di sviluppo, le quali sono molto importanti da analizzare, poiché il tempo di ricarica di un'autovettura di questo tipo è il fattore più limitante per la loro diffusione nel mercato globale. I sistemi di ricarica dipendono sostanzialmente da due fattori, interconnessi tra loro:

1. **Voltaggio della carica**, il quale se è molto alto permette una minor dispersione per effetto Joule dell'energia elettrica, poiché si possono costruire cavi elettrici dal diametro minore che permettono questo miglioramento;
2. **Amperaggio**, il quale è inversamente proporzionale alla durata di ricarica di una batteria, a parità di energia immagazzinabile da quest'ultima e dello State of Charge di partenza (banalmente se ho una batteria da 50 kWh, maggiore è l'amperaggio della carica e minore sarà il tempo impiegato da essa a raggiungere il SOC massimo).

Charging Option	Primary Use	Current Supplied to Vehicle	Charging Current (Amps)	Charger Input (Volts)	Power (kW)	Hrs. to Recharge*
Level 1	Residential	AC	≤15	120	≤1.8	6–20
Level 2	Residential	AC	≤30	240	≤7.2	3–8
	Public	AC	80	240	≤19.2	3–8
Level 3	Public	AC	To be determined			≤0.5
DC Fast Charging	Public	DC	200	480	50–150	≤0.5

*Varies, depending of battery state of charge; Source: DOE Energy Efficiency and Renewable Energy Vehicle Technologies Program

Figura 28: Standard di Ricarica attualmente presenti in commercio

Nella Figura sottostante sono presentati degli esempi di autovetture completamente elettriche con la loro capacità della batteria in kWh e il range in km percorribile dalla vettura con 1 carica completa della batteria. Come si può notare, le vetture Tesla hanno un range estremamente più alto rispetto ad altri veicoli, poiché hanno una batteria a bordo che possiede un'ottima capacità di immagazzinare energia, unita ad un'alta potenza sviluppata. Questo è possibile grazie alla distribuzione del pacco batterie, studiata per rapportare nel miglior modo possibile il peso sui due assali e per equilibrare il baricentro della vettura, non andando ad influire sulle doti dinamiche.

<i>EV model</i>	<i>Battery Size [kWh]</i>	<i>Range [km]</i>
Nissan Leaf	24	199
BMW i3	19	160
Mitsubishi i-MiEV	16	150
Smart Electric	17	145
Tesla S 70D	70	390
Tesla S 85/85D/ P85D	85	426/430/407

Figura 29: Alcuni modelli Elettrici con dimensione della batteria e range di percorrenza con 1 sola ricarica, secondo ciclo NEDC

Per ridurre i tempi di ricarica, la Tesla ha studiato un sistema di ricarica delle batterie di sua proprietà, con vere e proprie stazioni di rifornimento, studiate appositamente per ricordare all'utente il classico benzinaio.

Nella tabella questo sistema è indicato come "DC Fast Charging", ma nella realtà si chiama Tesla Supercharger, che permette di ricaricare l'auto elettrica in pochi minuti in stazioni aperte 24 ore su 24, gestendo l'intero processo tramite lo smartphone. In figura 31 è mostrato un esempio di queste stazioni.



Figura 30: È rappresentato un esempio di stazione di servizio, costruita da Tesla, dove sono installati i Supercharger

Le stazioni si trovano sia nelle grandi città che nei piccoli centri urbani, di solito vicino a servizi come hotel, ristoranti, centri commerciali o internet point. In ogni stazione sono presenti varie colonnine di Supercharger, in modo da non creare lunghe code durante la ricarica e far riprendere il viaggio il più velocemente possibile [3].

Le stazioni Tesla, che sono localizzabili anche dal GPS in viaggio sulla propria automobile, sono presenti in tutta Italia da Nord a Sud, oltre che nel resto d'Europa, in Medio Oriente, in Asia e in America. Per quanto riguarda il territorio italiano l'installazione dei Supercharger è iniziata nel 2014 presso l'Autogrill Dorno sull'autostrada A7 Milano-Genova ed a ottobre 2019 conta 33 stazioni, per un totale di più di 300 colonnine di ricarica [4].

Per ricaricare l'auto basta collegarla con il connettore che esce dalla palina Supercharger e attendere che una luce lampeggiante, inserita nello sportello di ricarica del veicolo, diventi verde per indicare il buon esito della connessione. La ricarica completa **dura 30 minuti circa** ed è possibile controllarne lo stato dal quadro strumenti della macchina o mediante l'app Tesla, che invierà un messaggio quando lo State of Charge della batteria arriva al 100%.

È importante notare che le stazioni sono dotate di un sistema intelligente di gestione della velocità di ricarica: infatti, essa varia in base al livello di carica della batteria (la velocità è maggiore se la batteria è molto scarica e rallenta se si supera l'80% del SOC), all'uso corrente della stazione Supercharger e alle condizioni meteo.

Purtroppo, oltre ad avere un costo d'acquisto decisamente elevato, con l'acquisto di una vettura Tesla non si ottiene la possibilità di ricaricare la vettura in modo gratuito presso i Supercharger per tutta la sua vita utile, ma si hanno solo 400kWh di credito gratuito, che bastano per circa 1.600 chilometri di percorrenza. Superato questo limite, le ricariche prevedono una tariffazione al kWh o al minuto a seconda del Paese in cui ci si trova. Ad esempio, in Italia il costo è 0,25 euro per kWh.

3.2 Tendenze e sviluppi dei sistemi a basse emissioni di carbonio

Per realizzare una città sostenibile dal punto di vista economico, sociale ed ambientale è necessario integrare le diverse soluzioni di mobilità (ferroviaria, automobilistica, ciclistica e pedonale) in un unico approccio comodo, efficiente nel tempo, economico, sicuro e green. Un insieme di sistemi integrati ottimizza le infrastrutture e il consumo di energia e fornisce il trasporto ai residenti della città esattamente dove e quando ne hanno bisogno. L'elettrificazione del trasporto su strada stabilisce un legame tra i settori dell'energia e della mobilità, nonché un nuovo settore di servizi per quanto riguarda la gestione della mobilità elettrica, poiché per la prima volta riunisce servizi pubblici e operatori di rete.

La diffusione di veicoli elettrici nel mondo richiederà la fornitura di infrastrutture e sistemi di supporto e la loro integrazione nel sistema di mobilità completa su larga scala. Il trasporto pubblico su rotaia, che utilizza energia elettrica, offre anche una soluzione di mobilità sostenibile e sarà sempre più un'alternativa ai veicoli privati in futuro.

Secondo il “New Policies Scenario”, in cui si presume che i recenti impegni delle politiche governative siano attuati in modo prudente, la domanda aumenta per tutte le fonti energetiche fino al 2035, ma il ritmo e la tendenza variano. Infatti, si può notare come la provenienza di energia da Biomasse, dall'idroelettrico, dal nucleare e da altre fonti a basso impatto ambientale aumenti, mentre la provenienza da carbone e da petrolio è in leggera flessione.[5]

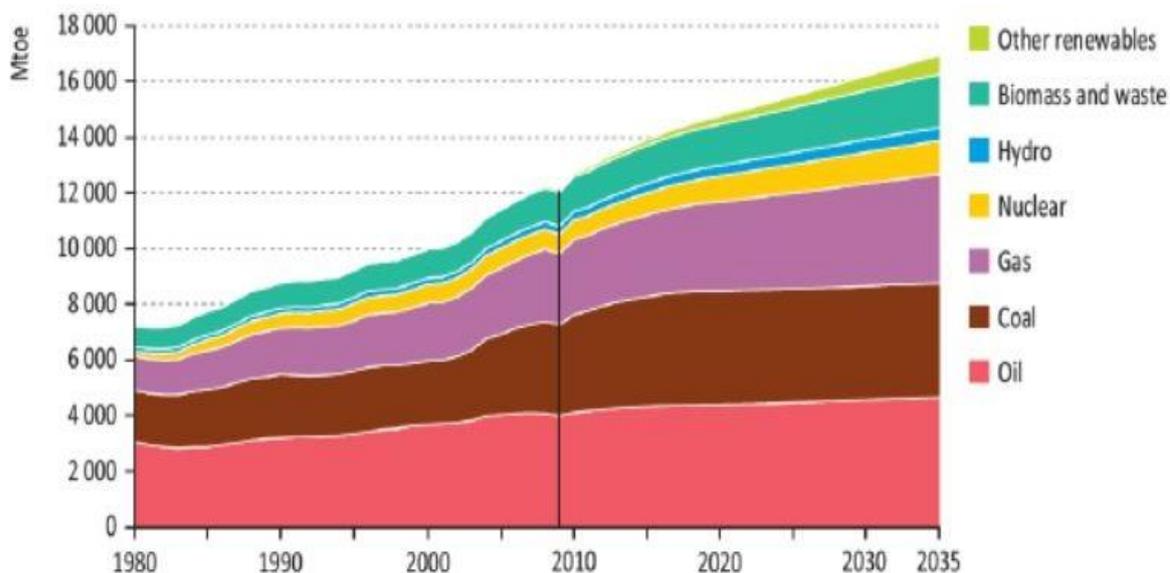


Figura 31: Richiesta di energia mondiale, divisa per tipologia di combustibile, secondo il New Policies Scenario. Fonte: IEA-WEO, 2011

Intorno al 2000, il settore dei trasporti rappresentava oltre la metà della domanda totale di petrolio e non c'è una tendenza nel ridurre questo andamento, almeno a breve termine.

La quota prevista di petrolio relativa al settore dei trasporti continua ad aumentare dal 55% di oggi a oltre il 60% nel 2040, nonostante l'aumento dell'efficienza nei consumi e la crescita dei carburanti alternativi. Questo si può spiegare soprattutto con l'aumento della popolazione mondiale, soprattutto nei Paesi in via di sviluppo.

Più di tre quarti della domanda di petrolio proviene oggi dal trasporto su strada ed è la quota che resterà sostanzialmente invariata fino al 2040 [6]. Sebbene l'aviazione rappresenti la crescita più rapida della domanda di petrolio rispetto a tutti i settori dei trasporti, il trasporto su strada è destinato a rappresentare oltre i due terzi della domanda di petrolio.

La seguente crescita per i trasporti si verifica quasi esclusivamente nei Paesi emergenti e in via di sviluppo, **mentre negli Stati OCSE la domanda petrolifera per i trasporti diminuisce in tutti i sotto-settori**, ad eccezione dell'aviazione [7].

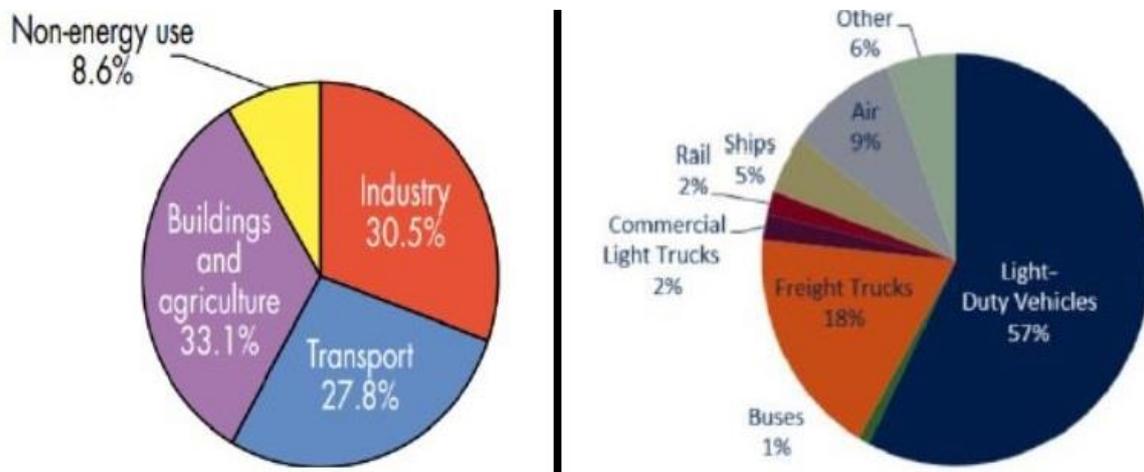
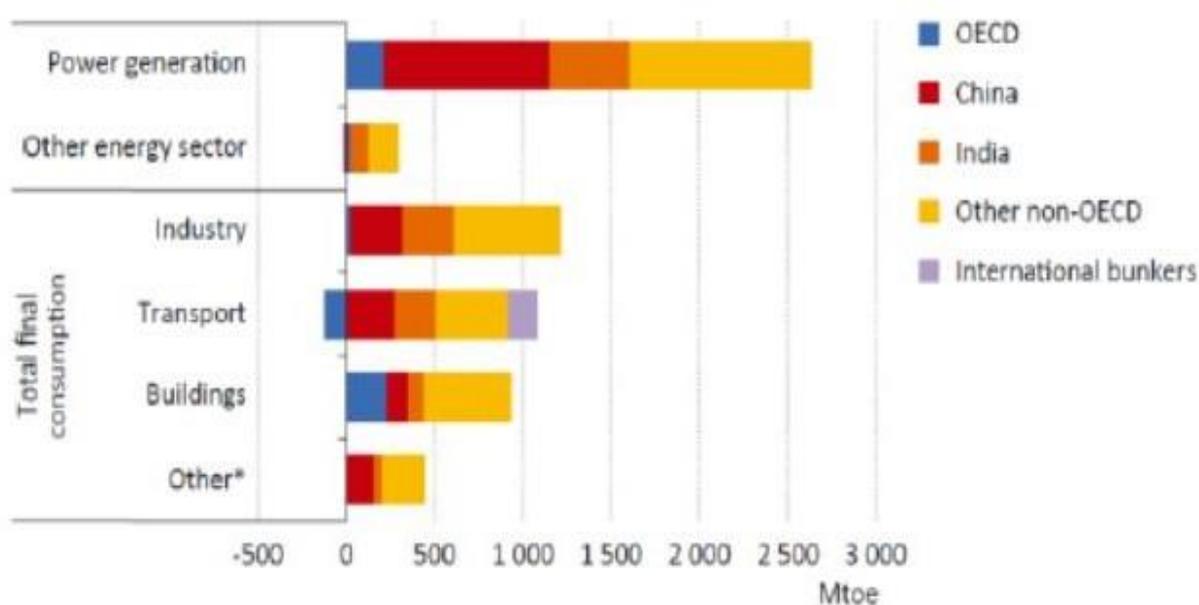


Figura 32: A sinistra, il consumo finale di energia, diviso in settori, nel 2040 secondo il New Policies Scenario, a destra l'uso dell'energia nel settore dei trasporti. Fonte: IEA-KWES, 2015 e 2014

Tutta la crescita netta della domanda mondiale di petrolio, secondo il New Policies Scenario, proviene dal settore dei trasporti nei paesi non OCSE, con una crescita particolarmente forte in India, Cina e Medio Oriente.

Il numero di veicoli sulle strade nel mondo raddoppia tra il 2012 e 2040, ma l'adozione sempre più diffusa del risparmio di carburante nei veicoli e di norme di omologazione più severe (WLTP e RDE) mitigano l'impatto previsto sui trasporti, che aumenta mediamente dell'1,2% annuo, un dato confortante se confrontato con quelli degli ultimi decenni [8].

Inoltre, come è visibile dalla figura seguente, la maggior parte della richiesta di energia serve per la sua distribuzione o per la conversione della stessa in potenza, e in questa riga la parte maggiore appartiene ai Paesi in via di sviluppo. Infine, sempre da questa figura, si può notare che questi Stati avranno un aumento della domanda dell'energia che va di pari passo con il livello di sviluppo che sarà presente al loro interno nei vari settori interessati.



*Other includes agriculture and non-energy use. Note: Total final consumption includes electricity and heat generated by the power sector.

Figura 33: Richiesta di energia, divisa in settori e in aree geografiche, secondo il New Policies Scenario. Fonte: IEA-WEO, 2014

Le emissioni del settore dei trasporti hanno mostrato una crescita continua tra il 1990 e il 2007, seguito da un lieve calo (-6%) tra il 2007 e 2011. Tuttavia, questa tendenza al ribasso è considerata principalmente una causa della grave recessione economica che si è diffusa in quel periodo.

Nel periodo 1990-2011, le emissioni dei trasporti su strada e tramite gli aerei sono cresciute rispettivamente del 21% e del 17%, mentre le emissioni del trasporto marittimo interno hanno presentato un lieve incremento dell'1%. Al contrario, le emissioni del trasporto ferroviario sono diminuite del 46%, grazie alla graduale rimozione dei treni a gasolio o a carbone in luogo di quelli a trazione elettrica. La ripartizione per settore mostra che il trasporto su strada ha una posizione dominante in questo settore (94% nel 2011) [9].

Nelle figure sottostanti si descrive rispettivamente **l'andamento delle emissioni inquinanti** delle varie tipologie dei trasporti e la **tendenza all'aumento delle GHG emissions** (quasi esclusivamente esse si riferiscono alle emissioni di CO₂) in 5 Paesi, con Cina e USA in testa a questa classifica.

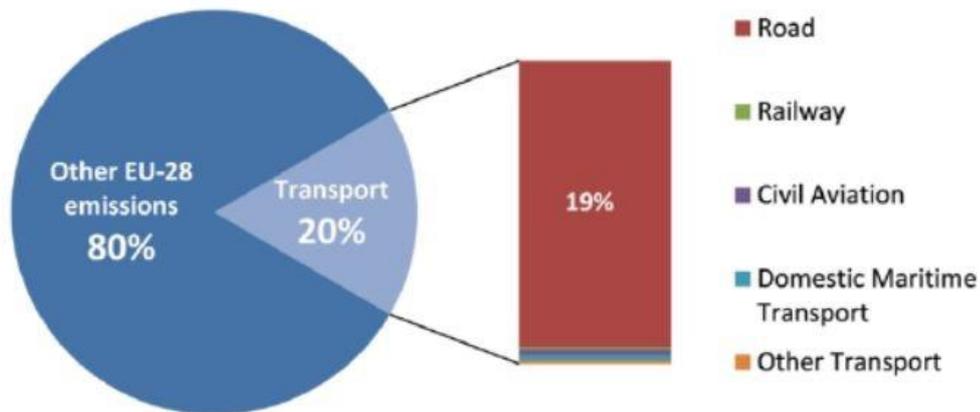


Figura 34: Emissioni di Green-House Gas nell'area EU-28, divisa per tipologie di trasporto. Fonte: Eurostat Pocketbook, 2013

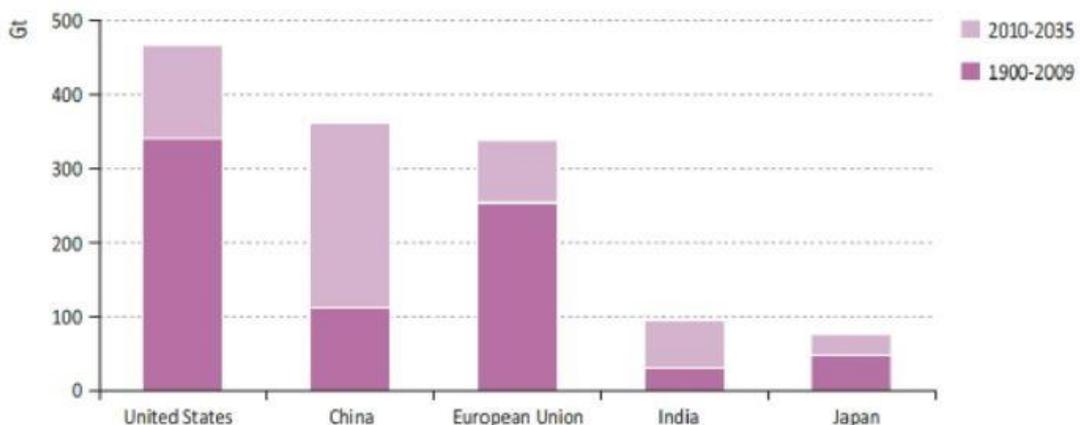


Figura 35: Emissioni di CO₂ relative al consumo di energia delle 5 super-potenze mondiali. Fonte: IEA-WEO, 2011

Sono da considerare i benefici e i costi della mobilità sostenibile, i quali andranno inclusi in un'analisi approfondita della situazione attuale e futura. Inoltre, sono presenti tre azioni che, se sfruttate, possono modificare alcune di queste relazioni, in modo da migliorare i benefici della mobilità e ridurre i costi: [10]

1. La prima azione è **rendere i servizi di trasporto più efficienti**, aumentando la crescita economica del settore terziario, sostenuta da un elevato uso del trasporto;
2. In secondo luogo, si agisce **sul livello e sulla composizione della mobilità "indotta"**, cioè che la domanda può essere incanalata in modo tale da soddisfare le crescenti esigenze di mobilità, senza avere ulteriori problematiche sulla gestione dei trasporti;
3. In terzo luogo, si cerca di **ridurre l'impatto economico e ambientale** di qualsiasi livello e tipologia di trasporto, attraverso significativi cambiamenti tecnologici.

In questa figura si fa riferimento al confronto della **richiesta di energia in 5 settori differenti per quanto riguarda l'ambito globale**, e si può notare come non si possa soltanto agire sul settore dei trasporti per cercare di ridurre quanto più possibile l'incremento della domanda di energia globale, ma si debba coinvolgere soprattutto il settore industriale e quello edilizio. Da notare anche che l'incremento di questa richiesta sarà molto elevato soprattutto per i settori industriale, edilizio e per quello terziario. [11]

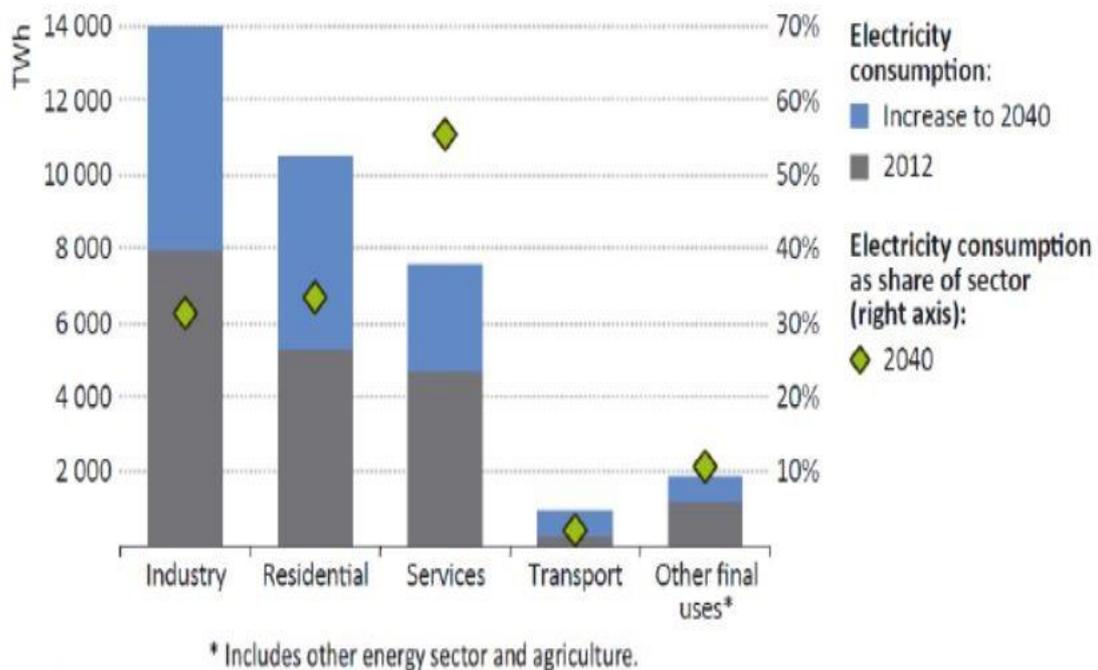


Figura 36: Consumo mondiale di energia, diviso in settori, secondo il New Policies Scenario. Fonte: IEA-WEO, 2014

Nelle figure seguenti si presenta una prospettiva generale del mercato dei veicoli Ibridi, elettrici e dei sistemi che permettono la riduzione delle emissioni di inquinanti primari e di quelli secondari (GHG emissions) [12]. Nella Figura 37 si ha una previsione del mercato automobilistico, diviso per tipologie di alimentazione, seguendo il “**Blue Map Scenario**”, che prevede che la diffusione e l’evoluzione delle tecnologie PHEV ed elettriche siano molto importanti in questo mercato [13]. Rispetto al “New Policies”, è uno scenario molto più ottimista e, quindi, più distante dall’evoluzione reale delle varie tipologie di autovetture.

Si può facilmente notare che, a partire dal 2020, secondo questo scenario, inizia l’incremento importante su scala globale dei veicoli green, vale a dire dei veicoli ibridi ed elettrici. Questo si sta in parte verificando per i Paesi già sviluppati, mentre negli altri Stati si ha ancora una certa resistenza alla penetrazione di questa tipologia di autovetture, visto che c’è un PIL pro-capite decisamente inferiore che non permette l’acquisto di veicoli così costosi e tecnologici.

Infine, c’è da considerare anche il discorso della distribuzione delle nuove tecnologie di alimentazione dei veicoli, poiché è il problema maggiormente limitante; ad esempio, per quanto riguarda l’idrogeno, ci sono problemi di sicurezza per la distribuzione rapida e fruibile in tutte le parti del globo, mentre per l’elettricità c’è da fare un discorso diverso, improntato sulla quantità di energia che servirebbe per alimentare le vetture che in questo momento non sono elettriche, ma che in futuro possono diventarlo.

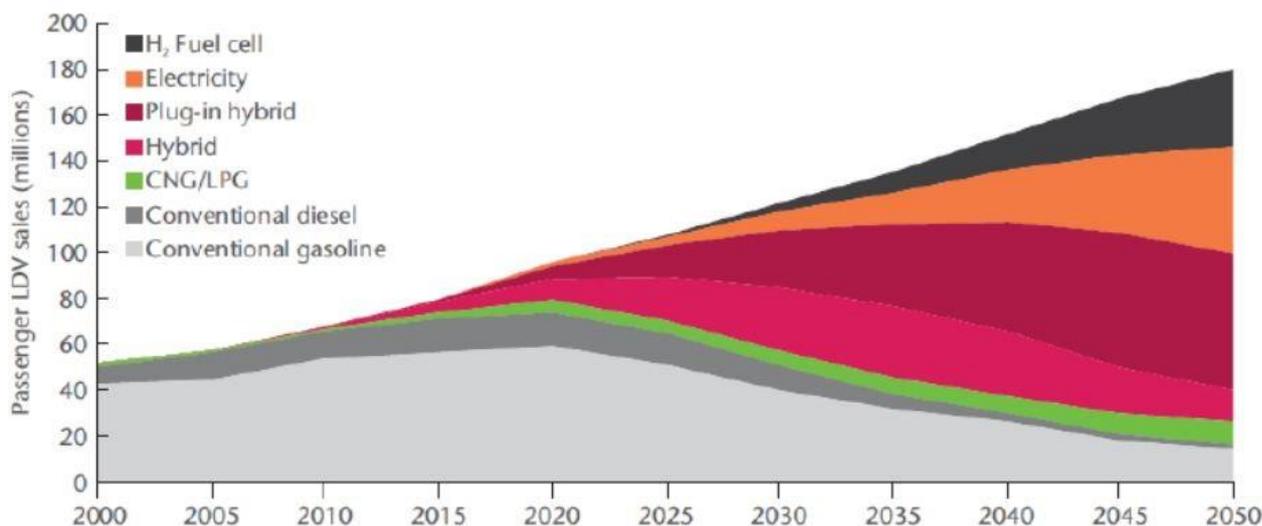


Figura 37: Vendite annuali di auto, suddivise per tipologia di alimentazione, secondo il BLUE Map Scenario. Fonte: IEA-Technology Roadmap, 2013

Nella figura 38 si ha la previsione di vendita annuale di veicoli PHEV ed elettrici, sempre seguendo lo scenario “Blue Map”, con la sua rappresentazione grafica, che ci fa notare una rapida crescita della vendita di questi modelli a partire dal 2030. I numeri nella tabella si riferiscono ai milioni di veicoli venduti in un anno e si può vedere come la situazione considerata sia alquanto ottimistica.

	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
PHEV	0.0	0.7	4.9	13.1	24.6	35.6	47.7	56.3	59.7
EV	0.0	0.3	2.0	4.5	8.7	13.9	23.2	33.9	46.6
TOTAL	0.0	1.1	6.9	17.7	33.3	49.5	70.9	90.2	106.4

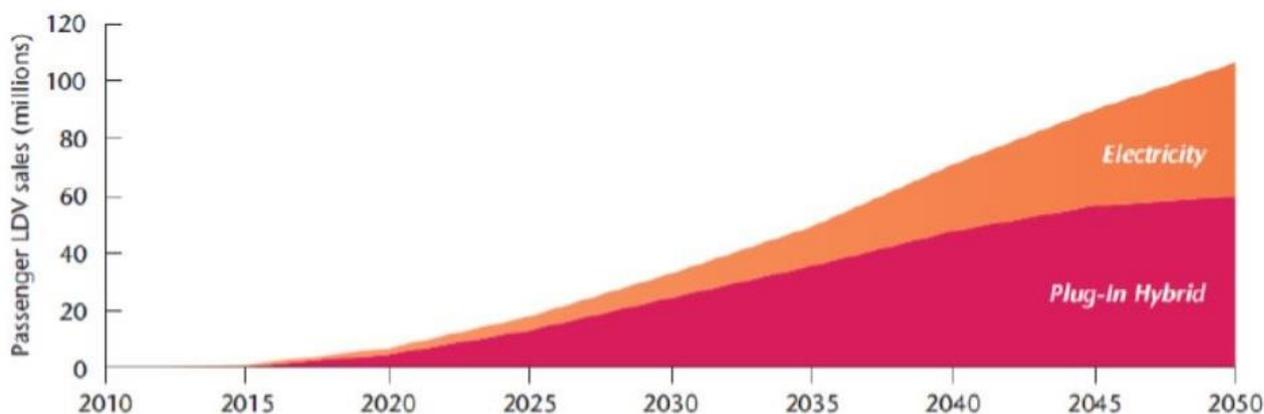


Figura 38: Sopra è presente una tabella con le vendite annuali di veicoli BEV+PHEV fino al 2030, sotto è presente la rappresentazione grafica di questa tabella, secondo le previsioni del BLUE Map Scenario. Fonte: IEA-Technology Roadmap, 2013

Ora si passa all'analisi delle vendite di queste due tipologie di veicoli e anche della probabilità di avere un determinato numero di modelli prodotti dalle case automobilistiche; nel primo grafico a sinistra **si mostra l'aumento con il passare degli anni dei modelli prodotti**, anche perché si va incontro a molte salatissime se non si rispettano i limiti imposti dalle varie comunità, in cui si immatricolano i seguenti veicoli (per l'UE si fa riferimento dal 2020 al limite di emissioni di 95 g/km che deve essere rispettato sul totale dei veicoli immatricolati da un gruppo automobilistico); in quello a destra si mostra la **tendenza delle vendite di questi veicoli** [13].

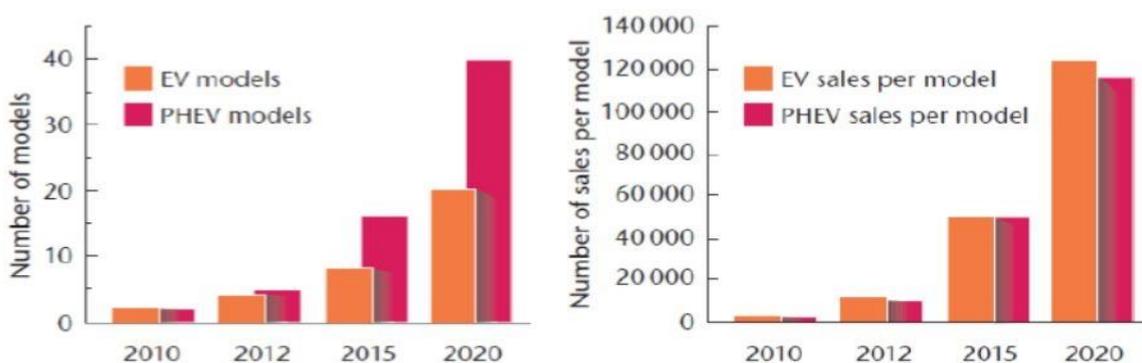


Figura 39: A sinistra il numero di veicoli BEV e PHEV offerti a listino dalle Case automobilistiche, a sinistra le vendite previste per ogni modello (da moltiplicare per il numero di modelli per avere il totale delle vendite). Fonte: IEA-Technology Roadmap, 2013

Invece, nei due grafici seguenti si mostra **rispettivamente l'andamento delle vendite previste nel 2013 di veicoli elettrici e PHEV in diverse aree mondiali** (OECD = OCSE, Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico). Si può evidenziare come la penetrazione nel mercato dei veicoli PHEV sia molto più rilevante rispetto a quella dei veicoli “full electric” e questo andamento è rispettato nella realtà.

Nella figura 41 **si mostrano le vendite reali** fino al 2017, dove con la linea nera si intende la vendita globale di soli veicoli elettrici, a cui va aggiunta la parte dei veicoli PHEV per confrontare i dati reali con la previsione effettuata nel 2013. Nelle previsioni dovevano essere venduti nel 2017 poco più di 1 milione di veicoli elettrici e circa 2,3 milioni di veicoli PHEV in tutto il mondo, mentre i dati reali indicano una situazione meno rosea (circa 800.000 veicoli elettrici e 1,2 milioni di veicoli PHEV).

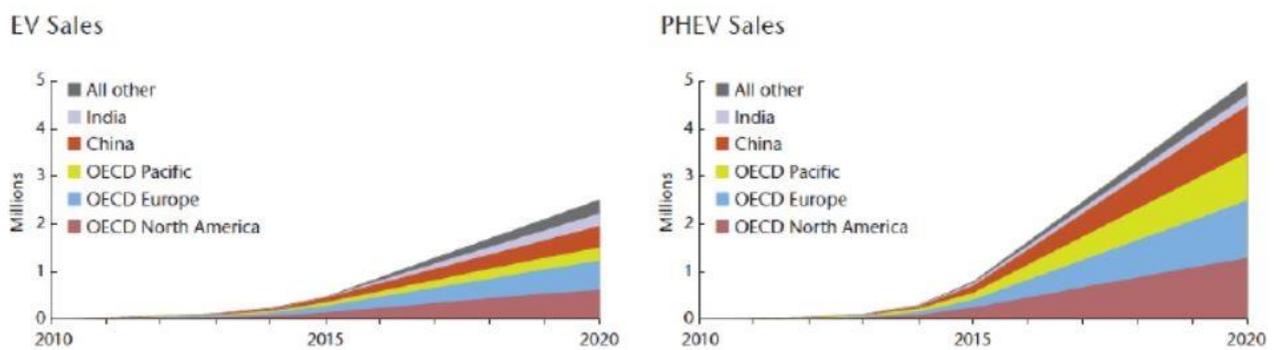


Figura 40: Vendite totali di EV e di PHEV, suddivise per marco-regioni, fino al 2020. Fonte: IEA-Technology Roadmap, 2013

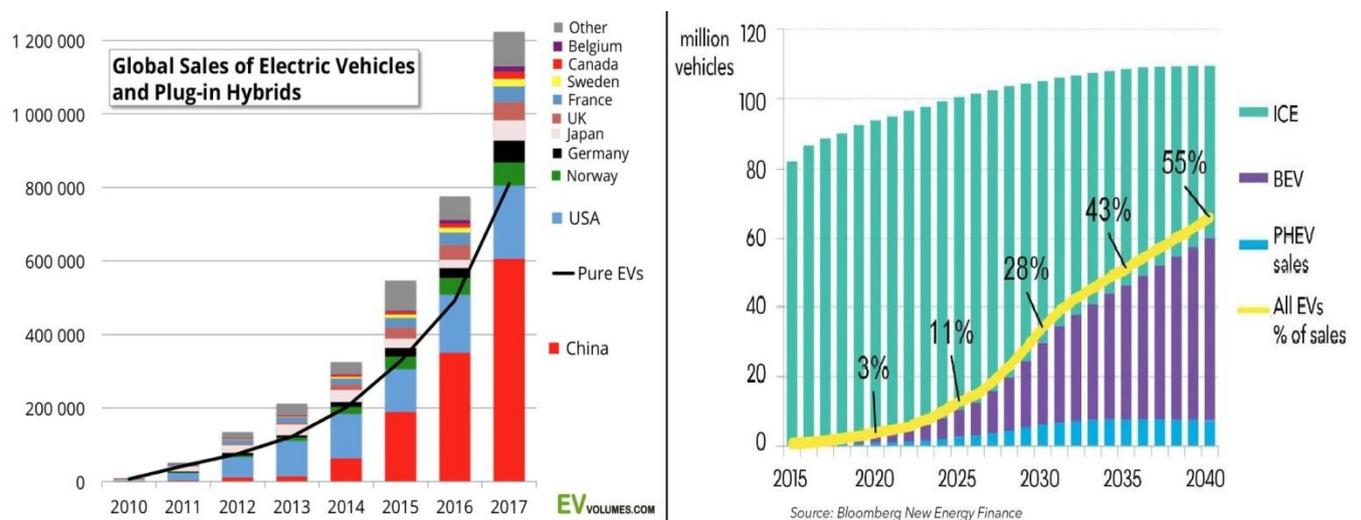
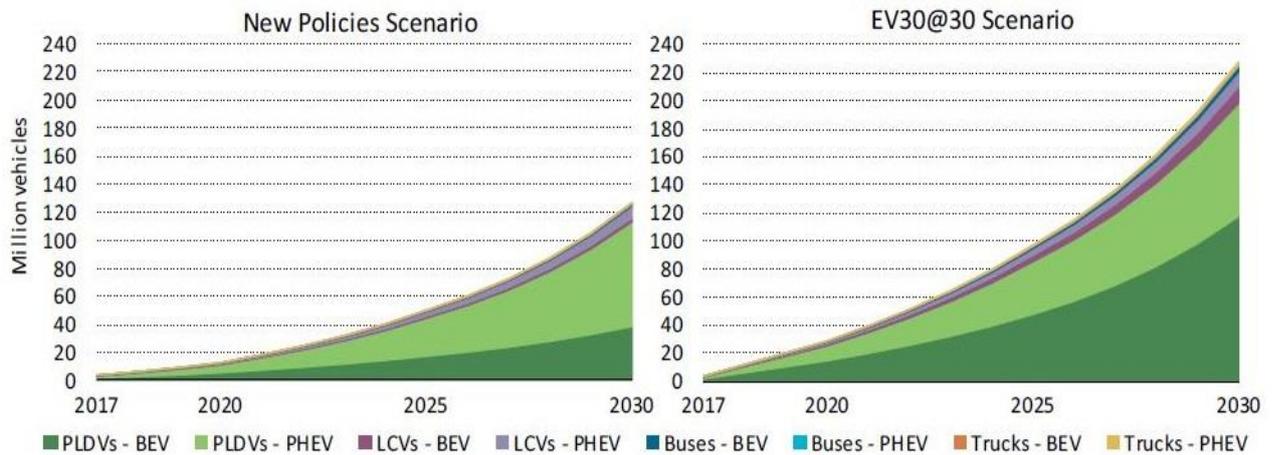


Figura 41: A sinistra le vendite di automobili BEV (linea nera)+PHEV, suddivise per Stati; a destra la previsione di vendita di veicoli totali, con la percentuale di BEV+PHEV (linea gialla) fino al 2040, secondo Bloomberg New Energy Finance

Nella figura 42 si ha una previsione molto approfondita del mercato dei cosiddetti veicoli “zero emissions” (BEV+ PHEV), e si può vedere come in entrambi gli scenari considerati si avrà un aumento molto marcato della vendita di veicoli di questo genere, sia per le autovetture che per i veicoli commerciali leggeri.

Infatti nella figura di sinistra, si nota come le vendite passeranno da pochi milioni l'anno a circa 45 milioni (divisi tra tutte le categorie, con la parte da leone fatta dalle automobili) nel 2025, mentre nella figura di destra si avranno nel 2025 circa 90 milioni di veicoli venduti. Ovviamente, visti i dati analizzati nella figura 40, lo scenario che più si avvicina alla realtà è il New Policies.



Notes: PLDVs = passenger light duty vehicles; LCVs = light commercial vehicles; BEVs = battery electric vehicles; PHEV = plug-in hybrid electric vehicles.

Figura 42: Previsione di vendita di veicoli "zero emissions", suddivisi in categorie, secondo due scenari. Fonte: IEA Analysis, 2018

Nella Figura 43, oltre ad avere una proiezione globale della vendita di veicoli fino al 2040, si ha un grafico molto importante, che prevede la riduzione del consumo di carburante delle vetture. Esso è fondamentale poiché, se si utilizza meno combustibile per percorrere la stessa distanza (nel grafico si fa riferimento ai litri consumati per percorrere 100 km), si riducono anche le emissioni di CO2 nell'atmosfera, e ciò è un bene visto che la riduzione di questo gas è uno dei temi principali sia della Conferenza di Parigi (2015), che delle regolamentazioni della UE (basti pensare alla normativa sulle seguenti emissioni, già citata precedentemente).

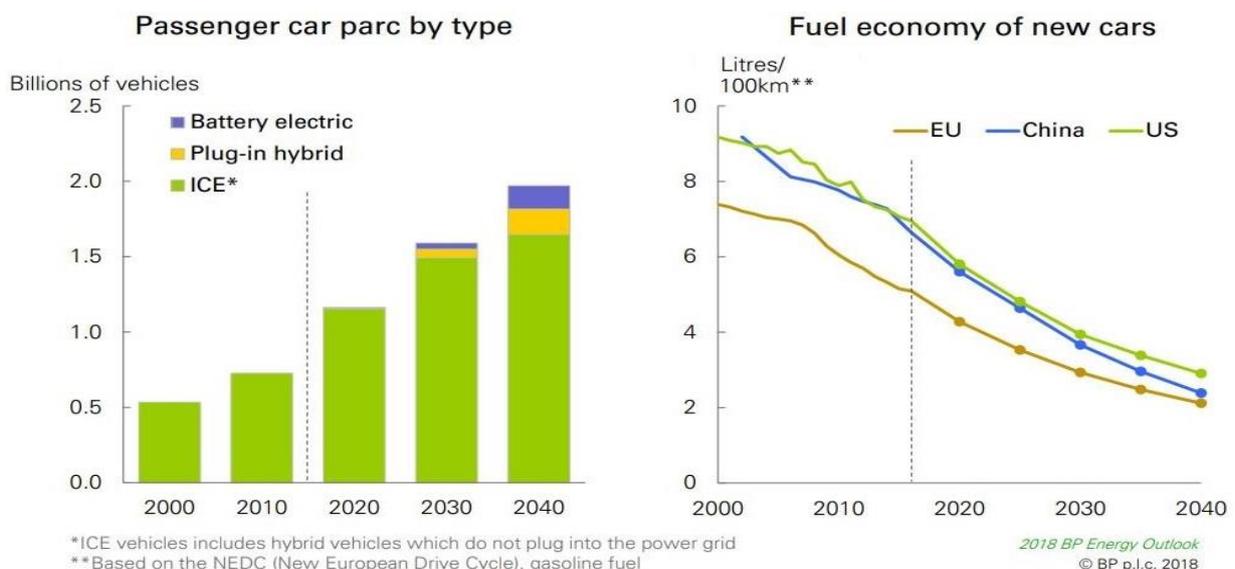


Figura 43: Proiezione delle vendite globali di autovetture a sinistra, mentre a destra si ha l'andamento del consumo di combustibile delle auto vendute

Nella figura seguente si mostra la situazione di questa tipologia di veicoli, rapportata alla totalità dei veicoli venduti in Europa. Si può notare come si è ancora in una situazione preliminare della diffusione delle seguenti tecnologie, poiché la media dei 28 paesi dell'UE indica che la somma dei veicoli PHEV ed EV venduti arriva al 2% della totalità dei veicoli immatricolati. L'Italia non è nemmeno presente in questo grafico poiché si ferma ad un misero 0,55% di immatricolazioni percentuali di PHEV ed EV nel 2018.

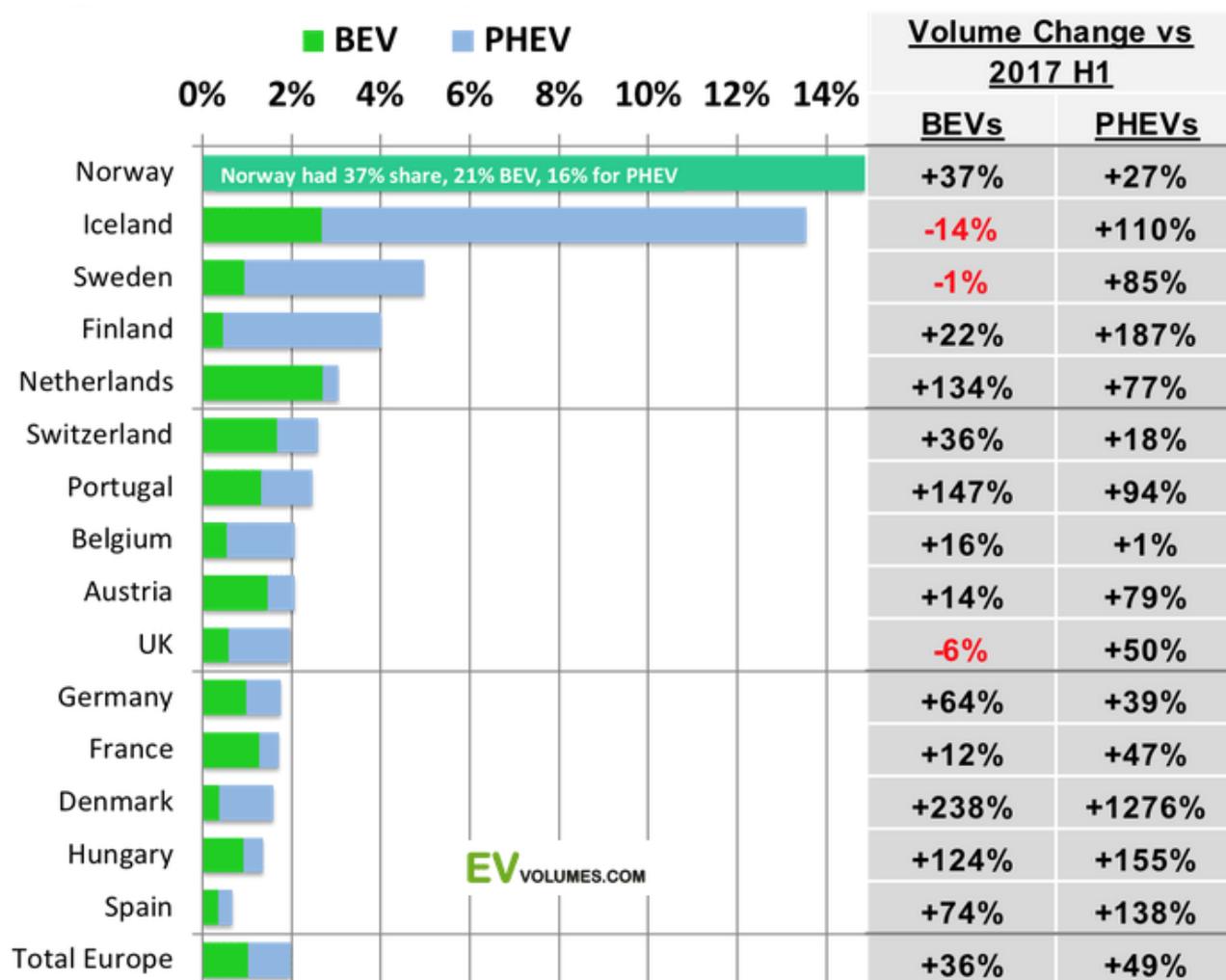


Figura 44: Vendite di veicoli BEV+PHEV in Europa nel 2018 con variazione percentuale rispetto al 2017.

3.3 Tesla, la prima azienda mondiale totalmente Elettrica

Tesla, Inc. (prima era denominata Tesla Motors) è un'azienda specializzata nella costruzione di auto elettriche, pannelli fotovoltaici e sistemi di stoccaggio energetico sostenibile. E' chiamata così in onore del noto inventore Nikola Tesla ed è stata fondata l'1 Luglio del 2003 a San Carlos da Marc Tarpening e Martin Ebenard[14].

L'obiettivo finale dell'azienda è la produzione di veicoli elettrici ad alte prestazioni, rivolti al mercato di massa e con costi sostenibili. Nel 2004 Elon Musk entrò a far parte della società come investitore principale, il quale ha dichiarato che immagina Tesla come “una società tecnologica e una casa automobilistica indipendente, il cui fine è quello di offrire auto elettriche a prezzi accessibili al consumatore medio per promuovere l'utilizzo di fonti rinnovabili e non inquinanti” [14], anche se nella prima parte della sua esistenza l'azienda si è concentrata a produrre modelli molto costosi, anche perché la tecnologia per le autovetture elettriche era ancora acerba e molto onerosa per le fasi di progettazione e di testing del veicolo.

Il 2013 fu un anno molto complicato per Tesla in quanto il bilancio era molto negativo, al punto tale che Elon Musk fu intenzionato a vendere la sua azienda a Google, ma visti i risultati ottenuti recentemente, si può dire che Musk abbia brillantemente superato questo periodo di crisi.

Nel 2014 con l'intenzione di abbassare il costo delle proprie batterie e del processo di produzione, Tesla iniziò la costruzione della Gigafactory 1, uno stabilimento situato nei pressi di Reno, nello stato del Nevada, in cui vengono realizzati le batterie e i motori per le auto elettriche e i sistemi di accumulo di energia da fonti rinnovabili denominati Powerwall, Powerpack e Megapack [15]. In seguito, Tesla ha costruito o sta costruendo le restanti Gigafactory a Buffalo, Shangai e Berlino.

Negli anni successivi alla crisi del 2013, Tesla cercò di acquisire tutte le aziende che sono coinvolte nello sviluppo e nella produzione degli autoveicoli; quindi, Elon Musk cerca di raggruppare sotto la stessa egida diverse tipologie di industrie, rinunciando alla classica divisione dei compiti presente in tutte le aziende automobilistiche. Infatti negli anni compresi tra il 2015 e il 2019 sono state acquisite le seguenti imprese:

- La Riviera Tool con sede nel Michigan, specializzata in stampi per l'industria automobilistica;
- La SolarCity, che produce impianti fotovoltaici, i quali servono a Tesla per poter alimentare in modo ecologico le sue Gigafactory;
- La Grohmann Engineering e la Prebix Machine Company, che operano in sistemi di produzione automatizzata, i quali servono per la produzione a basso costo delle vetture e dei sistemi elettrici [16];
- L'azienda produttrice di ultracondensatori Maxwell Technologies di San Diego [17];
- La startup americana DeepScale [18], esperta in sistemi di intelligenza artificiale;
- La Hibar Systems, società canadese che costruisce impianti da destinare alla produzione di batterie per auto elettriche.

Tesla venne quotata alla Borsa di New York il 29 giugno 2010 e dopo 7 anni superava per la prima volta Ford e General Motors in capitalizzazione azionaria, diventando l'azienda automobilistica statunitense di maggior valore. [19]

Inoltre dal 2014, l'azienda ha applicato la filosofia Open Source ai suoi brevetti, rendendoli utilizzabili da chiunque, ed è stata la prima società a farlo in ambito automotive. In seguito, altre aziende hanno adottato questa soluzione, come Toyota con i suoi brevetti sull'idrogeno.

Il network Destination Charging prevede invece l'installazione di caricatori da muro Tesla fino a 16,5 kW presso alberghi, ristoranti e altre strutture commerciali, dove è ipotizzabile una sosta di durata maggiore. Soggiornando presso un albergo affiliato per esempio, l'utente Tesla può ripartire il giorno successivo con la batteria completamente carica.

La prima vettura prodotta dall'azienda fu la **Roadster**, un veicolo completamente elettrico, basato sul pianale della Lotus Elise[20]. La scocca e gran parte dei componenti erano prodotti dalla Lotus Cars nello stabilimento di Hethel e spediti nella fabbrica Tesla in California per l'assemblaggio finale, un processo che accomuna parecchie auto di larga produzione. In questo caso tra le due aziende è stata effettuata una joint-venture e non un accordo più esteso, poiché è stato prodotto di comune accordo soltanto questo modello.

L'autonomia della Roadster è di 340 km[21] ed è stata la prima automobile non prototipale a utilizzare batterie con celle agli ioni di litio. Questo modello era lungo 395 cm, largo 187 e alto 113, sviluppava una potenza di 215 kW con un peso di 1235 kg; il principale difetto, dovuto soprattutto all'alta tecnologia dei sistemi di propulsione e ai costi di importazione, era il costo di 114.000 euro in Italia. [22] Con una produzione di circa 2.500 esemplari venduti in 31 Paesi, questo modello ha permesso all'azienda di rivoluzionare il concetto di auto elettrica, prima concepita come qualcosa di lento e poco applicabile all'industria automobilistica.



Figura 45: Un'immagine della Tesla Roadster su strada, dove si nota la somiglianza con la Lotus Elise. Fonte: Wikipedia

Il 26 marzo 2009 fu presentata la **Model S**, la prima berlina completamente elettrica, lunga circa 5 metri, larga ben 196 cm e alta solo 145. Nel primo modello, veniva proposta con una configurazione a singolo motore elettrico (con batterie variabili tra 40 e 85kWh) o con doppio motore elettrico (con batterie variabili tra 60 a 100 kWh). L'autonomia oscillava tra i 224 km dell'autovettura con minor energia immagazzinata, fino ad arrivare ai 632 km (percorsi su ciclo NEDC) della versione da 100 kWh[23].

Dopo numerosi ritardi nella progettazione e nella produzione, la sua distribuzione inizia nel Nord America a partire dal 2012, mentre in Europa e Asia viene importata nel 2013.[24] Le vendite di questo modello superarono quota 100.000 unità alla fine del 2015, qualche mese prima dell'introduzione sul mercato del suo restyling, che ha principalmente riguardato la parte frontale e ne ha modificato le versioni prodotte, che sono soltanto due: la Long Range e la Performance, che hanno entrambe una batteria da 100 kWh e differiscono soltanto per la taratura della centralina, effettuata in base alla maggior autonomia della prima versione (620 km sul ciclo in WLTP) o alle maggiori prestazioni della seconda.

Nel restyling vengono inseriti anche la guida assistita di livello 3 (Autopilot), coadiuvata da 1 radar, 8 telecamere e 12 sensori ad ultrasuoni e la possibilità di ricevere aggiornamenti software direttamente dalla casa madre grazie alla connettività 4G a bordo. Il prezzo in Italia parte da 88.900 euro per la versione Long Range.



Figura 46: Tesla Model S, nella versione pre-restyling (2012). Fonte: Wikipedia

Nel 2012 Tesla mostrò al mondo intero il terzo modello della sua gamma, il quale venne denominato **Model X**, che è un SUV di grandi dimensioni, la cui caratteristica maggiormente avveniristica è data dalle porte posteriori denominate Falcon Wings ad apertura verticale, che possono aprirsi con un ostacolo distante dalla vettura fino a 30 centimetri. La Model X, per il contenimento dei costi, viene sviluppata sullo stesso pianale della Model S e si può avere con 5, 6 o 7 posti; infatti le sue dimensioni sono molto simili a quelle della Model S, tranne che per l'altezza che passa da 145 a 168 cm [25].

Anche questo modello è proposto nelle stesse due versioni della Model S, con potenze e capacità delle batterie maggiori per poter sostenere il maggior peso della vettura e per non penalizzare troppo l'autonomia, che varia tra i 500 e i 600 km su ciclo WLTP.

Le consegne partirono il 29 settembre 2015, ma la produzione è stata rimandata più volte per problemi di varia natura. Le consegne globali sono state pari a 25.312 unità nel 2016, in cui si è classificata come l'auto più venduta in Norvegia, in termini assoluti. In precedenza, la Model S era stata l'auto più venduta in questo Paese per quattro volte.[26] Nello stesso periodo iniziò la costruzione della rete dei Supercharger, partendo dalla California.



Figura 47: Tesla Model X, con la sua caratteristica apertura delle portiere posteriori (Falcon Wings). Fonte: Wikipedia

La **Model 3** è la quarta autovettura prodotta da Tesla, che ha avuto una genesi non propriamente priva di problemi; infatti questo veicolo doveva chiamarsi “Model E”, ma la Ford intentò causa nel 2013, poiché questo nome apparteneva già ad una tipologia di automobile prodotta dalla casa dell’Ovale ed Elon Musk fu costretto a cambiare nome per evitare guai legali.

Essa è il modello su cui il marchio americano ha deciso di realizzare i maggiori volumi di vendita, poiché è una berlina di segmento D lunga 469 cm, larga 185 e alta 144; anche essa è proposta con due tipologie differenti di motori elettrici, dove le potenze variano tra i 100 kW della Standard e 155 kW della Performance, con autonomie da 400 a 530 km (su ciclo WLTP) [27].

Dopo una settimana dalla sua presentazione le prenotazioni si attestarono a 325.000 con ricavi stimati pari a 14 miliardi di dollari, mentre dopo circa un anno avevano sfondato il muro delle 500.000 unità [28]. La Model 3 è una delle prime auto moderne ad avere un cruscotto molto diverso da quello di un'auto convenzionale, poiché è costituito da un display posto al centro della plancia da 15”, messo in posizione orizzontale, che somiglia moltissimo ad un tablet su cui vengono mostrate diverse informazioni sulla climatizzazione o sulla vettura.



Figura 48: Tesla Model 3, l'auto più economica del produttore americano. Fonte: Wikipedia

Alla fine del primo trimestre del 2019 Tesla ha presentato il suo nuovo crossover o SUV compatto col nome di **Model Y**, che verrà proposto in configurazione da 5 o 7 posti e arriverà sul mercato globale nel secondo trimestre del 2020, ma è già possibile ordinarlo dal sito di Tesla;

Già dall'annuncio su Twitter, Musk aveva anticipato qualcosa sulle caratteristiche in relazione alla Model 3, modello su cui si basa il nuovo crossover: nonostante le dimensioni e l'ingombro maggiori del 10%, il nuovo modello condivide con la berlina compatta il 75% dei componenti e questo ridurrà i costi e i tempi di produzione. Sempre lo stesso Musk ha anticipato che anche il prezzo sarà maggiore del 10% rispetto a quello della Model 3: infatti la Model Y dovrebbe costare da 58.980 a 71.980 euro e si può prenotare con un acconto di 2.000 euro; dal 2021 sarà inoltre disponibile una versione più economica, da 39.000 dollari [29].

La Model Y sarà prodotta in 4 differenti versioni (Standard Range, Long Range, Dual Motor AWD, Performance). La Long Range a trazione posteriore è la prima ad uscire: l'auto ha una autonomia di 482 chilometri e ha una velocità massima di 240 km/h. La Standard Range arriverà invece nel 2021 e avrà una autonomia di 370 km con una ricarica.



Figura 49: Tesla Model Y, il SUV-Crossover basato sulla Model 3, che entra in produzione a fine 2019. Fonte: Wikipedia

Il Tesla **Semi** è un camion la cui produzione è prevista per il 2020, ma è stato già presentato come prototipo il 16 novembre 2017.

Musk ha dichiarato che l'autonomia dovrebbe raggiungere le 500 miglia (800 km) e che il tempo da zero a 100 km/h sarebbe pari a 5 secondi, contro i 15 impiegati da un camion di simile potenza e massa, avente motore Diesel; inoltre, ha detto, destando non poco scalpore, che la guidabilità è pari a quella di un'auto sportiva, cosa che può essere utilizzata splendidamente per costruire campagne marketing, ma che non risulta essere indispensabile all'utilizzatore medio di un camion.

Il Semi sarà movimentato da quattro motori elettrici, della stessa tipologia di quelli utilizzati dalla Model 3 (con potenze maggiori), e avrà in dotazione un ampio set di sensori per consentirgli di rimanere nella propria corsia, di mantenere una distanza di sicurezza da altri veicoli e, quando le condizioni normative lo consentiranno, di fornire la possibilità di guida autonoma totale sulle autostrade [30].

Musk ha dichiarato la costruzione di stazioni di ricarica (Megacharger), in cui una carica di 30 minuti fornirebbe 650 km di autonomia. Questa skill è importante perché il comparto dei trasporti in territorio americano è su scala regionale, vale a dire entro i 400/450 km di distanza: è quello il mercato a cui Elon Musk punta, giocandosi la carta dei costi di gestione più contenuti del settore, che potrebbero ingolosire le compagnie di trasporto merci: si parla di 1,26 dollari per miglio contro 1,51 dollari per miglio di un convenzionale camion a gasolio.

Se questi dati venissero confermati su strada [31], sarebbe un risparmio molto importante da considerare per le aziende interessate a questo sistema di trasporto, a fronte di un costo di investimento iniziale maggiore rispetto ad un mezzo pesante convenzionale. Alcune aziende come UPS, DHL, PepsiCo e Fercam hanno dato fiducia a Musk confermando i preordini di questo camion.



Figura 50: Tesla Semi, il camion dell'azienda americana, mostrato in un render al PC. Fonte: www.motorbox.com

Durante lo stesso evento di presentazione del Semi, il 16 novembre 2017 Elon Musk ha dichiarato che uscirà una nuova versione della **Roadster** (2020), della cui progenitrice riprenderà soltanto il nome.



Figura 51: La nuova Tesla Roadster, in un progetto virtuale presentato dalla stessa casa americana nel 2017. Fonte: www.motorbox.com

Musk ha dichiarato che il nuovo modello sarà in grado di percorrere oltre 1.000 km, grazie al pacco batterie da 200 kWh, coprirà lo 0-100 km/h in 2,1 secondi e la velocità massima dovrebbe superare i 400 km/h. La nuova Tesla Roadster è spinta da tre motori elettrici, uno installato all'anteriore e due dietro, necessari per garantire la trazione integrale all'auto.

Come tutte le sportive 2+2, lo spazio nel bagagliaio sarà ridottissimo, a causa della presenza della capote in tela e dei due motori elettrici, mentre l'abitabilità anteriore dovrebbe essere valida. Come prestazioni e guidabilità, il seguente modello è visto da Elon Musk come una sfida ai marchi più prestigiosi di supercar come Ferrari, Lamborghini, McLaren e Porsche e quindi dovrebbe costare un buon 40% in più del modello precedente.[32]

3.4 Analisi del mercato automobilistico europeo

Prima di passare all'analisi del mercato relativo alle vetture elettriche e ibride, si fa un excursus relativo al mercato automobilistico europeo e italiano. I **trasporti** rappresentano uno dei settori su cui l'UE ha posto una regolamentazione vincolante per le case costruttrici, con obiettivi molto stringenti per una mobilità sostenibile e ha definito la nuova strategia di politica industriale per una mobilità sicura, interconnessa e pulita. [33] Le nuove tecnologie stanno radicalmente cambiando i paradigmi della mobilità, rivoluzionando i modelli di business e l'industria dei trasporti.

All'interno di queste normative è presente l'impegno assunto dalla Commissione per la riduzione delle emissioni di CO₂ causate dal trasporto stradale. La strategia europea impone alle case costruttrici un abbattimento drastico delle emissioni di CO₂ prodotte dai nuovi modelli di auto, furgoni e camion.

I primi obiettivi di riduzione per il 2015 sono stati già raggiunti nel 2013 ed erano di 130 gCO₂/km per le auto e di 175 gCO₂/km per i furgoni). Le nuove norme, che si applicheranno a partire dal 1/1/2020 ed entreranno in vigore nel 2021 (per la totalità dei veicoli immatricolati) prevedono una riduzione per le vetture a 95 gCO₂/km e per i veicoli Light-Duty a 147 gCO₂/km.

Recentemente, nuovi livelli di CO₂ sono stati fissati dall'UE per gli anni 2025 e il 2030. Questi obiettivi sono definiti come una riduzione percentuale rispetto al 2021 [34]:

1. **Auto:** riduzione del 15% dal 2025 e riduzione del 37,5% dal 2030 in poi;
2. **Furgoni:** riduzione del 15% dal 2025 e riduzione del 31% dal 2030 in poi;
3. **Camion:** riduzione del 15% dal 2025 e del 30% dal 2030, con base di riferimento le emissioni di CO₂, misurate nel 2019.

Le Case costruttrici hanno dunque dovuto cambiare i piani strategici, il mix di produzione per alimentazione e predisporre investimenti massicci per l'elettrificazione dei veicoli. Il raggiungimento dei target di riduzione delle emissioni di CO₂ per il 2020-2021, ma soprattutto per il 2025-2030, si presenta arduo senza un'immissione massiva di veicoli elettrici nel mercato.

L'andamento delle vendite nel 2018 presenta una situazione contrastante: nella prima metà dell'anno si ottiene un aumento del 3%, mentre nella seconda metà si ha una flessione del 3%, con un dato annuo pari allo -0,1% rispetto al 2017 [33]. Il motivo di questo andamento è nell'introduzione del nuovo ciclo di omologazione WLTP a partire dall'1 settembre 2018, che ha causato un aumento importante delle vendite nel mese di agosto, visto che le case costruttrici dovevano finire le scorte di autovetture omologate con il NEDC [35].

Inoltre, nello stesso anno si constata un calo del 18% delle vendite di auto diesel, un aumento del 12% delle auto a benzina e un incremento del 28% delle auto ad alimentazione alternativa, che pesano per l'8% del mercato.

Questo è un effetto diretto sia dello scandalo del *dieselgate* (falsificazione delle emissioni delle vetture munite di motore diesel vendute in USA e in Europa), che ha causato un danno di reputazione notevole all'industria dell'auto europea, sia della cosiddetta "demonizzazione" del diesel, da parte delle amministrazioni locali delle città europee più grandi e questa tendenza sarà sempre più marcata negli anni futuri.

Di seguito, viene riportata una tabella in cui si evidenzia come nel 2018 siano presenti ancora troppe autovetture per 1000 abitanti (se si considera un gruppo familiare mediamente composto da 3 persone, si fa presto a vedere come sono presenti mediamente 2 autovetture per gruppo familiare), mentre è esattamente l'opposto per quanto riguarda il numero di autobus per 10.000 abitanti.

Densità autoveicolistica	2018	var. %
autovetture/1.000 abitanti	646	1,5%
autocarri/1.000 abitanti	84	1,6%
autobus/10.000 abitanti	17	1,1%

Figura 52: Densità di veicoli per abitante, riferita a diversi sistemi di trasporto. Fonte: ACI, 2018

Nel primo semestre del 2019 le vendite di auto a benzina raggiungono il 43,4% (+24% sul dato annuale) e quelle di auto GPL e metano si attestano al 14% (+7%). Le immatricolazioni di auto BEV+PHEV conquistano l'1,1% del mercato, grazie alla spinta dell'eco-bonus, che ha premiato soprattutto le auto BEV con lo 0,8% di quota nei primi 6 mesi.

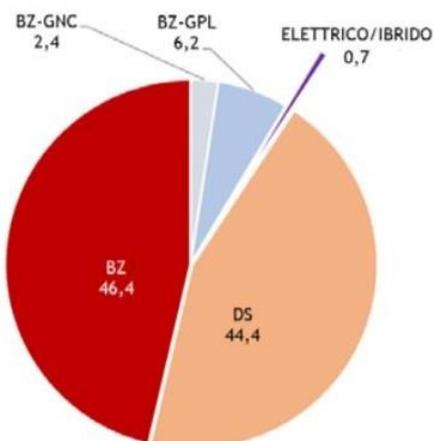
La misura del Governo è molto importante e ha sicuramente dato una spinta alle vendite di questa tipologia di automobili, ma si sta parlando di una quota di mercato che comprende nemmeno il 2% di tutto il comparto auto, e sicuramente questi fondi si potevano impiegare in altro modo (ad esempio, investimenti forti e concreti nello sviluppo di energie rinnovabili come il solare, il geotermico e l'eolico), per risolvere il problema dell'inquinamento alla fonte.

Tra le regioni che hanno immatricolato un maggior numero di vetture a basso impatto ambientale sono presenti l'Emilia Romagna (circa 545.000 unità), la Lombardia (oltre 470.000) e il Veneto (368.000). L'importante riduzione delle vendite negli anni di crisi (dal 2007 al 2010) ha fortemente contribuito all'invecchiamento del parco, che ormai possiede un'età media di 11 anni e 3 mesi a fine 2018 e una parte di auto Euro 5 e 6 appena pari al 36% delle auto circolanti, le quali sono 39 milioni, di cui 13,7 milioni pre-Euro 4 (il 36%) [33].

L'età media nel 2018 per le autovetture a benzina è di 14 anni e 3 mesi, per quelle a gasolio è di 9 anni e 9 mesi, mentre per quelle a benzina-GPL o benzina-metano è di 8 anni e 11 mesi. Il ringiovanimento del parco veicoli rimane la soluzione più efficace per ridurre l'inquinamento atmosferico senza ricorrere ai blocchi.

PARCO AUTOVETTURE PER ALIMENTAZIONE, 2018

In %, dati ACI



PARCO AUTOVETTURE PER STANDARD EMISSIVI, 2018

in %, dati ACI

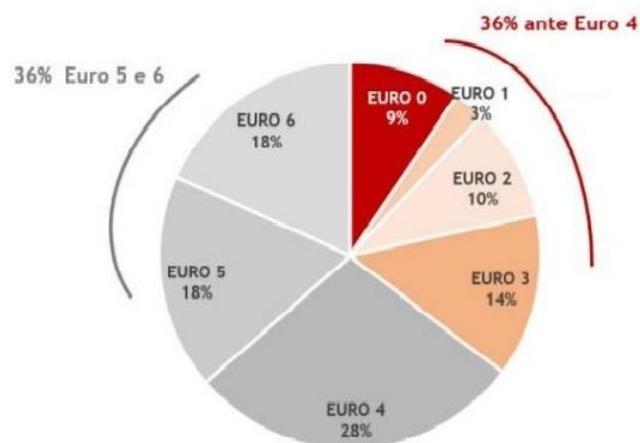


Figura 53: A sinistra la divisione per alimentazione del parco autovetture italiano, mentre a destra la suddivisione per standard emissivi. Fonte: ACI, 2018

Nonostante abbiano ancora un prezzo di acquisto impegnativo, le macchine elettriche garantiscono non solo un deciso risparmio a lungo termine, ma anche la possibilità di non dover sottostare ai blocchi della circolazione. Gli incentivi fino a 6.000 euro, istituiti come eco-bonus sull'acquisto di una macchina elettrica e anche ibrida dal governo Italiano dal 2019 al 2021, potrebbero rendere finalmente conveniente l'acquisto di un'auto elettrica.

L'eco-bonus premia chi acquista dal 1° marzo 2019 al 31 dicembre 2021, anche in formula leasing, un'auto nuova, immatricolata in Italia, che rispetti i vincoli di emissione di CO₂, sotto forma di sconto sul prezzo d'acquisto applicato dal venditore. Le risorse disponibili per la misura ammontano a 60 milioni di euro per il 2019 e a 70 milioni annui per il 2020 e 2021 e si riferiscono ai veicoli venduti ad un prezzo di listino inferiore a 50.000 €. Il contributo viene riconosciuto in maniera differente a seconda che si rottami o meno un veicolo della stessa categoria omologato alle classi Euro 1, 2, 3 e 4 e soprattutto ci sono 2 fasce di eco-bonus:

1. **Da 0 a 20 g/km di CO₂:** Il bonus vale 6.000 euro in caso di rottamazione e 4.000 euro senza;
2. **Da 21 a 60 g/km di CO₂:** Il bonus vale 2.500 euro in caso di rottamazione e 1.500 euro senza.

L'eco-bonus è riservato praticamente solo alle auto ibride plug-in e le elettriche. Per quanto riguarda quest'ultima categoria, il governo italiano ha confermato l'esenzione di queste vetture dal pagamento del bollo auto per i primi 5 anni di vita. L'eco-bonus premia anche chi acquista in Italia nel 2019 un motoveicolo o quadriciclo elettrico o ibrido nuovo con contestuale rottamazione di uno appartenente alle classi Euro 0, 1, 2 o 3 sotto forma di uno sconto sul prezzo d'acquisto pari al 30% del prezzo di vendita, per un massimo di 3.000 €, applicato dal venditore.

Oltre all'eco-bonus è presente il pagamento di una tassa per le auto acquistate (anche in formula leasing) dal 1° marzo 2019 al 31 dicembre 2021, anche se comprate prima all'estero e immatricolate in Italia nel periodo indicato, in base alla quantità di CO2 emessa per chilometro eccedente la soglia di 160 g/km [36]. Il dato di emissione chiaramente elimina dal pagamento tutte le vetture piccole o medie, mentre l'importo della tassa varia da 1.100 a 2.500 €.

In realtà, pur essendo un gas serra, la CO2 non è tossica e quindi non rappresenta un problema reale nelle aree urbane, ma rimane un problema molto grave per il riscaldamento globale e per i cambiamenti climatici. Per dare un segnale molto forte nella riduzione dello smog nelle città italiane, forse avrebbe più senso prendere in considerazione parametri diversi, come l'emissione di NOx o del particolato, tossici per l'uomo.

Per rendere l'idea, basti pensare che **le auto diesel emettono CO2 inferiori** rispetto a quelle a benzina, quindi sarebbero considerate potenzialmente virtuose dalla normativa [37]. Peccato che **emettano più NO-x**, ed è per questo che nelle città sono state pian piano bandite; quindi, il decreto sembra prestarsi a forti contraddizioni.

Infatti, la sempre maggiore diffusione di veicoli ibridi (Plug-In e convenzionali) e di veicoli elettrici, può mitigare il problema relativo alle emissioni di CO2 perché i veicoli ibridi, a velocità ridotte, funzionano come se fossero un veicolo full electric; infatti è proprio questa condizione di funzionamento la più critica per le emissioni dei veicoli convenzionali, e già mediante la loro sostituzione con veicoli ibridi si ridurrebbero di molto le emissioni dei cosiddetti inquinanti primari (NOx e Pm su tutti) negli agglomerati urbani.

Il secondo step sarebbe quello di sostituire le automobili acquistate nell'ultimo decennio direttamente con i veicoli full electric, ma in questo caso dovrebbe passare ancora tanto tempo per dire in che modo questa tecnologia potrà svilupparsi nell'intricatissimo mercato automobilistico e potrà ritagliarsi uno spazio di assoluto rilievo.

Nei listini delle molteplici case automobilistiche sono già presenti parecchi modelli di auto elettriche, che rappresentano il futuro della mobilità, potendo contare su oggettivi vantaggi quali l'assenza di emissioni inquinanti a beneficio dell'ambiente, i costi ridotti di utilizzo (parcheggi gratuiti sulle strisce blu in parecchie città, ingresso gratuito nelle aree ZTL a pagamento), la maggiore silenziosità rispetto ad un'auto con motore termico e le migliori prestazioni a parità di potenza sviluppata.

I limiti attuali che frenano la diffusione delle auto elettriche sono i costi elevati di produzione, che si traducono in prezzi d'acquisto elevati (non c'è una vettura che è sotto la soglia dei 30.000 €, tranne i due modelli di Smart), l'autonomia limitata e la scarsa capillarità di infrastrutture per la ricarica dei veicoli (unita al fatto che, se bisogna installare un impianto di ricarica nel proprio box domestico, si deve avere un contratto di fornitura di energia elettrica con maggiore capacità – dai 3kW convenzionali ai 7/8 kW – e, ovviamente, con costi mensili decisamente più alti). Di seguito si fa una breve panoramica dei modelli presenti in listino attualmente [38], ad esclusione di quelli Tesla, di cui si è già parlato precedentemente:

1. **BMW i3:** è un'auto elettrica di segmento B, che supera di poco i 4 metri di lunghezza ed è equipaggiata da un motore elettrico potente (170 Cavalli). Al suo interno trovano spazio a sedere 4 persone ed ha 5 porte. Si può ordinare anche con il Range Extender, che prevede a bordo un piccolo motore bicilindrico a benzina, di derivazione motociclistica, da 0,65 litri di cilindrata che non ha funzione propulsiva, bensì quella di generare corrente elettrica per mantenere il SOC della batteria (ibrido serie). La vettura su ciclo WLTP ottiene 245 km di autonomia con una sola carica della batteria, che salgono fino a 370 km con il Range Extender. I prezzi oscillano tra i 40.000 e i 50.000 €.
2. **Citroen C-Zero, Mitsubishi i-MiEV, Peugeot iOn:** sono 3 autovetture nate sullo stesso pianale in collaborazione tra il gruppo PSA e Mitsubishi. Per le loro dimensioni "mini" sono auto nate per la città, dove si muovono vivacemente e si parcheggiano con facilità. Il piccolo motore elettrico eroga 67 CV di potenza e la loro autonomia, dichiarata dalle Case costruttrici, può raggiungere i 150 km con una sola ricarica. Il costo si aggira intorno ai 30.000 €.
3. **Hyundai IONIQ EV:** essa rientra nel segmento delle berline medie a 5 porte con abitacolo e bagagliaio spaziosi, anche se quest'ultimo, rispetto alla versione ibrida, ha dimensioni più ridotte a causa della presenza delle batterie. Spinta da un motore elettrico da 120 CV, offre delle prestazioni di tutto rispetto e ha un'autonomia dichiarata di 280 km. Costa oltre 40.000 €.
4. **Hyundai Kona EV:** è la versione elettrica della B-SUV coreana, molto compatta ma con prestazioni di tutto rilievo. Ci sono due versioni presenti a listino che differiscono per capacità della batteria (39 e 64 kWh) e per potenza sviluppata dal motore elettrico trifase (136 e 204 CV). La percorrenza di questa vettura con un ciclo di ricarica completo, ottenuta in base al ciclo di omologazione WLTP, è di 482 km e costa intorno ai 40.000 €.
5. **Jaguar I-Pace EV:** è una SUV di segmento D, che possiede la trazione 4x4 ed è lunga circa 470 cm. Grazie ai due motori elettrici da 200 CV di potenza ciascuno, disposti sui due assali della vettura, ottiene prestazioni di tutto rispetto; l'autonomia di questo veicolo totalmente elettrico di Jaguar è di 480 km (dato misurato su ciclo WLTP). I prezzi superano abbondantemente gli 80.000 €.
6. **Nissan Leaf:** essa rappresenta il modello di auto elettrica più venduta al mondo e si tratta di una berlina a 5 posti molto spaziosa, grazie alla perfetta distribuzione del battery pack sotto il pianale del veicolo. È spinta da un motore con due livelli di potenza (110 e 160kW), alimentato da una batteria agli ioni di litio da 40 kWh con aggiunta di ossidi di manganese al nickel e al cobalto. In base al ciclo NEDC, l'autonomia è di 378 km, che scendono a 270 nel caso di ciclo WLTP; i prezzi variano da 35.000 a 50.000 €, in base all'allestimento e alla motorizzazione.
7. **Smart Fortwo EQ:** la Fortwo, ad oggi, è l'auto elettrica più piccola al mondo. Il motore eroga 82 CV di potenza e 160 Nm di coppia massima, dando alla vettura prestazioni brillanti. L'autonomia dichiarata su ciclo WLTP è di 160 km: essa è sufficiente per un uso strettamente urbano, ma diventa critica se la Smart deve percorrere gite fuori porta.

I prezzi, validi anche per la versione a 4 porte, oscillano tra i 24.300 € della versione base fino ai 30.000 della full optional.

8. **Smart ForFour EQ:** la ForFour è la versione a 5 porte e 4 posti della Fortwo, con cui condivide il motore elettrico trifase e le prestazioni brillanti, anche se questo modello pesa leggermente di più, dato che fa ridurre l'autonomia su ciclo WLTP di 5 km.
9. **Volkswagen e-Golf:** è la versione elettrica della famosa berlina di segmento C e monta il motore elettrico da 136 CV di potenza e 290 Nm di coppia, che garantisce un'autonomia pari a 300 km su ciclo WLTP. I prezzi partono da 32.000 €.

Il 2019 è un anno cruciale per l'incremento sia delle vendite di auto elettriche, sia per l'aumento inesorabile di modelli full electric, a causa del limite molto severo di 90 g/km di CO2 di tutte le vetture immatricolate da un costruttore. Per poter essere in regola, le case automobilistiche stanno puntando sempre di più sulle migliorie da adottare nelle auto elettriche e sulla loro commercializzazione. Di seguito vengono presentati i modelli che sono entrati in produzione nel 2019 con una breve descrizione [39]:

1. **Audi e-tron:** è il primo SUV totalmente elettrico di casa Audi, il quale ha più di 400 Km di autonomia ed è basato sul pianale dell'Audi Q7. Ha una velocità massima di 210 km/h, una potenza fino a 408 CV, un'autonomia di 400 Km e due batterie (95+150 kWh), che alimentano i due motori elettrici posti sui due assali della vettura e costa da 75.000 a 90.000 €.
2. **DS3 Crossback E-Tense:** i prezzi di questo nuovo modello della DS partono da 39.600 € per la motorizzazione elettrica base e tutti gli allestimenti possiedono un motore elettrico che sviluppa 100 kW e ha un'autonomia di 320km su ciclo WLTP. Le linee esterne riprenderanno quelle del modello con alimentazione benzina e diesel.
3. **Mini Cooper SE:** è il primo modello della Mini ad avere motorizzazione completamente elettrica e sicuramente condividerà gran parte dei componenti con la BMW i3. Cambierà sicuramente il motore, che può sviluppare una potenza di 184 CV e 270 Nm di coppia massima. I prezzi della nuova Mini elettrica partono da 33.900€ e si spingono fino a oltre i 40.000 €.
4. **Mercedes-Benz EQC:** è il primo SUV completamente elettrico di casa Mercedes con 450 km di autonomia dichiarati su ciclo NEDC e 765 Nm di coppia, sviluppata da un motore elettrico che ha 300 kW. L'acronimo EQ sta per "Electric Intelligence" e fa parte della nuova gamma di veicoli totalmente elettrici di Mercedes. Il suo prezzo di partenza è di 78.700 €.
5. **Opel Corsa-E:** di recente è stato presentato questo modello, ordinabile online da 29.900 € con una dotazione di serie molto importante. Essa è basata sullo stesso pianale della 208, visto che Peugeot e Opel fanno parte dello stesso gruppo, e sarà equipaggiata da un motore da 136 CV e 260 Nm di coppia. La casa dichiara 340km di autonomia su ciclo WLTP e si potrà prendere la vettura tramite noleggio a lungo termine.

6. **Peugeot e-208:** è la versione elettrificata della francese 208. Oltre al corposo restyling che caratterizza anche le versioni standard, possiederà una ricarica veloce e una percorrenza di 340km secondo il ciclo WLTP. Questo modello avrà un prezzo di partenza di 33.400€.
7. **Peugeot e-2008:** è la versione full electric della 2008 ed è movimentata dallo stesso motore della 208, di cui condivide anche il pianale e gli allestimenti interni. Secondo il ciclo di omologazione WLTP, percorre 310km, un dato leggermente inferiore rispetto alla 208, poiché questo modello è decisamente più pesante. I prezzi oscillano intorno alla cifra di 40.000 €.
8. **Renault Zoe:** il seguente modello è basato sulla meccanica della Clio, cambia sia esteticamente che meccanicamente. Infatti, l'autonomia arriva ai 395 Km su ciclo WLTP, grazie alla batteria da 52 kWh e al motore da 100 kW. È proposta in 3 livelli di potenza diversi (65, 80 e 100 kW) e i prezzi variano dai 25.900 € dell'allestimento base, fino ai 40.000 € della full optional con motore da 100 kW.
9. **Porsche Taycan:** il marchio Porsche ha annunciato la nascita della sua prima vettura totalmente elettrica, denominata Taycan. Arriverà sul mercato con due motori elettrici sincroni a eccitazione permanente, che hanno una potenza combinata di oltre 600 CV. La grande potenza sviluppata culmina anche in un'autonomia di 530km dichiarati su ciclo WLTP. I prezzi saranno di 159.338 € per la Taycan Turbo e 193.498 € per la Taycan Turbo S, con i nomi degli allestimenti che sono identici a quelli delle Porsche a motore termico.

Per quanto riguarda le novità del 2020, sempre riguardo le auto elettriche, molte di esse sono state presentate nel corso dell'ultimo Salone di Francoforte; in questo elenco si fa riferimento soltanto ai modelli che andranno realmente in produzione, tralasciando i prototipi, e verranno elencate soltanto le caratteristiche tecniche di questi modelli:

1. **Fiat 500-e:** dopo tante indiscrezioni e foto-spia, la citycar di FCA sarà prodotta nello storico stabilimento di Mirafiori e rappresenta il debutto del Gruppo nel mercato delle vetture a zero emissioni. In questo momento non sono stati rilevati ancora i dati tecnici sul motore e sul peso della vettura, che indiscrezioni dicono essere intorno ai 1250 kg, ma è sicuro che essa introdurrà sul mercato una piattaforma di nuova progettazione, riservata soltanto alle auto elettriche. Il lancio sul mercato dovrebbe avvenire in occasione del 4 luglio 2020, in corrispondenza dello stesso giorno che nel 1957 vide la nascita della prima Fiat 500, mentre la vettura è stata presentata ufficialmente, almeno per le linee estetiche, durante un evento organizzato per le strade di Milano.
2. **Volkswagen ID.3:** il nuovo modello della casa tedesca non si deve considerare solo come un'auto elettrica, ma dovrebbe rivoluzionare anche la fase di produzione della stessa vettura, usando soltanto componenti e processi rispettosi dell'ambiente. Non sono stati rivelati ancora i dati tecnici del motore, ma la Casa ha dichiarato che la First Edition della ID.3 costerà meno di 30.000 €.

3. **Volvo XC40 elettrica:** il modello svedese monterà due motori elettrici, uno per ogni asse (per garantire la trazione integrale), in grado di erogare una potenza complessiva di 408 CV e garantire 400 km di autonomia sul ciclo WLTP) grazie ad un pacco batterie da 78 kWh.
4. **BMW iX3:** il SUV di BMW avrà un motore elettrico con 230 CV di potenza, mentre l'autonomia dichiarata nel test WLTP è di ben 400 Km grazie ad una batteria da 70 kWh.
5. **Mazda MX-30:** il SUV elettrico della casa giapponese sarà equipaggiato da un motore elettrico sincrono e-Skyactive, il quale dovrebbe garantire una potenza superiore ai 140 CV, mentre la batteria agli ioni di litio da 35 kWh permetterà di percorrere 300km, secondo le misurazioni del ciclo WLTP.
6. **Volkswagen e-Up!:** il prezzo di listino rimarrà uguale a quello attuale (23.250 € con ecoincentivi), mentre l'autonomia sarà incrementata fino a 260 km su ciclo WLTP, grazie alla nuova batteria da 32 kWh.
7. **Skoda Citigo e-IV:** la prima elettrica della Casa ceca monterà un'unità elettrica da poco più di 60 kW con 210 Nm di coppia e un'autonomia di ben 265km. Interessante il prezzo della versione che sarà di 20.000€.

Le auto ibride sono dotate di due sistemi di propulsione che lavorano in sinergia: si tratta, nella maggior parte dei casi, di un motore termico a benzina, che può seguire un ciclo Otto o Atkinson/Miller, abbinato ad un motore elettrico, ma è comparso recentemente anche qualche modello ibrido diesel, soprattutto per quanto riguarda il gruppo Volkswagen.

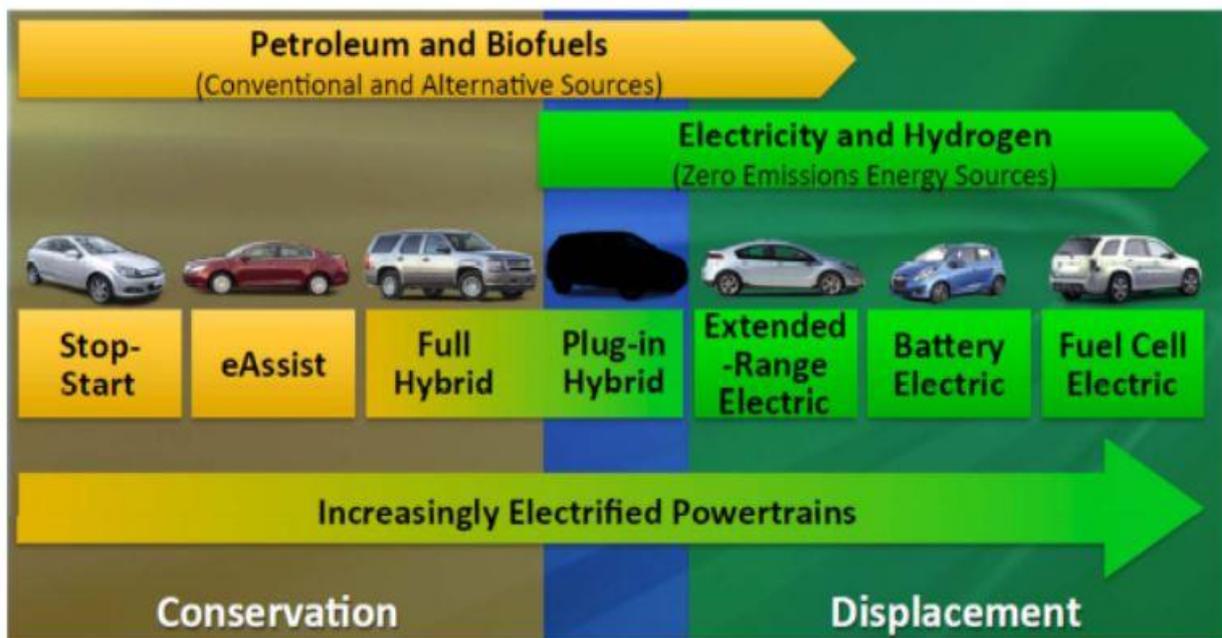


Figura 54: Timeline dello sviluppo dei veicoli ibridi, a partire dai primi anni Duemila. Fonte: "Powertrain Electrification", Luciano Rolando, Federico Millo (14 Dicembre 2018)

Una peculiarità delle auto ibride è la loro capacità di recuperare energia durante il processo di frenata per contribuire alla ricarica delle batterie, grazie alla presenza di un inverter, che agisce sul motore elettrico e lo fa funzionare da generatore per consentire questa funzione. Oltre a questa funzione, si ottiene un elevato risparmio di carburante (e quindi una maggior efficienza del veicolo), grazie al fatto di effettuare con il solo motore elettrico l'azionamento degli ausiliari e le manovre di Start & Stop.

Nel campo del miglioramento dell'efficienza rientrano anche i minori transitori che il motore termico deve effettuare in questa configurazione e la riduzione in generale degli attriti meccanici, poiché la trasmissione manuale viene sostituita da un cambio a variazione continua della velocità (CVT, usato anche negli scooter), che gestisce in modo automatico la fase di cambiata.

La maggiore differenza tra le due tipologie di auto ibride è la possibilità di essere collegate ad una presa elettrica [40] : gli **ibridi plug-in** permettono di eseguire quest'azione e consentono, generalmente, di percorrere alcune decine di chilometri in modalità 100% elettrica, con il vantaggio - rispetto alle auto elettriche - che quando la carica si esaurisce entra in funzione il motore endotermico per proseguire la marcia; essi hanno al loro interno una strategia di controllo dello State of Charge della batteria chiamata **charge depleting**, il quale permette alla batteria di effettuare cicli completi di carica-scarica da 100% a 0%.

Gli **ibridi non plug-in** , invece, non consentono di ricaricare la batteria tramite una banale presa di corrente elettrica e, generalmente, non permettono di effettuare tanti km in modalità “full electric”, poiché sono dotati di batterie estremamente leggere e con scarsa capacità di accumulare energia, che hanno soltanto una funzione di “supporto” al motore termico in quelle manovre dove esso è fortemente penalizzato da inefficienze (spostamenti a basse velocità in ambito urbano, frequenti stop & go ai semafori, ingresso e uscita dai parcheggi). In questa categoria rientrano la maggior parte di veicoli ibridi sul mercato, come ad esempio le versioni ibride di Toyota ed Audi.

Inoltre, questa tipologia possiede una strategia di controllo del SOC della batteria denominata **charge sustaining**, vale a dire che la batteria in qualsiasi circostanza deve attestarsi su un SOC definito in fase di calibrazione motore (ad esempio il 60%), e l'autovettura, tramite l'utilizzo di sofisticate centraline, deve essere in grado di mantenere questo valore all'interno di una tolleranza definita in fase di progetto (di solito, $\pm 5\%$).

Gli ibridi hanno altre due tipologie di divisione per quanto riguarda le loro caratteristiche [25]; si analizza, dapprima, la differenza in base al Voltaggio del sistema elettrico istantaneo, e si hanno 4 differenti tipologie [41], che vengono rappresentate su un grafico in Figura 56:

1. **Non-Hybrid:** essi hanno a bordo un classico sistema con l'alternatore e la batteria a 12V, che gestisce le funzioni elettriche (azionamento fari, ausiliari, centraline).
2. **Micro-Hybrid:** in questo caso si ha la presenza di un sistema con voltaggio variabile tra 12 e 48 Volt; la differenza con i Non-Hybrid sta nel fatto che alcune azioni vengono comandate esclusivamente dalla parte elettrica, senza alcun utilizzo della parte termica e questa è la categoria più diffusa al momento perché è poco costoso realizzarli, anche se, dal lato legislativo, non possono essere considerati come ibridi.

3. **Mild-Hybrid:** qui il voltaggio aumenta e si passa ad un valore compreso tra i 60 e i 180 Volt, dove è presente un “vero” sistema ibrido che fornisce potenza extra oppure si può sostituire interamente al motore termico in alcune circostanze (ad esempio nelle manovre di parcheggio). In questa e nella successiva categoria si ha bisogno di creare un sistema Dual-Voltage, vale a dire che devono essere presenti due circuiti elettrici, uno con voltaggio standard di 12V e con la scocca usata come polo negativo, unito al sistema ad alto voltaggio; questo serve per evitare problemi in caso di emergenza al seguito di un incidente e ovviamente i costi salgono rispetto alle soluzioni precedenti.
4. **Full-Hybrid:** in questa categoria si parla di sistemi con voltaggi compresi tra 180 e 400, ma si stanno sviluppando sistemi anche a 600 e 800 V. In questo caso, il sistema elettrico fornisce aiuto al motore termico in qualsiasi circostanza di funzionamento (transitori di accelerazione, aumento efficienza e potenza del veicolo) e, in alcune circostanze, si sostituisce in modo completo (si pensi alle fasi di parcheggio o al mantenimento di una velocità inferiore ai 20/30 km/h, in base alla taratura della centralina di controllo).

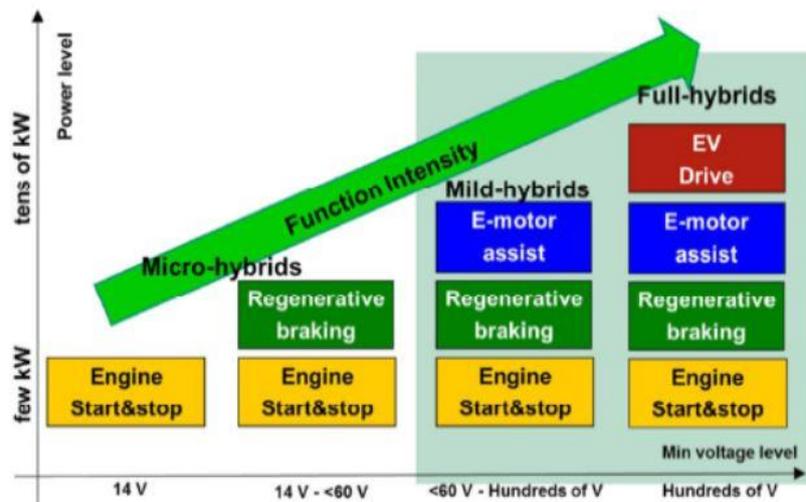


Figura 55: Grafico che mostra la dipendenza dal voltaggio e dalla potenza delle funzioni svolte dal powertrain elettrico.
Fonte: "Hev Electrification", Ezio Spessa (2017)

Un'altra classificazione degli ibridi è basata sulla posizione della/e macchina/e elettrica/e; nella figura per “Primary Axle” si intende l’assale anteriore, dove in genere è posizionata la trazione del veicolo, e per “Secondary Axle” si intende quello posteriore [41]:

- A. **P1-F (o P0):** in questo caso la macchina elettrica è connessa direttamente al motore dal lato giro-cinghia, con svantaggi evidenti quando si deve effettuare la marcia in solo elettrico perché non si può escludere il motore mediante l’uso di una frizione. Un esempio di autovettura con questa specifica è l’Audi A8 in versione e-tron.
- B. **P1-R:** la macchina elettrica è collegata sempre direttamente all’ICE, ma in questo caso dal lato del volante e presenta gli stessi svantaggi della soluzione precedente. Ad esempio, è montata sulla Mercedes Classe S400 Hybrid in accoppiata ad un motore benzina.

- C. **P2:** in questo caso si ha la macchina elettrica inserita tra motore termico e trasmissione, e ciò permette di scollegare il motore con una frizione quando si inserisce la modalità “full electric”. Questa tipologia è usata soprattutto in automobili dalle elevate prestazioni (le cosiddette hypercar) in cui la macchina elettrica funge solo da ausilio al motore termico e sviluppa una notevole potenza, come nel caso della McLaren P1 o della Porsche 918.
- D. **P3:** il sistema elettrico è posizionato tra trasmissione e final/drive con le stesse funzionalità dell’architettura P2; un esempio pratico di applicazione di questa tipologia è “LaFerrari”, in cui si hanno due macchine elettriche, di cui una in posizione P0 che serve per ricaricare le batterie e per far funzionare gli ausiliari e l’altra in posizione P3, che serve a sviluppare potenza.
- E. **P4:** la macchina elettrica è posizionata sull’assale dove non c’è il motore termico e la trazione del veicolo. Questa macchina elettrica viene quasi sempre accompagnata da un altro sistema messo in posizione P1-R o P2 per effettuare architetture complesse e per simulare anche una trazione 4x4.

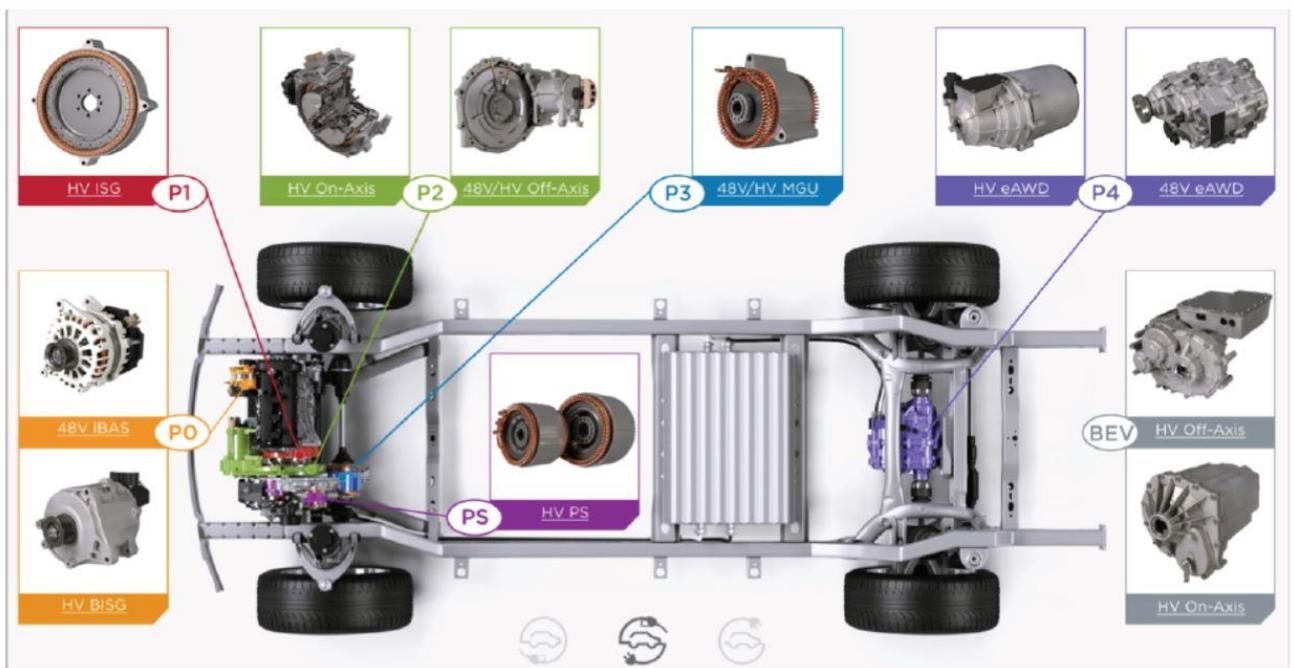
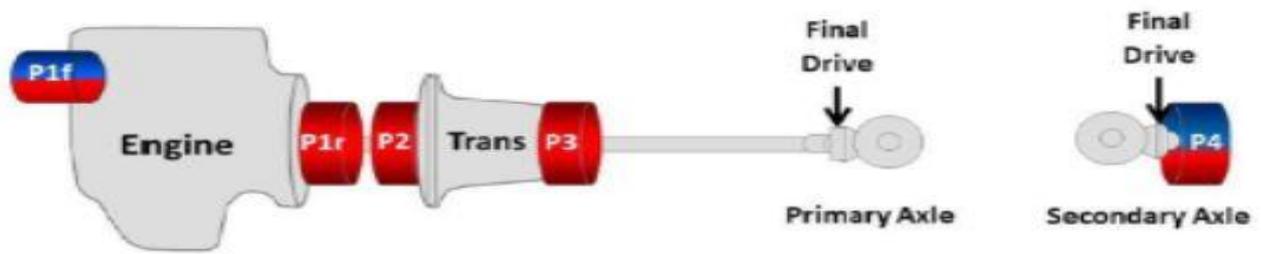


Figura 56: Rappresentazione della posizione delle macchine elettriche in un veicolo Ibrido (sopra schematicamente).
Fonte: "HEV Electrification", Ezio Spessa (2017)

I veicoli ibridi si differenziano anche in base alla tipologia di collegamento tra i due motori e al numero di motori che contribuiscono alla propulsione del veicolo. Ci sono le seguenti categorie [40]:

1. **Ibridi Serie:** la connessione tra i due powertrain avviene a livello elettrico e soltanto il motore elettrico contribuisce a far muovere la vettura; infatti il motore termico è ottimizzato per lavorare ad un punto fisso e serve soltanto per ricaricare le batterie, nel caso in cui il livello di carica di queste ultime scende sotto una soglia di sicurezza; in quest'architettura è presente un motore termico che aziona un generatore, il quale può ricaricare la batteria oppure, se la batteria è già carica, può fornire energia elettrica alla macchina elettrica che la converte in potenza meccanica da trasferire alle ruote.

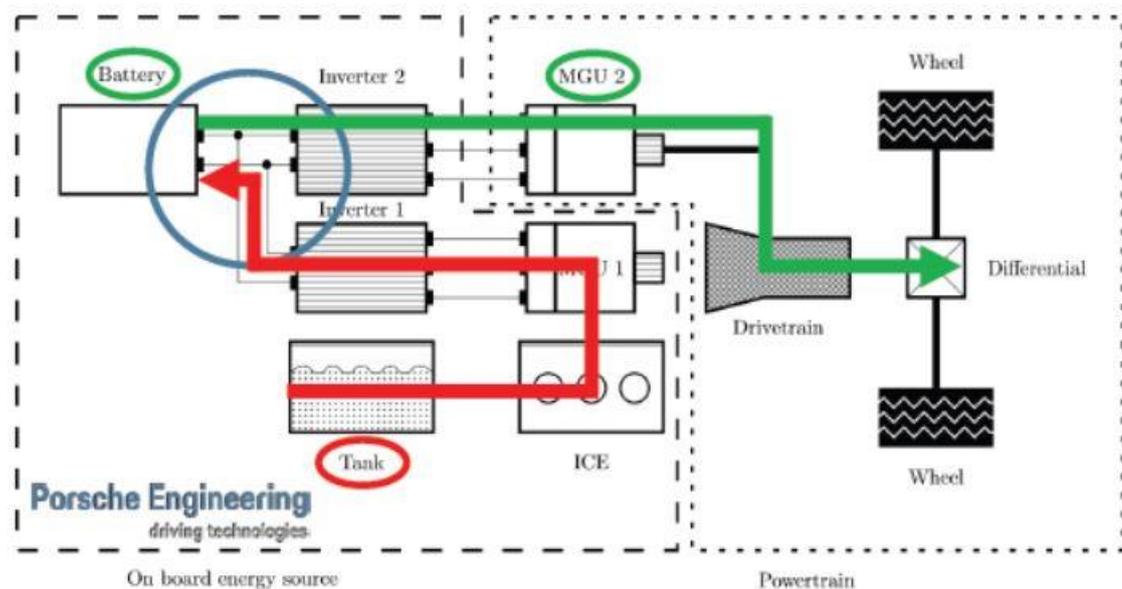


Figura 57: Schema dei Flussi di Potenza in un Ibrido Serie. Fonte: “Powertrain Electrification” – Luciano Rolando, Federico Millo

2. **Ibridi Parallelo:** in questo caso sia il motore elettrico, che quello termico possono sfruttare la loro energia per trasferirla alle ruote e la connessione tra loro avviene a livello meccanico, mediante la trasmissione (Double Shaft), i motori (Single Shaft) oppure “Through The Road” (Double Drive, che permette anche la trazione 4WD). I vantaggi rispetto all'architettura serie sono evidenti e rappresentano la maggiore flessibilità di quest'architettura, la minor dispersione di energia poiché si devono effettuare meno conversioni rispetto all'ibrido serie, anche se si ha bisogno di una centralina di controllo più accurata per gestire i flussi di potenza dai due powertrain; attualmente, una buona percentuale di ibridi fa parte di questa categoria.

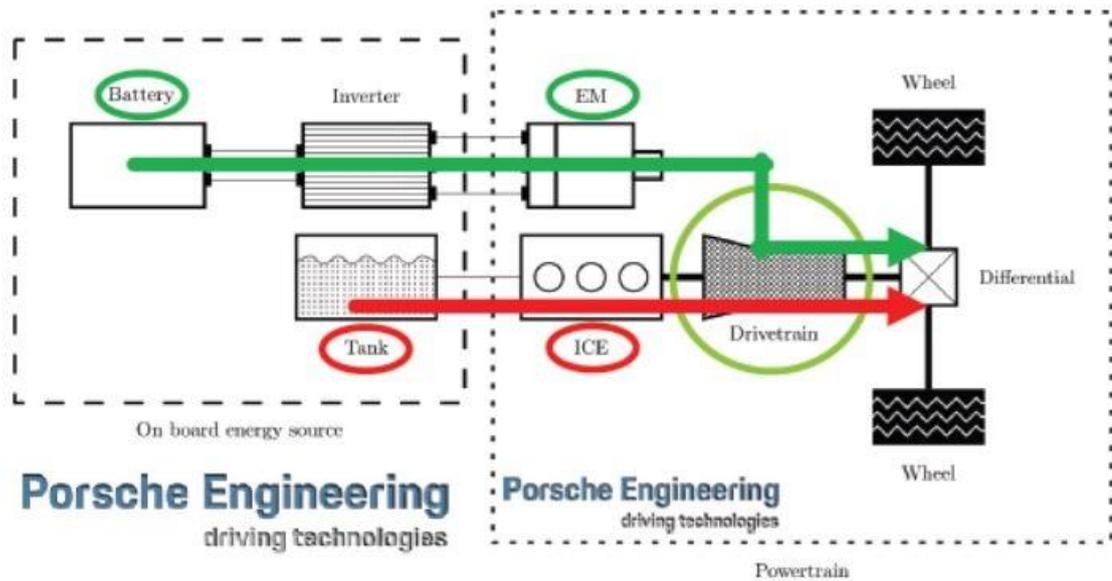


Figura 58: Schema dei Flussi di Potenza in un Ibrido Parallelo. Fonte: “Powertrain Electrification” – Luciano Rolando, Federico Millo

- Ibridi Serie-Parallelo:** In questo caso si hanno i pregi delle due architetture viste in precedenza, a patto di avere un'architettura molto più complessa per quanto riguarda il numero di componenti previsti (due MGU e due inverter per permettere al motore di effettuare la ricarica delle batterie, come avviene nell'ibrido serie) e per quanto riguarda le strategie di controllo. Questa architettura è poco usata per la complessità di realizzazione (fisicamente non si sa dove inserire tutti quegli elementi in una vettura grande dai 4 ai 5 metri) e per la difficoltà di avere una strategia di controllo adeguata per ogni situazione.

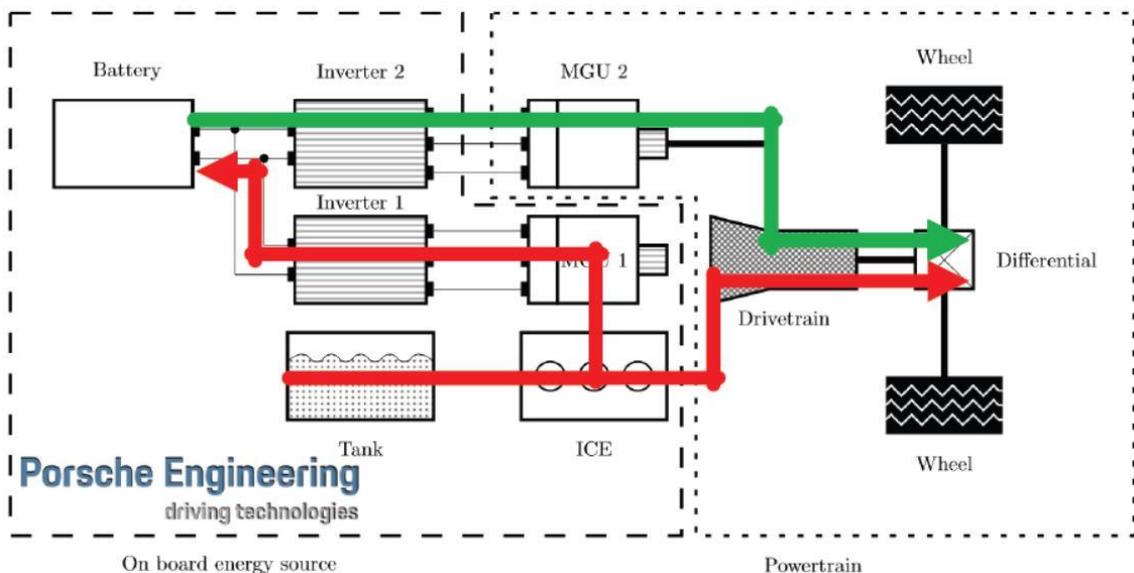


Figura 59: Schema dei Flussi di Potenza in un Ibrido Serie-Parallelo. Fonte: “Powertrain Electrification” – Luciano Rolando, Federico Millo

4. **Ibridi Complessi:** Gli ibridi complessi sono caratterizzati dalla presenza di più macchine elettriche nello stesso veicolo, che permettono allo stesso di funzionare in modalità ibrido serie e parallelo contemporaneamente. Inserendo opportune frizioni e con l'ausilio di un rotismo epicicloidale, come è visibile nella figura seguente, si possono effettuare le combinazioni viste in precedenza.

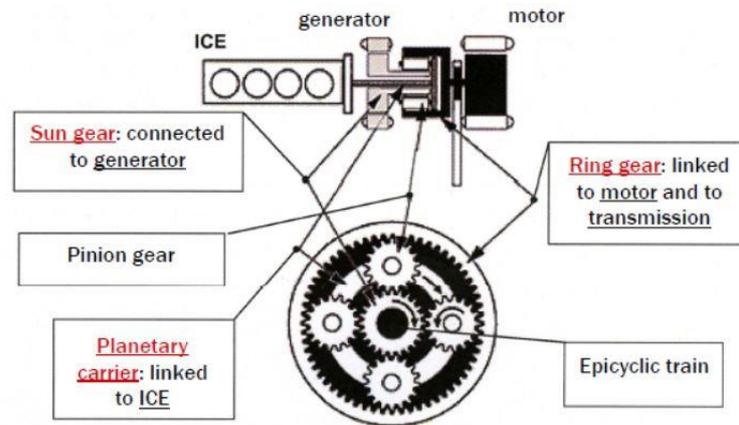


Figura 60: Collegamenti tra elementi del Powertrain e componenti del Rotismo Epicicloidale. Fonte: Toyota

Si riporta che il motore termico è collegato al planetario del rotismo (Carrier), mentre il generatore, che serve ad effettuare la modalità serie, è collegato al solare (Sun) e il motore elettrico di trazione è collegato alla corona del rotismo (Ring) e alle ruote mediante una trasmissione.

Il generatore è collegato ad un power converter che gestisce il flusso di potenza elettrica dal generatore verso le batterie e dal motore verso le stesse batterie. La trasmissione sceglie la velocità angolare del motore termico, che soddisfa il funzionamento, modificando la velocità angolare del generatore in modo continuo; il vantaggio di questa soluzione è che la velocità angolare dell'ICE è legata alla velocità angolare delle ruote mediante un rapporto di riduzione fisso. Tutti modelli ibridi della Toyota (a partire dalla prima versione di Prius) sfruttano questa tecnologia.

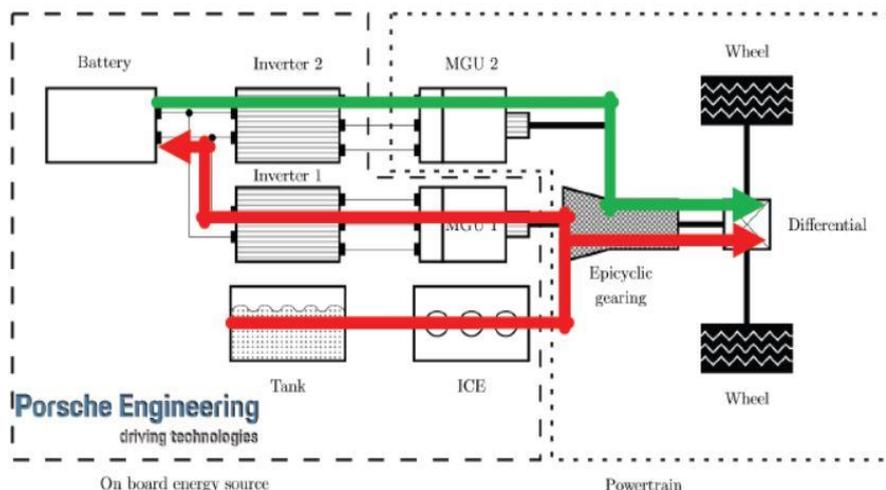


Figura 61: Schema dei Flussi di Potenza in un Ibrido Complesso con Rotismo Epicicloidale. Fonte: "Powertrain Electrification" — Luciano Rolando, Federico Millo

Di seguito vengono elencati i **maggiori pro** di entrambe le tipologie dei veicoli ibridi [42]:

- A. L'aiuto del motore elettrico (di maggior o minor rilevanza in base al tipo di sistema ibrido) riduce i consumi e le **emissioni inquinanti** nelle continue accelerazioni e frenate, tipiche della guida urbana. È proprio nei centri cittadini, infatti, che le auto ibride presentano il miglior comportamento: nelle fasi di decelerazione recuperano energia, che sfruttano successivamente nelle fasi di ripresa.
- B. Le auto ibride *plug-in* hanno una **discreta autonomia** se usano soltanto la loro parte elettrica: caricando completamente le batterie attraverso una presa di corrente, si ottengono delle percorrenze che variano dai 30 ai 60 km. Se il tragitto casa-lavoro lo consente, è possibile non utilizzare per niente il motore termico, risparmiando carburante e migliorando la qualità dell'aria, per i propri spostamenti quotidiani.
- C. Le auto ibride non subiscono le **limitazioni alla circolazione** in città, presenti ormai per la maggior parte delle vetture diesel e per qualche veicolo a benzina. Questo pregio non è riferito a tutte le tipologie di ibridi; infatti con le nuove norme di omologazione, alcuni modelli *mild-hybrid* non potranno essere considerati ibridi ai fini delle esenzioni.
- D. **Vantaggi fiscali:** in alcune regioni, questa tipologia di vetture ottiene l'**esenzione** della tassa di possesso per i 5 anni dopo la prima immatricolazione, oppure si deve pagare la stessa sulla potenza sviluppata dal solo motore termico, e non dalla somma dei due motori. Come per il punto C, dipende dalla tipologia di ibrido installato sulla vettura.
- E. Le auto ibride potrebbero essere le penultime ad avere il divieto della circolazione nei centri storici, grazie a delle normative emanate dai Comuni sempre più rigide. Quindi, il loro **valore residuo** potrebbe mantenersi alto e questo sarà un importante pregio quando si vorrà vendere la propria auto.

Adesso si passa all'elenco dei **principali contro:**

- A. Le auto ibride raggiungono la loro massima efficienza nei percorsi cittadini, ma l'utilità dell'accoppiamento di un motore elettrico ad uno termico si riduce nei **percorsi extraurbani**. Inoltre, nei lunghi tragitti autostradali, il motore elettrico viene escluso dalla marcia e diventa soltanto un peso, che farà aumentare i consumi dell'auto ibrida, se essi vengono comparati a quelli di un'auto equipaggiata con lo stesso motore benzina.
- B. Le auto ibride, in particolar modo quelle *plug-in* che montano delle batterie con capacità più elevate, sono **più costose** di quelle a benzina. Questo potrebbe penalizzare fortemente l'acquisto, visto che quasi sempre i vantaggi economici non riescono a compensare il disavanzo causato dal prezzo più elevato, anche se in città questa forbice si riduce e si potrebbe raggiungere il punto di pareggio prima della fine della vita utile del veicolo.
- C. Gli utenti e i possessori delle auto ibride *plug-in* dovrebbero essere messi in condizione di poter avere una **colonnina di ricarica** rapida (chiamata wall-box) oppure una presa domestica dove poter ricaricare la batteria a fine giornata, proprio come accade per le

elettriche. Questo è uno dei punti maggiormente controversi, poiché l'installazione di un dispositivo del genere aggiunge ulteriori costi, i quali non facilitano la diffusione di questa tipologia di vettura, che vedrebbe ridotta la propria utilità senza questo strumento.

- D. Il **piacere di guida** di questa tipologia di veicoli è fortemente condizionato dal peso elevato, specialmente nelle *plug-in*, poiché la presenza del battery pack incide notevolmente sul suo valore assoluto e sulla distribuzione dei pesi nel veicolo. Inoltre, la maggior parte delle ibride montano un cambio a variazione continua CVT, che non brilla certo per rapidità delle cambiate, a causa dell'*effetto scooter* nelle fasi di accelerazione.

Ora viene presentata una tabella, in cui vengono inseriti tutti i modelli ibridi (di qualunque genere) presenti sul mercato, aggiornata a Dicembre 2019 [43, 44]; si ricorda che le autovetture sono inserite in ordine di prezzo crescente da sinistra verso destra e che non tutti i costruttori partono dallo stesso livello di prezzo (ad esempio il prezzo più basso di Mercedes o Land Rover si attesta sui 40000€, mentre il prezzo più basso di Toyota, Suzuki o Hyundai si aggira tra i 15 e i 20 mila €); inoltre si può notare come ci siano ancora pochi modelli ibridi in generale.

Tabella 5: Veicoli Ibridi Presenti sul mercato, aggiornata a Novembre 2019

Costruttore	Modelli Ibridi	Totale Ibridi
SUZUKI	Baleno; Swift; Ignis	3
TOYOTA	Yaris; Corolla; Prius ; Prius +; Prius PHEV; C-HR; RAV-4	7 (1)
KIA	Niro ; Niro PHEV ; Sportage; Optima PHEV	4 (3)
HYUNDAI	Kona; Ioniq ; Tucson	3 (1)
LEXUS	CT; UX; NX; GS; IS; RC; ES; RX; RX-L; LC; LS	11
HONDA	CR-V; NSX	2
FORD	Mondeo; Kuga ; Puma	3 (1)
MINI	Countryman	1 (1)
SKODA	Superb	1 (1)
VW	Golf ; Passat	2 (1)
CITROEN	C5 Aircross ; DS 7 Crossback	2 (2)
PEUGEOT	3008 ; 508	2 (2)
OPEL	Grandland X	1
MITSUBISHI	Outlander PHEV	1 (1)
MAZDA	3; CX-30	2
BMW	Serie 2 ; Serie 3 ; X3 ; Serie 5 ; X5 ; Serie 7 ; i8	7 (7)
AUDI	A3 Sportback ; A4; A5; Q5 ; A6; A7; Q7; A8; Q8	9 (2)
MERCEDES	Classe A ; Classe C ; GLC; Classe E ; GLE; CLS; Classe S ; AMG-GT4	8 (4)
INFINITI	Q50	1
LAND ROVER	Discovery; Evoque; Defender 90/110; Range Rover Sport ; Range R. PHEV	6 (2)
VOLVO	XC-40 ; V60 ; S60 ; XC-60 ; V90 ; S90 ; XC-90	7 (7)
PORSCHE	Cayenne; Cayenne Coupè; Panamera ; Panamera Turismo	4 (2)
BENTLEY	Bentayga	1
TOTALE IBRIDI SOTTO I 70 g/km di CO2: 38 (33%)		88

CAPITOLO 4: Applicazione del concetto di Smart Mobility al quartiere di San Salvario

In questo capitolo si cercherà di analizzare la metodologia per poter affrontare nel capitolo successivo l'analisi costi benefici e i relativi risultati, oltre a contestualizzare per il quartiere di San Salvario i concetti teorici, visti nei tre capitoli precedenti.

L'obiettivo di questa parte della tesi verte sull'utilizzo di un sistema di valutazione per il confronto di diversi scenari di trasformazione del quartiere, dal punto di vista della mobilità. Essi permetteranno di considerare al loro interno non solo la riduzione dei consumi, ma anche gli impatti che le diverse misure riguardanti la mobilità avranno nella creazione di un quartiere più sostenibile (ad esempio, la riduzione dei km percorsi nel quartiere dalle automobili o la crescita della mobilità "leggera" e dell'uso del trasporto pubblico).

L'ambito di applicazione, come già specificato precedentemente, riguarda la mobilità intesa a 360°, vale a dire sia dal punto di vista del singolo cittadino, che dal punto di vista dell'amministrazione comunale, la quale dovrà impegnarsi parecchio per cercare di cambiare le abitudini dei cittadini sull'uso dell'auto privata, cercando di incentivare maggiormente quei sistemi di mobilità che permettono il miglioramento della qualità dell'aria, visto che Torino è una delle città più inquinate d'Europa [1], primato di cui non si può certo andare fieri.

L'analisi verrà presentata seguendo le diverse fasi: prima di tutto viene descritta l'area del caso studio, analizzando le sue caratteristiche. In questa parte, gli elementi che concorrono alla trasformazione vengono descritti secondo il loro stato di fatto, per poter delineare i consumi, le abitudini riguardo la mobilità e le emissioni dei veicoli circolanti nel quartiere.

Conclusa questa prima fase, è possibile fissare delle misure di intervento, per proseguire l'obiettivo di uno sviluppo più sostenibile che contribuisca al processo di de-carbonizzazione della città. Questi interventi saranno confrontati successivamente con lo scenario di riferimento, che rappresenta la situazione nel 2018 della città di Torino, e di conseguenza del quartiere. Con questa operazione è infatti possibile effettuare un raffronto tra lo scenario originario e le modifiche apportate, in termini di consumi energetici ed emissioni.

Le misure di efficienza energetica verranno scelte secondo una visione coerente per la creazione di un quartiere più sostenibile, sempre tenendo in considerazione la disponibilità economica del Comune e la possibilità di ricevere finanziamenti europei o statali, riguardanti questo ambito.

Esse perciò dovranno essere in linea con gli obiettivi e le azioni fissate dal processo di de-carbonizzazione europea, o quelle che sono state stabilite per la città di Torino, quando presenti, proprio per poter ottenere i finanziamenti descritti sopra. La scelta delle misure è anche passata dall'approfondimento di casi studio reali di eco-quartieri, in cui vengono applicati determinati interventi per la riduzione di consumi ed emissioni.

Una volta conclusa la valutazione delle emissioni e delle abitudini riguardanti la mobilità, si rivolge l'attenzione a quella dei costi e dei benefici. In questo approccio, le misure riguardanti ogni singolo scenario dovranno essere raggruppate per poter formare degli scenari complessivi di trasformazione. Nel capitolo successivo, verranno perciò valutati i costi di intervento e i benefici connessi agli scenari selezionati, i quali saranno espressi in termini monetari nell'analisi che si andrà a sostenere.

4.1 Storia del quartiere

La storia del quartiere di San Salvario ha inizio più di 150 anni fa, ufficialmente il 13 marzo 1851 [2], quando si pensò di poter edificare nuove costruzioni in questa zona che, all'epoca, era usata per le frequenti passeggiate dai cittadini torinesi. Infatti, prima della nascita di questo quartiere, questa porzione a sud-est di Torino era considerabile come una campagna alle porte della città antica, dove erano e sono tutt'ora presenti il Castello del Valentino e la Chiesa di San Salvario, mentre nei loro dintorni vi erano alcune cascine.

A metà dell'Ottocento si considerò una possibilità di espansione della città di Torino proprio nella zona dove oggi è presente il seguente quartiere, anche grazie all'abbattimento della cinta muraria torinese nel 1840 [2]. Per poter fare ciò, si pensò di adibire la zona più vicina al fiume e al castello come parco pubblico, denominato poi Parco del Valentino, e poi si pianificò l'espansione partendo dalle zone più vicine a Corso Vittorio Emanuele II.

La preoccupazione principale dei pianificatori fu di allacciare il nuovo quartiere con il tessuto urbano della città storica, caratterizzato dalla griglia ortogonale delle antiche città romane. La costruzione della stazione di Porta Nuova nel 1868 diede un ulteriore impulso al processo di urbanizzazione di questa zona. Inoltre, si concentrarono in questa zona le minoranze religiose, con la costruzione della Chiesa Valdese e della Sinagoga. In 30 anni il Borgo si presentava ricco di attività e di palazzi, molti di gusto raffinato ed altri di ringhiera, mostrando la propensione del quartiere ad avere un tessuto sociale disomogeneo, ma per questo particolare.

Nel 1884 il quartiere superava già C.so Raffaello, spinto anche dalle Esposizioni Nazionali ed Universali, che dal 1858 al 1911 si svolgevano al Parco del Valentino, portando centinaia di migliaia di visitatori in città. Diventò un importante polo della ricerca botanica, con svariate istituzioni, come lo storico Orto Botanico e la Stazione Chimico-Agraria, ed anche un polo universitario, con l'attestazione lungo C.so Massimo d'Azeglio e via Giuria delle Facoltà Scientifiche dell'Università di Torino.



Figura 62: Un immagine di Torino nel 1884. Si può notare l'espansione della città verso Sud. Fonte: <https://web.archive.org/web/20140221125839/http://sunsalvario.it/nel-quartiere/san-salvario-story/>

In Corso Dante, nel 1900, venne costruita la prima fabbrica Fiat e pochi anni dopo lo stabilimento venne raddoppiato oltre il corso, dove oggi è presente all'interno della fabbrica abbandonata un museo che racconta la storia dello stesso stabilimento. A inizio Novecento si concentravano nel Borgo, fino a Corso Dante, quasi 200 aziende con 6000 operai circa. San Salvario non era un polo industriale ma era densa di piccole e medie imprese, legate al settore metalmeccanico e quello chimico. Per sostenere questo sviluppo, fu decisa la costruzione di un terzo ponte sul fiume Po, quello di Corso Bramante, terminato nel 1927. [3]

La guerra e i bombardamenti colpiscono duramente Torino e San Salvario. Vengono distrutti molti palazzi nel quartiere, causando però meno morti rispetto ad altre parti della città. Come diretta testimonianza dei bombardamenti, basti pensare al ritrovamento di diversi ordigni militari inesplosi nel quartiere, l'ultimo in ordine di tempo alla fine di Novembre dello scorso anno [4]. La ricostruzione inizia pacatamente negli Anni 50, inserendosi abbastanza armoniosamente nel vecchio tessuto. A partire però dagli Anni 60-70, sotto la spinta della speculazione edilizia, si ricostruisce lungo i corsi e le piazze principali.

Lungo Corso Massimo d'Azeglio, per poter aumentare la densità abitativa di questa zona, prima caratterizzata da piccole palazzine di prestigio, vengono costruiti grandi caseggiati, spesso anonimi, fino a Corso Bramante. In quegli anni nuove cadenze e sonorità arrivano a San Salvario, spinti dalla possibilità di trovare lavoro nel capoluogo piemontese. Infatti, i vecchi abitanti del quartiere vedono arrivare i nuovi emigrati dal Sud Italia, spesso con diffidenza. Ristoranti pugliesi, abruzzesi, campani si mescolano alle trattorie piemontesi.

Alla fine degli anni '80 il quartiere - in particolare l'area attigua alla stazione ferroviaria di Porta Nuova - diventa il luogo prescelto per l'insediamento dei migranti extracomunitari. Queste migrazioni hanno cambiato il volto del quartiere, conferendone la caratteristica multiethnica, presente tutt'ora.

Con il tempo, quindi, il quartiere si è trasformato da una zona borghese, a una di approdo per i migranti, assumendo negli anni 90' l'idea comune di un quartiere degradato, a causa della crisi delle industrie e della presenza della popolazione straniera, alla quale era associata una mentalità priva delle regole del buon vivere, diventando agli occhi di molti un "ghetto" e una zona di microcriminalità [5].

La volontà di riqualificare il quartiere era già stata avviata in passato, nel 1999, sostenuta dalla città, che vede nascere l'Agenzia per lo Sviluppo Locale di San Salvario, volta a modificare l'immagine a cui era associato e valorizzando le risorse presenti. Infatti negli Anni 2000 l'immagine è cambiata ancora, per la comparsa di numerosi spazi per la vita notturna che attirarono persone giovani sia per vivere che per lavorare, rendendo il quartiere vivo ed interessante, cercando di scostarsi dalla cattiva reputazione che gli era stata affibbiata [6].

Attualmente il quartiere ospita svariate attività culturali, artigianali e di terziario in genere. Sul finire del XX secolo si sviluppò, inoltre, una vivace vita notturna, specialmente nella zona tra Via Madama Cristina e Via Nizza. Ai locali multiethnici, si sono aggiunti pub, ristoranti e rosticcerie di ogni tipo e di ogni etnia, tuttavia in degli spazi relativamente ridotti.

Oggi fa parte della Circoscrizione 8 di Torino ed è delimitato:

- a nord da corso Vittorio Emanuele II (centro città);
- a est dal fiume Po (quartiere Borgo Po);
- a ovest dal tratto ferroviario Torino-Genova (Via Lugaro/Via Brugnone/Via Ribet, lungo il lato ovest di Via Nizza);
- a sud da corso Bramante (quartiere Nizza-Millefonti).

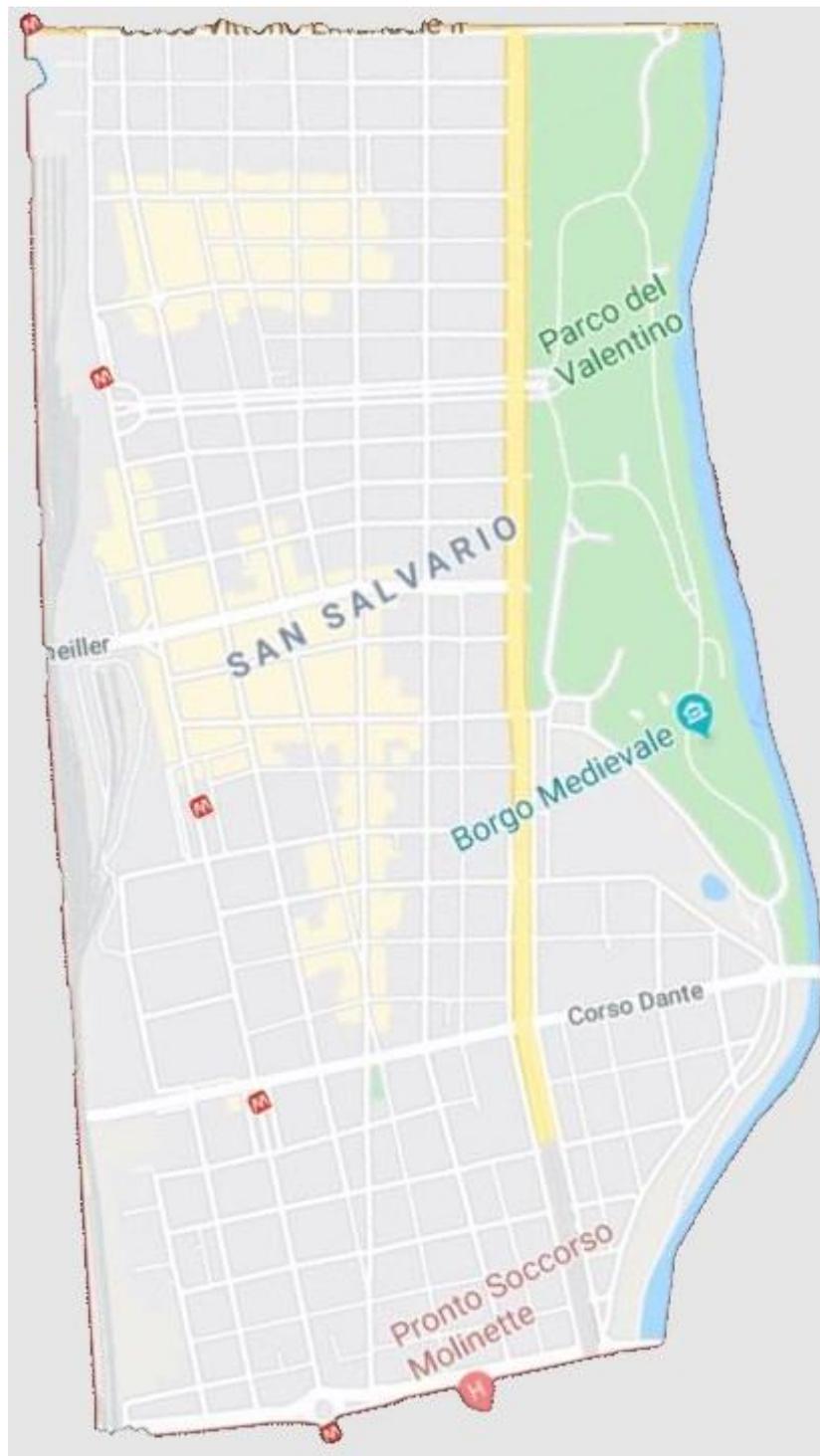


Figura 63: La mappa di San Salvario, ad oggi. Si può notare la conformazione mista delle strade, alcune con sviluppo ad angolo retto e altre con sviluppo diagonale, che seguono la conformazione della ferrovia. Fonte: Google Maps

4.2 Presentazione Scenario di Riferimento per il quartiere di San Salvario

La definizione dello **scenario di riferimento** è un passo fondamentale per poter effettuare l'analisi costi benefici in modo corretto e si è scelto di prendere il 2018 come anno su cui basare questo scenario, vista la consistente quantità di dati presenti sulla mobilità e su altri elementi, come ad esempio i costi da analizzare.

Infatti, partendo da questa situazione, si potranno creare degli scenari di evoluzione della mobilità, che seguiranno molto attentamente le strategie proposte dall'Unione Europea nell'ambito della de-carbonizzazione e, in generale, della riduzione delle emissioni inquinanti, oltre a tener presente i progetti che sono stati presentati o che sono in fase di realizzazione dal Comune di Torino. In questo modo le azioni che verranno predisposte non saranno utopiche, ma potrebbero essere realmente realizzabili, per un possibile futuro sviluppo del quartiere in esame. Inoltre si potranno anche replicare all'interno di altri quartieri, in quanto si fa riferimento ad azioni sviluppabili anche in altri contesti.

Le informazioni sono state ottenute secondo un procedimento che prevede l'utilizzo di dati riferiti al suddetto quartiere quando disponibili, altrimenti, in caso contrario, sono stati esaminati quelli ai livelli più alti, ossia quelli attribuiti al comune di Torino, al livello regionale, a quello nazionale ed europeo.

I dati dei consumi, emissioni e di tutte le altre informazioni sono espressi su base annuale, in quanto l'analisi Costi-Benefici utilizza un orizzonte di tempo espresso in anni.

Per poter avere uno scenario di riferimento affidabile si è pensato di utilizzare i dati relativi al 2008 di San Salvario [7][8], riguardanti il numero di veicoli circolanti a Torino e la popolazione della città, come dati di partenza che serviranno per poter arrivare ai dati del 2018, grazie ad una proporzione effettuata tra il dato da calcolare e la popolazione del 2018. La popolazione ed il numero di auto per 100 abitanti sono dati prelevati dal sito dell'Osservatorio sulle 50 città italiane più grandi [9].

Il rapporto Camion-Auto [10] è fondamentale per poter ricavare, attraverso una semplice proporzione con i dati delle autovetture, i valori del 2008 dei camion e, successivamente, quelli del 2018, mentre i km percorsi in 1 spostamento sono stati ricavati da uno studio effettuato dall'UNRAE [11], dove viene espressamente detto che gli spostamenti dei mezzi pesanti sono mediamente più lunghi rispetto a quelli di un'automobile privata. I dati del 2008 servono per poter avere una base di partenza per costruire il dato del 2018, e sono utili per poter calcolare i dati dell'anno scelto, che riguardano il quartiere.

$$\text{Camion 2008} = \text{RAC}\% \cdot \text{Auto 2008}$$

Tabella 6: Dati di partenza riguardanti le automobili e i camion, riferiti al 2008. Fonte: “Quartieri urbani sostenibili: Un processo di valutazione supportato dall’analisi COSIMA: Il caso del quartiere di San Salvario”

	Auto	Camion
Numero Spostamenti al Giorno 2008	38.214	3.821
Km Percorsi in 1 spostamento al giorno	3,47	4,50
Km Giornalieri Totali 2008	132.603	17.196
Veicoli circolanti Torino 2008	563.629	56.363
Veicoli circolanti San Salvario 2008	25.316	2.532
Rapporto Camion-Auto (RAC%)	10%	

Infatti, si è proceduto nel calcolo delle automobili circolanti a Torino semplicemente moltiplicando la Popolazione del 2018 per il Numero delle Auto possedute per ogni 100 abitanti [9].

Tabella 7: Dati riguardanti la città di Torino che serviranno per costruire lo scenario di riferimento del quartiere di San Salvario

Popolazione Torino 2018	882.523
Numero Auto/100 Abitanti	65,84
Auto Circolanti Torino 2018	581.053

Per poter costruire lo scenario di riferimento per il quartiere di San Salvario, sono stati effettuati dei calcoli per ricavare le grandezze della tabella. Infatti, per calcolare il numero delle auto o il numero di km percorsi in totale, è stato fatto il seguente calcolo, valido anche per i mezzi pesanti:

$$Auto\ San\ Salvario\ 2018 = Auto\ Torino\ 2018 \cdot \frac{Auto\ San\ Salvario\ 2008}{Auto\ Torino\ 2008}$$

$$Km\ percorsi\ 2018 = Km\ percorsi\ 2008 \cdot \frac{Auto\ San\ Salvario\ 2018}{Auto\ San\ Salvario\ 2008}$$

Tabella 8: Dati usati per lo scenario di riferimento riguardanti le auto

Scenario Di Riferimento Auto	
Auto Circolanti Quartiere 2018	26.099
Km Giornalieri Totali 2018	136.702
Auto Car Sharing Torino 2018 Totali	1.180
Auto Car Sharing San Salvario 2018	89
Superficie 1 colonnina Blue-Torino [mq]	63
Superficie colonnine di Ricarica 2018 [mq]	375
Auto Elettriche Car Sharing	30
% Sharing su totale	0,34%
Lunghezza Strade Percorse [km]	37
Auto per km 2018 [vkm]	706

Il numero di auto in condivisione del quartiere è stato calcolato in base alla percentuale di incidenza del car-sharing [12] sulle auto circolanti nel Comune di Torino, con un piccolo incremento, dovuto al fatto che San Salvario è un quartiere molto centrale, che ha un numero di auto in condivisione maggiore rispetto a quelle circolanti in periferia.

Il car-sharing elettrico è totalmente dovuto al servizio Blue-Torino, che opera in questo quartiere con 6 postazioni di ricarica delle autovetture da 5 posti ciascuna. [13]

La superficie di una stazione di ricarica è stata calcolata prendendo come misura di uno stallone 5 metri di lunghezza per 2,5 di larghezza. Esse provocheranno un ricavo per il Comune, visto che si tratta a tutti gli effetti di occupazione di suolo pubblico [14].

Infine la lunghezza delle strade percorse da autovetture e, conseguentemente, anche dai veicoli pesanti è stata presa da un'analisi effettuata in passato sul quartiere, in cui era presente la misurazione di tutte le strade percorribili del quartiere [15].

Per ricavare il numero di veicoli pesanti o di automobili per km, si effettua questo semplice calcolo:

$$\text{Auto/Camion per km [vkm]} = \frac{\text{Numero Auto/Camion circolanti}}{\text{Lunghezza Strade [km]}}$$

Tabella 9: Dati usati per lo scenario di riferimento riguardanti i mezzi pesanti

Scenario di Riferimento Camion	
Camion Totali Quartiere 2018	2.610
Km Giornalieri Totali 2018	17.728
Camion per km 2018 [vkm]	71

In generale nel settore dei trasporti la volontà primaria del Comune di Torino e della Regione è quella di ridurre il numero di km percorsi dalle autovetture, le emissioni e i consumi di carburante. La città di Torino prosegue l'obiettivo di una modifica nel settore dei trasporti, avvalendosi di Piano Urbano per la Mobilità Sostenibile (PUMS), ovvero uno strumento per la pianificazione della mobilità. Secondo il seguente piano, la mobilità deve essere:

- Sostenibile, in termini economici e nell'ambito sociale, vale a dire che i progetti presentati per la riduzione dell'inquinamento atmosferico devono essere finanziariamente coperti dallo Stato oppure dall'amministrazione locale in cui si dovrà attuare, la quale può avvalersi del sostegno di investitori privati; oltre a ciò, bisogna garantire il minor numero di disagi che la popolazione dell'area interessata dovrà sobbarcarsi durante i lavori e dopo l'attuazione del progetto;

- Quantificabile, in termini misurazioni da effettuare in una determinata area per la validazione del progetto;
- Strategica, per definire l'orizzonte temporale in cui il progetto o l'insieme dei progetti dovranno essere presentati e finiti.

Il suddetto piano è suddiviso al suo interno in 5 obiettivi [8]:

- Garantire e migliorare l'accessibilità al territorio;
- Garantire e migliorare l'accessibilità delle persone;
- Migliorare la qualità dell'aria e dell'ambiente urbano;
- Favorire l'uso del trasporto collettivo;
- Garantire efficienza e sicurezza al sistema di viabilità;

Per poter analizzare al meglio la situazione del trasporto pubblico, vengono presentate due figure che riportano perfettamente la situazione attuale sia delle linee di autobus passanti per il quartiere, che per quanto riguarda una visione generale della mobilità all'interno del quartiere.



Figura 64: Linee autobus passanti per il quartiere di San Salvario. Fonte: "Quartieri urbani sostenibili: Un processo di valutazione supportato dall'analisi COSIMA."

Gerarchia stradale

- Strade urbane interquartiere
- Strade urbane di quartiere
- Strade urbane locale
- Ⓟ Parcheggi esistenti
- Ⓟ Parcheggi proposti
- ⚡ Stazioni ricarica elettriche BlueTorino

Linea 1 metropolitana

- Tratta linea 1
- Ⓜ Fermate metropolitana

Tram

- Rete tranviaria
- Ⓜ Fermate tram

Autobus

- Strade percorse da autobus
- Ⓜ Fermate autobus

Rete ciclabile

- Piste ciclabili realizzate
- - - Piste ciclabile da realizzare
- Percorso
- Ⓜ Stazioni Bike sharing

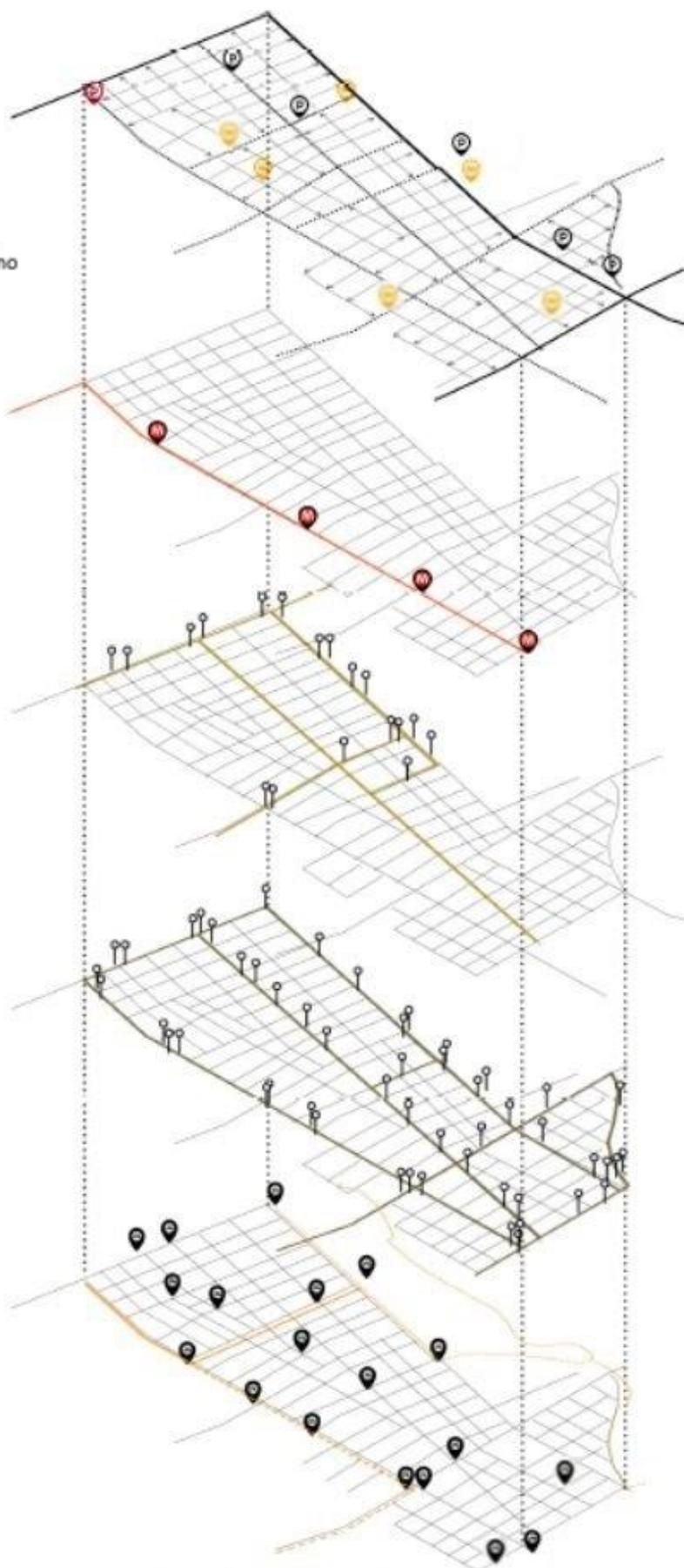


Figura 65: Situazione della mobilità del quartiere nel 2018

Dalle due figure precedenti si possono evidenziare diversi aspetti:

- Il quartiere ha al suo interno un'ottima rete di trasporto pubblico, composta da due linee tranviarie molto usate, che sfruttano la rete presente (il 9 e il 16) e ben 14 autobus diversi che attraversano in minima o in larga parte il quartiere (vedi tabella successiva).
- È presente la linea metropolitana 1, costruita nel 2006 durante le Olimpiadi invernali, che passa sotto via Nizza e che garantisce un collegamento con le stazioni di Porta Susa e Porta Nuova, con la parte Sud e quella Nord-ovest della città.
- Ci sono 19 stazioni di Bike-sharing, che sono di proprietà dell'azienda To-Bike, la quale permette lo spostamento attraverso l'uso di queste biciclette da una stazione all'altra [16], pagando 25€ come costo annuale per l'abbonamento al servizio, in cui viene inclusa senza costi aggiuntivi la prima mezz'ora di pedalata, per ogni noleggio della bicicletta; nel caso in cui la durata del noleggio superi questo limite di tempo, verranno aggiunti 0,80€ per ulteriori 30 minuti e, in seguito, 1,50€ per un'altra mezz'ora e 2€ per i successivi 30 minuti di noleggio. Recentemente, il servizio è stato vandalizzato a più riprese [17] e con cospicui danni per l'azienda che offre questo sistema, anche se entro la fine del 2020 verranno ripristinate tutte le stazioni vandalizzate e tutta la flotta verrà rimpiazzata da una nuova tipologia di bici, più resistenti ai danni e con ruote anti-foratura [18]. Infatti la situazione nel quartiere di San Salvario è "drammatica": sette stazioni sono in manutenzione, due completamente disattivate e le restanti dieci in funzione.
- La situazione per quanto riguarda il car-sharing è più complessa, poiché il quartiere dispone di 6 parcheggi, oltre ad avere a pochissima distanza il grande parcheggio sotterraneo di Porta Nuova (dove non è possibile lasciare i veicoli del car-sharing), ma essi sono ovviamente preda delle auto private e molto spesso non si riesce a trovare parcheggio in questa zona, soprattutto durante il week-end. Una possibile soluzione alternativa alla costruzione di nuovi parcheggi è quella di incentivare sempre di più l'uso del car-sharing elettrico Blue-Torino, che è presente con 6 postazioni di ricarica in questo quartiere, in cui è possibile parcheggiare soltanto le vetture che appartengono alla società che gestisce questo servizio. Oltre a ciò, sarebbe opportuno ridurre l'uso dell'auto privata, cercando di sfruttare i collegamenti garantiti dal trasporto pubblico e si dovrebbe cercare l'intensificazione del seguente servizio, intesa come aumento degli autobus circolanti e dell'orario di servizio almeno nei giorni del week-end.

I mezzi pubblici presenti a Torino, che passano all'interno del quartiere di San Salvario, sono tram, metropolitana ed autobus. Visto che i tram e la metro non producono emissioni in termini di inquinanti primari, mentre per quanto riguarda la CO₂ il loro contributo risulta marginale nell'analisi che si andrà ad effettuare, si è deciso di calcolare soltanto il contributo negativo degli autobus in questi dati.

Dal momento che l'analisi viene effettuata alla scala del quartiere, è importante fare una precisazione. Le linee degli autobus che sono state prese in considerazione sono le sole passanti per l'area in esame e si riferiscono alla sola tratta percorsa all'interno del quartiere. Sono perciò

esclusi i chilometri percorsi al di fuori di esso. Il numero di passaggi è stato calcolato attraverso la consultazione del sito della GTT [19], che permette di visionare per ogni linea [20] la frequenza dei passaggi nelle fasce orarie più affollate e il numero dei passaggi a inizio e fine servizio. Il conteggio dei km nel quartiere è stato effettuato prendendo in considerazione entrambi i sensi di marcia.

Tabella 10: Dati riguardanti gli autobus passanti nel quartiere, divisi per Linee

Autobus presenti a San Salvario	km Quartiere	passaggi/giorno	km/giorno (nel quartiere)	km/anno
Linea 67	4,80	81	388,80	141.912
Linea 1	4,50	75	337,50	123.188
Linea 35	4,50	89	400,50	146.183
Linea 18	4,40	135	594,00	216.810
Linea 42	2,60	78	202,80	74.022
Linea 66	1,60	51	81,60	29.784
Linea 33	1,40	85	119,00	43.435
Linea 52	1,40	93	130,20	47.523
Linea 47	0,90	51	45,90	16.754
Linea 61	0,86	85	73,10	26.682
Linea 68	0,86	115	98,90	36.099
Linea 34	0,74	60	44,40	16.206
Linea 17	0,68	100	68,00	24.820
Linea 17 /	0,68	80	54,40	19.856
Totale	29,92	1178,00	2639,10	963.272

$$km \text{ al giorno} = km \text{ Quartiere} \cdot Passaggi \text{ al giorno}$$

Nella tabella seguente sono presenti alcuni dati che servono per la costruzione di uno scenario di riferimento affidabile. È stato preso sempre il 2008 come dato di partenza, visto che si era a conoscenza del numero di autobus circolanti nel quartiere, oltre al numero dei passaggi [15], e si è calcolato il numero di autobus circolanti nel quartiere in questo modo:

$$Autobus \text{ 2018 San Salvario} = Autobus \text{ 2008 San Salvario} \cdot \frac{N^{\circ}Passaggi \text{ 2018}}{N^{\circ}Passaggi \text{ 2008}}$$

La Lunghezza delle strade percorse dagli autobus è stata calcolata sommando la lunghezza delle strade percorse da tutti gli autobus del quartiere, facendo attenzione a non conteggiare due o più volte le strade in comune a più linee di autobus. Ad esempio, su Via Nizza o su Corso Bramante passano più linee di autobus, ma il tratto è stato conteggiato 1 sola volta. Si è usato lo strumento di misurazione di Google Maps per effettuare questo conteggio.

La superficie media degli autobus serve per il calcolo del ricavo pubblicitario [14] che il comune di Torino può avere, se sono presenti delle pubblicità sui mezzi. Per questo calcolo, si è presa in considerazione la superficie posteriore dell'autobus, a cui è stata sommata il doppio di una superficie laterale dell'autobus stesso. Per semplicità, si è preso come riferimento un autobus convenzionale da 12 metri, mentre il numero di autobus per km si calcola in modo simile a quanto fatto per auto e camion:

$$\text{Autobus per km [vkm]} = \frac{\text{Numero Autobus}}{\text{Lunghezza Strade Autobus [km]}}$$

Tabella 11: Dati usati per lo scenario di riferimento, riguardanti gli autobus.

Scenario di Riferimento Autobus	
Superficie Media Autobus [mq]	48
Lunghezza Strade San Salvario Bus [km]	19,0
N°Autobus Circolanti 2008	93
N° passaggi quartiere 2008	1.133
N°Autobus Circolanti 2018	97
Autobus per km 2018 [vkm]	6

4.3 Presentazione Scenari di Mobilità Futura

Nei capitoli iniziali di questo elaborato si è fatto riferimento alle Conference of Parts e ai vari metodi per poter migliorare lo stato del nostro pianeta, per quanto riguarda la mobilità, e in questo paragrafo si cercherà di immaginare uno scenario di evoluzione del quartiere di San Salvario, riferito proprio a questo argomento. Infatti, essendo un quartiere abbastanza centrale nella morfologia della città di Torino, è anche un quartiere caratterizzato da un tenore di vita abbastanza elevato, quindi in grado di poter sostenere economicamente un cambiamento anche radicale nelle abitudini di vita nel corso dei prossimi anni.

Per poter effettuare un'analisi costi-benefici corretta, si è considerato un orizzonte temporale di 30 anni [21] e si è assunto un tasso di sconto pari al 4%, come ben evidenziato dalle linee-guida dell'UE riguardo questa tematica. Inoltre, si è cercato di costruire i diversi scenari partendo da quello del 2018, proprio per avere la maggiore realtà nel considerare le dinamiche di mobilità del quartiere in questione.

Le emissioni di inquinanti primari calcolate in quest'analisi sono quelle di ossidi di azoto (NO-x) e di particolato (PM-10 e PM-2,5), mentre per quanto riguarda gli inquinanti secondari, vale a dire quegli inquinanti che non sono prodotti direttamente dal processo di combustione nei veicoli, ma che si formano nell'atmosfera tramite delle reazioni chimiche con le varie sostanze presenti, si è proceduto nell'analisi dell'impatto della CO₂ sull'ambiente, visto che le quantità di altri inquinanti di questo tipo si possono ritenere trascurabili rispetto alla quantità di CO₂ emessa dai veicoli (ad esempio, l'Ozono, il Metano o l'N₂O).

Per quanto riguarda i dati da analizzare, si sono presi in considerazione diversi aspetti della mobilità di San Salvario, ognuno per le tre tipologie di mobilità, tra cui il calcolo dell'incidenza sulla popolazione di:

- Incidenti provocati da autovetture, mezzi pesanti e autobus;
- Congestione del traffico provocata dalle tre tipologie suddette;
- Rumore provocato dal motore termico o dagli accessori presenti a bordo del mezzo (si pensi, per i veicoli elettrici, al classico rumore provocato dal generatore di corrente presente in vettura);
- Manutenzione delle strade, provocata dal passaggio di mezzi pesanti e autobus, i quali causano un deterioramento maggiore rispetto al transito di sole vetture;

Inoltre, nella costruzione degli scenari, si è tenuto conto del processo tecnologico per quanto riguarda i veicoli che circoleranno nei prossimi anni e dell'incremento delle infrastrutture per soddisfare l'aumento del fabbisogno energetico, vista la crescita della mobilità elettrica in ogni settore. Nei paragrafi successivi saranno spiegate le caratteristiche di ogni scenario, partendo dal presupposto che il primo scenario che verrà analizzato è quello più importante e influente per le politiche che il comune di Torino dovrà adottare a breve termine in questo campo, visto che temporalmente parlando è quello più vicino allo scenario di riferimento (2018), che è stato presentato nel paragrafo precedente.

4.3.1 Scenari di Base

Per la costruzione dello **scenario Intermedio**, si è fatto riferimento a diversi documenti [22, 23] che potessero fare da base per la previsione a medio termine dello sviluppo di un quartiere complesso come San Salvario. Si è fatto riferimento a fonti europee [24] e italiane, con l'obiettivo di essere il più possibile oggettivi e realistici riguardo le prospettive di evoluzione da affrontare in questa analisi. Detto ciò, questo scenario rappresenta in che modo potrà cambiare la mobilità del quartiere tra 15 anni, il quale rappresenta un periodo temporale che si pone perfettamente a metà del processo dell'analisi costi-benefici.

Questo scenario sarà rappresentato dai seguenti obiettivi, perseguibili con un miglioramento tecnologico dei veicoli e con un adatto cambiamento dello stile di vita della popolazione, oltre a garantire investimenti importanti dal punto di vista del trasporto pubblico e delle infrastrutture:

1. Riduzione delle emissioni di inquinanti primari e secondari del 45% rispetto ai dati del 2018 [23], per quanto riguarda le automobili e i mezzi pesanti: la riduzione viene calcolata sulla base del dato medio delle emissioni di un veicolo nel 2018, dipendente dalla quantità di veicoli circolanti nel quartiere, divisi per normativa antinquinamento;
2. Riduzione del numero di km percorsi e del numero di autovetture circolanti nel quartiere del 20% rispetto al 2018 [25];
3. Riduzione del numero di km percorsi e del numero di mezzi pesanti circolanti nel quartiere del 10% rispetto al 2018;
4. Aumento della percentuale del car sharing, calcolata sulla base delle vetture in circolazione nei rispettivi scenari, dallo 0,34% al 20% [24]; la percentuale di vetture elettriche in questo settore rimane del 33%, come nello scenario del 2018 e non subisce variazioni;
5. Aumento delle vetture a basso impatto ambientale (HEV, PHEV e BEV) con conseguente riduzione delle vetture alimentate con carburanti tradizionali [22,23];
6. Aumento dei mezzi pesanti a basso impatto ambientale, pur conservando circa il 60% di questi mezzi diesel, a causa della lunghezza delle tratte percorse e della mancanza di sufficienti infrastrutture di ricarica;
7. Aumento del 50% del numero di autobus circolanti nel quartiere e dei km annui percorsi da questi ultimi, rispetto ai dati del 2018, i quali rappresentano una diretta conseguenza della riduzione dei veicoli circolanti nel quartiere [25];
8. Ripartizione degli autobus circolanti che passa dal 70% diesel e 30% CNG del 2018 al 60% Diesel, 35% CNG e 5% autobus elettrici. Per CNG si intendono gli autobus alimentati a metano, i quali sono un buon compromesso economico per la riduzione di

NO-x e di Particolato, rispetto all'acquisto di autobus elettrici (BEV). Per dare dei numeri concreti, si avranno 90 Mercedes Conecto diesel circolanti nel quartiere, 5 BYD elettrici e 46 Iveco Urban-Way alimentati a metano, oltre a 7 Iveco CNG del 2012, circolanti sulle linee che eseguono il servizio in periferia.

Nello **scenario Futuro** si prova ad immaginare una visione della mobilità del quartiere tra 30 anni e, come per lo scenario intermedio, molti dati sono stati presi dagli stessi documenti e sono stati rielaborati in base alle esigenze e alle dimensioni del quartiere. Inoltre, la natura previsionale a lungo termine di questo scenario, porta sicuramente ad inserire un minimo di soggettività nell'analisi, nonostante si sia cercato di inserire quanti più dati oggettivi possibili.

Questo scenario sarà caratterizzato da alcuni target, perseguibili con un marcato miglioramento tecnologico dei veicoli, con un radicale cambiamento dello stile di vita della popolazione e della concezione della mobilità, oltre a garantire investimenti molto importanti dal punto di vista del trasporto pubblico e delle infrastrutture, magari finanziati dall'Unione Europea o dallo Stato italiano, vista la quantità ingente di risorse che serve per garantire il raggiungimento degli obiettivi di seguito elencati:

1. Riduzione delle emissioni di inquinanti primari e secondari dell'80% rispetto ai dati del 2018 [23], per quanto riguarda le automobili e i mezzi pesanti: la riduzione viene calcolata sulla base del dato medio delle emissioni di un veicolo nel 2018, dipendente dalla quantità di veicoli circolanti nel quartiere, divisi per normativa antinquinamento;
2. Riduzione del numero di km percorsi e del numero di autovetture circolanti nel quartiere del 40% rispetto al 2018 [25];
3. Riduzione del numero di km percorsi e del numero di mezzi pesanti circolanti nel quartiere del 30% rispetto al 2018;
4. Aumento della percentuale del car sharing, calcolata sulla base delle vetture in circolazione nei rispettivi scenari, dal 20% al 40% [24]; la percentuale di vetture elettriche in questo settore sale dal 33% al 60%;
5. Aumento considerevole delle vetture a basso impatto ambientale (HEV, PHEV e BEV) con conseguente riduzione delle vetture alimentate con carburanti tradizionali [22,23];
6. Aumento importante dei mezzi pesanti a basso impatto ambientale, pur conservando circa un terzo di questi mezzi diesel, a causa della lunghezza delle tratte percorse;
7. Aumento del 100% del numero di autobus circolanti nel quartiere e dei km annui percorsi da questi ultimi, rispetto ai dati del 2018, i quali rappresentano una diretta conseguenza della riduzione dei veicoli circolanti nel quartiere [25];

8. Ripartizione degli autobus circolanti che passa dal 70% diesel e 30% CNG del 2018 al 35% CNG e 65% autobus elettrici. Per CNG si intendono gli autobus alimentati a metano, i quali sono un buon compromesso economico per la riduzione di NO-x e di Particolato, rispetto all'acquisto di autobus elettrici (BEV), i quali in questo scenario devono essere predominanti, vista la riduzione delle emissioni di CO2 imposta dalla Comunità Europea nelle COP. Per avere un quadro completo, in questo scenario circoleranno 40 BYD elettrici sulle linee con tragitto breve, 92 Mercedes eCitaro sulle linee a media percorrenza e 64 Iveco Urban-Way CNG, che vanno a sostituire gli autobus alimentati a diesel sulle linee interessate.

Lo scenario **Futuro-2** si basa sulla modifica di alcuni dati dello scenario Futuro, per poter avere un'alternativa maggiormente sostenibile nello sviluppo dell'analisi. Ovviamente, in questo caso, si è cercato di avere sempre un orizzonte temporale uguale a quello dello scenario visto in 4.4.2, ma si è pensato ad una situazione in cui si incentivano maggiormente l'utilizzo del trasporto pubblico e cresca ulteriormente l'uso del car-sharing. Nel dettaglio, le differenze con lo scenario precedente sono le seguenti:

1. Riduzione del numero di km percorsi e del numero di autovetture circolanti nel quartiere del 60% rispetto al 2018 [25], rispetto alla riduzione del 40% dello scenario Futuro;
2. Riduzione del numero di km percorsi e del numero di mezzi pesanti circolanti nel quartiere del 50% rispetto ai dati del 2018, rispetto alla riduzione del 30% dello scenario Futuro;
3. Aumento della percentuale del car sharing, calcolata sulla base delle vetture in circolazione nei rispettivi scenari, dal 40% al 60% [24]; la percentuale di vetture elettriche in questo settore sale dal 60% al 90%;
4. Aumento del 150% del numero di autobus circolanti nel quartiere e dei km annui percorsi da questi ultimi, rispetto ai dati del 2018, con un perfetto bilanciamento della riduzione di veicoli circolanti nel quartiere [25]. Per avere un quadro completo, in questo scenario circoleranno 50 BYD elettrici sulle linee con tragitto breve, 115 Mercedes eCitaro sulle linee a media percorrenza e Iveco Urban-Way CNG, che vanno a sostituire gli autobus alimentati a diesel sulle linee interessate.

4.3.2 Scenari Combinati

Per poter effettuare l'analisi costi-benefici si sono costruiti diversi scenari di evoluzione della mobilità del quartiere, che verranno presentati in questo paragrafo. Inoltre, si è pensato ad uno scenario di riferimento che è leggermente diverso da quelli che vengono mostrati di solito, poiché in questa situazione si è cercato lo stesso di effettuare un'evoluzione a metà dell'orizzonte temporale, passando dalla condizione del 2018 a quella dello Scenario Intermedio, che rappresenta la mobilità del 2035.

Infatti la composizione di questo scenario di riferimento è fondamentale per poter calcolare in modo corretto il VAN, il TIR e il B/C degli scenari combinati, che verranno confrontati con quest'ultimo. Gli scenari "di base" sono quelli presentati nel paragrafo precedente, e riguardano tutte le tipologie di mobilità presenti nel quartiere.

Per scenari combinati si intende l'unione di due o più "scenari di base", i quali sono esattamente quattro, definiti ognuno per ogni tipologia di mezzo di trasporto.

Al loro interno, essi presentano una quantità enorme di variabili, che potranno essere modificate in lavori futuri per adattare quest'analisi alle condizioni che potrebbero modificare le situazioni ipotizzate in questo lavoro. La combinazione degli scenari di base è molto libera, ma in questo caso si è preferito ridurre la scelta a sei scenari combinati, volutamente ispirati all'evoluzione che l'Unione Europea si aspetta in questo campo [26], che sono stati presi per evitare situazioni molto simili tra loro e per essere il più possibili vicini ai possibili sviluppi del quartiere:

1. **Scenario di Riferimento**, caratterizzato dallo *Scenario 2018* fino al 15° anno e seguito dallo *Scenario Intermedio* fino alla fine dell'analisi: questa è la situazione con cui si confronteranno i vari scenari combinati pensati per questo lavoro.
2. **Scenario Combinato 1**, il quale prevede la comparsa di tutti gli "scenari di base" al suo interno ed è suddiviso temporalmente in questo modo:
 - a. *Scenario 2018* presente fino al 4° anno;
 - b. *Scenario Intermedio* dal 5° anno al 10° anno;
 - c. *Scenario Futuro* dall'11° anno fino al 20° anno;
 - d. *Scenario Futuro-2* dal 21° anno fino alla fine dell'analisi.
3. **Scenario Combinato 2**, che è il secondo scenario più futuribile tra quelli elencati in questa lista ed è composto dalla presenza dello *Scenario 2018* fino al 7° anno, dello *Scenario Futuro* dall'8° al 16° anno e dello *Scenario Futuro-2* dal 17° anno fino alla fine dell'analisi.
4. **Scenario Combinato 3**, il quale rappresenta la combinazione più proiettata al futuro degli scenari inseriti in questa lista, poiché esso è caratterizzato dalla presenza dello *Scenario Intermedio* a partire dall'inizio dell'analisi fino al 10° anno e verrà seguito dallo *Scenario Futuro* e *Futuro-2*, presenti, rispettivamente, dall'11° al 20° anno e dal 21° fino al 30° anno. Ciò significa che è anche lo scenario con i maggiori costi di investimento di quelli presenti in questo elenco.
5. **Scenario Combinato 4**, che prevede la successione dello *Scenario 2018* fino al 5° anno, dello *Scenario Intermedio* fino al 19° anno e dello *Scenario Futuro-2* dal 20° anno fino alla fine dell'analisi.
6. **Scenario REF-FUT**, il quale è contraddistinto dallo *Scenario 2018* fino al 10° anno, seguito dallo *Scenario Futuro* fino alla fine dell'analisi.

7. **Scenario REF-INT**, che è composto dal susseguirsi dello *Scenario 2018*, presente fino al 4° anno, e dello *Scenario Intermedio*, presente fino alla fine dell'analisi. È lo scenario combinato che meno si discosta dallo Scenario di Riferimento ed è quello che ha i minori costi di investimento.

Per quanto riguarda la sostenibilità dei costi di investimento, essi potrebbero essere finanziati dall'Unione Europea [27], nel caso in cui non sono presenti liquidità nelle casse del Comune o della Regione. Questo può avvenire poiché i seguenti costi servono per ridurre le emissioni della città di Torino, motivo per cui i finanziamenti dell' UE possono essere ricevuti con maggiore facilità.

Nella tabella seguente vengono riassunti i costi di investimento che saranno considerati nell'analisi ed essi sono stati ricavati da acquisti fatti realmente da amministrazioni locali italiane ed europee per la sostituzione di mezzi obsoleti o per l'acquisto di mezzi meno inquinanti di quelli circolanti [28;29;30;31].

Si ricorda che all'interno dei seguenti costi sono inclusi quelli di manutenzione dei veicoli per 10 anni se essi sono diesel e per 15 anni se essi hanno un motore elettrico o se sono alimentati con metano. Il ciclo di vita è più lungo per queste ultime categorie poiché esse hanno un costo di investimento maggiore e serve maggior tempo per poter rientrare dall'investimento effettuato.

Tabella 12: Costi di investimento per la sostituzione della flotta di mezzi pubblici appartenenti alla GTT. Per quanto riguarda i veicoli elettrici, sono inclusi i costi relativi alla realizzazione di stazioni di ricarica rapida.

Costi di Investimento + Service	
74 Mercedes Conecto Diesel	€ 31.000.000
409 Iveco Urbanway CNG	€ 160.000.000
19 BYD K9 Electric	€ 10.000.000
48 Mercedes e-Citaro	€ 53.000.000

Nei costi definiti nella tabella precedente sono presenti anche quelli relativi all'installazione degli impianti di ricarica rapida per gli autobus elettrici; questo perché gli autobus a fine turno devono essere ricaricati per poter permettere le percorrenze descritte nei vari scenari.

Nel calcolo dei benefici non si è considerato in modo dettagliato l'incremento dovuto a:

1. Risparmio delle emissioni per la produzione e per la gestione degli autobus a basso impatto ambientale, i quali sono parzialmente contenuti nella voce "Altri costi Finanziari" del paragrafo precedente. Questo beneficio è particolarmente accentuato per gli Iveco CNG e per il Mercedes e-Citaro, i quali sono prodotti con metodi a basse emissioni, ma è difficile quantificare questo beneficio rispetto al metodo di produzione di un autobus convenzionale;

2. Ulteriori ricavi derivanti dalla vendita dell'energia elettrica delle stazioni di ricarica quando esse rimangono in funzione, ma non servono per "rifornire" gli autobus; questi guadagni sono difficilmente quantificabili, poiché non sono presenti dati riguardanti la quantità di energia erogata da questi impianti di ricarica rapida, visto che essi sono coperti da segreti professionali e quasi sempre sono realizzati dalla stessa ditta che costruisce l'autobus da ricaricare, per ottimizzare al meglio tutto il sistema.

Nella tabella seguente sono riportati i costi di investimento relativi agli autobus da acquistare, suddivisi per ogni scenario combinato. Per ogni modello sono definiti il numero di mezzi da comprare, in base alle esigenze chilometriche dello scenario e alla vita utile di questi autobus, e il loro costo, compreso di manutenzione. Si può notare come il costo degli autobus elettrici sia nettamente più alto rispetto a quello relativo alle altre alimentazioni, poiché in questo valore è inserito anche il costo degli impianti di ricarica rapida.

Ogni autobus ha un ciclo di vita diverso, in base alla durata e alla qualità dei componenti, alla complessità dei sistemi di controllo e alla tipologia. Infatti, un autobus diesel ha un costo di manutenzione circa uguale ai mezzi alimentati a metano, i quali però sono sottoposti a regole più severe (revisioni più ravvicinate e sostituzione delle bombole contenenti il metano da effettuare a metà vita utile dell'autobus).

Invece, gli autobus elettrici hanno dei costi di manutenzione molto bassi, vista l'assenza di un sistema di trasmissione e vista la maggiore semplicità del motore elettrico, ma bisogna preventivare la sostituzione del pacco batterie a metà vita utile del mezzo, per evitare l'effetto di "invecchiamento" che riduce la loro autonomia e, in alcuni casi, può portare all'esplosione.

In sintesi, in questo lavoro si è ipotizzata una vita utile di 15 anni per gli autobus diesel, per quelli a metano e per il modello elettrico BYD, mentre si è considerata una vita utile di 20 anni per il modello elettrico della Mercedes, visto che è un autobus progettato recentemente e costruito con componenti di alta qualità [32] che permettono un incremento di questo parametro.

Tabella 13: Situazione dei costi di investimento per la sostituzione degli autobus presenti e per l'acquisto di nuovi autobus, in base alla percorrenza chilometrica dello scenario interessato.

Autobus	[mln €]	Riferim.	Comb.1	Comb.2	Comb.3	Comb.4	REF-FUT	REF-INT
Mercedes Conecto Diesel	Numero	100	35	0	35	100	0	180
	Costo	41,89	14,66	-	14,66	41,89	-	75,41
Iveco Urban-Way CNG	Numero	60	145	100	155	130	108	94
	Costo	23,47	56,72	39,12	60,64	50,86	42,25	36,77
BYD K9 Electric	Numero	8	70	60	48	55	80	10
	Costo	4,21	36,84	31,58	25,26	28,95	42,11	5,26
Mercedes eCitaro	Numero	0	130	150	140	115	105	0
	Costo	-	143,54	165,63	154,58	126,98	115,94	-

4.4 Calcolo Emissioni di Inquinanti primari e secondari

Prima di passare al confronto tra i costi e i benefici degli scenari di mobilità futura del quartiere, si illustra nel dettaglio il calcolo delle emissioni degli inquinanti primari (NO-x, PM-10, PM-2,5) e di quello secondario (CO₂), presenti nell'analisi. Iniziando dalle automobili, si sono inseriti i dati relativi alla suddivisione per tipologia di alimentazione (visibili nelle tabelle a fine capitolo) e si sono combinati con quelli relativi alla ripartizione delle automobili per normativa antinquinamento [33].

Un procedimento pressoché identico è stato effettuato per quanto riguarda i mezzi pesanti, visto che si sono presi i dati dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) per poter avere dei dati comparabili con quelli delle autovetture [34]. Si ricorda che, per le seguenti categorie, si è effettuata una semplificazione, vale a dire quella di considerare nella stessa categoria di omologazione le auto a benzina e quelle con doppia alimentazione (benzina-GPL o benzina-metano), allo stesso modo delle normative "Euro" della Comunità Europea [35].

Per quanto riguarda l'evoluzione degli scenari del quartiere, si è pensato di non introdurre una nuova normativa antinquinamento da usare soltanto negli scenari futuri, poiché al momento non si conoscono i limiti emissivi che dovranno rispettare i veicoli, ma si possono effettuare soltanto delle previsioni a lungo termine sulla riduzione di questi dati, come è stato fatto in questo lavoro.

Nella tabella seguente, che serve per il calcolo delle emissioni delle **autovetture**, si possono notare dei dati molto interessanti, a partire dallo scenario di riferimento, cioè che la suddivisione per normative antinquinamento [33] è molto diversa se ci riferiamo a vetture a benzina o a diesel:

- Per le auto a benzina c'è una vasta percentuale (il 35%) che appartiene a normative precedenti all'Euro 4, mentre per le auto a diesel la percentuale scende drasticamente al 17,5%, questo perché, grazie agli eco-incentivi presenti e a causa delle ingenti limitazioni delle automobili diesel, queste ultime sono presenti in maggior numero con normative antinquinamento molto "green": precisamente oltre il 60% sono Euro 5 o Euro 6 [33];
- Le percentuali presenti negli scenari *Intermedio* e **Futuro** sono state elaborate, ponendo come obiettivo finale una riduzione, rispettivamente, *del 45%* e **dell'80%** delle emissioni inquinanti del singolo veicolo, rispetto a quelle misurate nel 2018;
- Le emissioni di **CO₂**, calcolate per ogni normativa, sono dati presi dal database dell'ISPRA, il quale suddivide le categorie delle auto in base alla loro appartenenza ad un particolare segmento. Per evitare inutili complicazioni, per ogni normativa antinquinamento, si è scelto un dato medio [34];

- Per gli scenari evolutivi si è pensato che l'incremento delle autovetture a basso impatto ambientale, unito alla presenza di incentivi per la rottamazione delle auto più inquinanti, possa portare ad uno sviluppo unitario della divisione dei veicoli in base alla loro classe ambientale. In altre parole, sia i veicoli diesel, che quelli a benzina siano divisi alla stessa maniera per quanto riguarda le normative antinquinamento. I veicoli a basso impatto ambientale rientrano, invece, tutti nella categoria "Euro 6" e ciò vale anche per i mezzi pesanti.

Tabella 14: Suddivisione delle automobili in base alla normativa antinquinamento e calcolo delle emissioni di CO2

Parco Vetture diviso per classe ambientale (2018)					Emissioni CO2 2018 [g/km]	
Normative	2018 Benzina	2018 Diesel	Scenario Int.	Scenario Fut.	Benzina + GPL	Diesel
Euro 0	12,0%	3,0%	2,5%	0,0%	185,72	188,40
Euro 1	2,5%	1,0%	1,0%	0,0%	185,06	167,32
Euro 2	9,5%	3,0%	3,0%	0,0%	182,88	173,23
Euro 3	11,0%	10,5%	6,5%	0,0%	191,31	166,43
Euro 4	27,0%	21,0%	12,5%	2,0%	186,72	165,46
Euro 5	13,5%	20,5%	15,5%	10,0%	177,56	160,41
Euro 6	24,5%	41,0%	59,0%	88,0%	176,94	155,30
Totale	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	183,07	161,30

Per il calcolo delle emissioni di CO2 totali del 2018, si procede in questo modo:

$$Emissioni\ CO2\ \left[\frac{g}{km}\right] = \sum_{i=Euro\ 0}^{Euro\ 6} \%Normativa_i \cdot Emissioni\ CO2_i\ \left[\frac{g}{km}\right]$$

Nella tabella seguente si presenta la situazione delle vetture in base alla loro alimentazione e, per quanto riguarda le previsioni future, si è fatto riferimento alla riduzione del dato medio delle emissioni di inquinanti primari. Si può notare, leggendo la tabella, che tra 30 anni (scenario Futuro) il 65% delle autovetture circolanti sarà alimentato con l'energia elettrica e ciò sarà una sfida importante per le amministrazioni locali, vista l'attuale carenza di infrastrutture di ricarica.

Inoltre, l'architettura ibrida semplice (HEV) subirà una contrazione nel passaggio dallo scenario intermedio a quello futuro, poiché i costruttori rinunceranno a produrre veicoli di questo genere (a causa delle norme europee più stringenti), in luogo dei più tecnologici PHEV, i quali permettono percorrenze in modalità elettrica più lunghe e hanno emissioni ridotte.

Quindi, il calcolo del dato in grammi al km della CO2 emessa negli scenari evolutivi, è stato ricavato riducendo, rispettivamente per lo scenario intermedio e per il futuro, del 45% e dell'80% il dato del 2018, mentre per il dato annuo si scrive la seguente equazione:

$$Emissioni\ CO2\ \left[\frac{ton.}{anno}\right] = km\ al\ giorno\ alimentazione \cdot Emissioni\ CO2\ \left[\frac{g}{km}\right] \cdot \frac{365}{1.000.000}$$

Tabella 15: Suddivisione delle automobili in base all'alimentazione e calcolo della CO2 emessa in un anno da ogni tipologia

Carburante	Parco Automobili San Salvario			Analisi CO2						
	Scenario 2018	Scenario Interm.	Scenario Futuro	2018		Intermedio		Futuro		Fut-2
				CO2 [g/km]	CO2 [ton./anno]	CO2 [g/km]	CO2 [ton./anno]	CO2 [g/km]	CO2 [ton./anno]	CO2 [ton./anno]
Benzina	48,5%	26,0%	10,5%	183,07	4430,16	100,69	1044,97	36,61	115,09	76,73
Diesel	39,5%	17,0%	6,5%	161,30	3179,08	88,72	602,01	32,26	62,78	41,85
GPL	9,2%	6,5%	1,0%	183,07	840,36	100,69	261,24	36,61	10,96	7,31
Metano	1,5%	2,5%	1,0%	183,07	137,02	100,69	100,48	36,61	10,96	7,31
HEV	0,8%	22,0%	16,0%	99,90	39,88	54,95	482,51	19,98	95,70	63,80
PHEV	0,3%	14,0%	35,0%	47,82	7,16	26,30	146,97	9,56	100,21	66,80
BEV	0,2%	12,0%	30,0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Totale	100,0%	100,0%	100,0%	173,03	8626,49	62,41	2638,18	9,87	395,70	263,80

Nella tabella seguente invece si pone l'attenzione sul calcolo delle emissioni di **inquinanti primari** riguardanti le vetture. Innanzitutto si può notare, a differenza delle emissioni di CO2, che nel calcolo non vengono inserite le architetture Plug-In Hybrid e i veicoli full electric, poiché essi sono in grado di percorrere i km che servono per gli spostamenti giornalieri in città con una sola carica della batteria e quindi, per i veicoli Plug-In, non c'è bisogno di accendere il motore termico, riducendo a zero le seguenti emissioni.

Le emissioni di PM-10 e di NO-x derivano direttamente dalla normativa antinquinamento diramata dalla Commissione Europea [35], mentre per le emissioni di PM-2,5 si è preso il dato dal database ISPRA [34]. Per ricavare il dato da utilizzare nel calcolo delle emissioni annue di inquinanti primari, si effettua questo calcolo per ogni scenario da considerare nell'analisi:

$$Emissioni\ NOx(PM)\ \left[\frac{g}{km}\right] = \sum_{i=Euro\ 0}^{Euro\ 6} \%Normativa_i \cdot Emissioni_i\ \left[\frac{g}{km}\right]$$

Tabella 16: Suddivisione delle automobili in base alle normative antinquinamento e calcolo degli inquinanti primari divisi per normativa e per scenario da considerare

Alimentazione	Benzina + GPL+ Metano + HEV [g/km]			Diesel [g/km]		
	NOx	PM-10	PM-2,5	NO-x	PM-10	PM-2,5
Normative						
Euro 0	1,30	0,04	0,0148	1,80	0,27	0,236
Euro 1	0,97	0,03	0,0144	0,97	0,14	0,103
Euro 2	0,50	0,03	0,0141	0,70	0,08	0,068
Euro 3	0,15	0,02	0,0130	0,50	0,05	0,056
Euro 4	0,08	0,015	0,0130	0,25	0,025	0,046
Euro 5	0,06	0,005	0,0133	0,18	0,005	0,014
Euro 6	0,06	0,0045	0,0131	0,08	0,0045	0,010
Scenario 2018	0,29	0,01583	0,01341	0,26	0,0253	0,0326
Scenario Intermedio	0,12	0,00868	0,01318	0,21	0,0204	0,0264
Scenario Futuro	0,06	0,00476	0,01309	0,09	0,0050	0,0111
Scenario Futuro-2	0,06	0,00476	0,01309	0,09	0,0050	0,0111

Come già visto per le autovetture, anche per gli **heavy-duty** si è proceduto in maniera piuttosto simile, quindi si parte con l'analisi della tabella seguente, dove sono presenti dei dati utili per il calcolo delle emissioni:

- I dati dello scenario 2018 sono presi dal database, presente sul sito dell'ACI [33], in cui ci sono i dati dei mezzi pesanti circolanti a Torino, esattamente come erano presenti per le autovetture;
- Si può notare come la maggior parte del trasporto merci è effettuato con veicoli a motore diesel, poiché in questo settore il consumo di carburante è un dato fondamentale per riuscire a risparmiare il più possibile. Infatti, come si evidenzia anche nella tabella, i consumi dei mezzi diesel sono nettamente inferiori rispetto a quelli benzina [36];
- Nella categoria degli heavy-duty, per semplificare la trattazione delle emissioni, si sono inseriti anche i cosiddetti "Light-Commercial-duty-Vehicles", vale a dire i veicoli commerciali leggeri, rappresentati da quei mezzi che non superano le 3,5 tonnellate di peso; è stato fatto ciò anche perché i dati di questa tipologia di veicoli sono stati presi per estrapolazione da quelli delle automobili, come è possibile vedere nel paragrafo 4.2.1;
- Per quanto riguarda il calcolo dei consumi per tipologia di alimentazione, visto che la categoria degli heavy-duty è molto vasta, si è deciso di prendere i consumi di **tre categorie di peso** (veicoli minori di 7,5 tonnellate, compresi tra 7,5 e 12 tonnellate e compresi tra 12 e 18 tonnellate) e di effettuarne una media per ricavare i consumi delle diverse tipologie di alimentazione; per le prime due tipologie si è pensata un'incidenza del 40% sull'insieme dei mezzi pesanti, mentre per l'ultima essa è del 20%.

- Per i veicoli a basso impatto ambientale, in questa categoria, cambiando gli obiettivi da perseguire rispetto alle automobili, anche le architetture ibride semplici (HEV) sono in grado di poter percorrere una certa autonomia col solo motore elettrico, quindi si considerano nella stessa categoria dei veicoli Plug-In. Ovviamente, il dato dei consumi in questa categoria è espresso in kWh/100 km, come anche il dato della “CO2 Emissions” è espresso in kg/kWh [37], proprio perché questa tipologia di veicoli è in grado di percorrere il tragitto urbano col solo motore elettrico;
- Per la divisione dei mezzi pesanti in base alle normative antinquinamento, i dati sono sempre presi dal sito dell’ACI [33] e si suppone, come per le autovetture, che sia i veicoli diesel, che quelli a benzina, che quelli con emissioni inferiori (HEV, PHEV e BEV), siano divisi alla stessa maniera per quanto riguarda le normative antinquinamento, negli scenari evolutivi. Questi scenari sono stati costruiti prendendo come riferimento la riduzione delle emissioni, già spiegata nella loro presentazione.

Tabella 17: Suddivisione degli heavy-duty in base all'alimentazione e calcolo delle emissioni di CO2 in base ai loro consumi

Parco Heavy-Duty Divisi per alimentazione (2018)				Analisi CO2		
Carburante	Scenario 2018	Scenario Intermedio	Scenario Futuro	Consumi [l/100km]	CO2 Emissions [kg/l]	CO2 [kg/km]
Diesel	85%	62,0%	33,0%	17,50	2,73	0,48
Benzina	6,0%	5,0%	5,0%	22,50	2,31	0,52
GPL+Metano	8,7%	4,0%	4,0%	25,50	2,88	0,73
HEV+PHEV	0,3%	29,0%	58,0%	65,00	0,45	0,29
Totale	100%	100,0%	100,0%	-	-	-

Per il calcolo delle emissioni di CO2 in kg/km si effettua questo calcolo, considerando che per i veicoli HEV e PHEV si sostituiscono i litri con i kWh generati dal motore elettrico:

$$Emissioni\ CO_2 \left[\frac{kg}{km} \right] = Fattore\ Emissione\ CO_2 \left[\frac{kg}{l} \right] \cdot \frac{Consumi \left[\frac{l}{100km} \right]}{100}$$

Infatti, nella tabella seguente si ha proprio il dettaglio della suddivisione degli Heavy-Duty in base alle normative antinquinamento, le quali vengono indicate con una numerazione diversa rispetto a quelle delle auto. Da questa tabella si può evidenziare come lo scenario sia in netta controtendenza rispetto a quello delle autovetture, poiché i veicoli meno inquinanti, in questo caso, sono alimentati a benzina (53% è la somma tra Euro V e Euro VI), mentre per i veicoli diesel c'è una percentuale maggiore di veicoli più inquinanti, cioè che il 59% dei mezzi circolanti appartiene alla normativa Euro III, Euro IV o Euro V.

Questa tendenza è la conseguenza del fatto che la vita utile di un mezzo pesante è molto più lunga rispetto a quella di un'automobile e che, a causa della recessione avvenuta a cavallo tra il 2007 e il 2008, questo mercato ha subito una forte contrazione. Questo spiega il perché ci sono così pochi veicoli omologati con l'Euro VI, anche perché questa normativa è entrata in vigore proprio in quegli anni di crisi, dove piuttosto che aprire nuove aziende o attività, esse andavano verso la chiusura o il fallimento, provocando una forte contrazione della domanda dei mezzi pesanti.

Tabella 18: Suddivisione degli heavy-duty in base alla normativa antinquinamento e allo scenario da considerare

Normative	2018 Benzina	2018 Diesel	Scenario Intermedio	Scenario Futuro
Euro 0	13,0%	13,0%	5,0%	0,0%
Euro I	5,0%	5,0%	2,0%	0,0%
Euro II	7,0%	11,0%	2,5%	0,0%
Euro III	8,0%	17,5%	5,5%	0,0%
Euro IV	14,0%	21,0%	12,0%	5,0%
Euro V	10,0%	20,5%	15,0%	10,0%
Euro VI	43,0%	12,0%	58,0%	85,0%
Totale	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Per quanto riguarda il calcolo delle emissioni di **inquinanti primari**, come già evidenziato in precedenza, le normative antinquinamento differiscono rispetto a quelle delle automobili per i seguenti motivi [38]:

- Innanzitutto i cicli di omologazione che devono superare le due tipologie sono completamente diversi: per le autovetture, c'è il WLTC (World-harmonized Light-duty Test Cycle) [35] dal 2017, che è caratterizzato da un profilo di velocità da seguire per la vettura, presa in configurazione di vendita, sui rulli, mentre per i mezzi pesanti innanzitutto i test vengono svolti direttamente sul motore, collegato ad un freno dinamometrico, ed essi sono due, uno che verifica il comportamento in stazionario (WHSC, World-harmonized Heavy-duty Steady-state Cycle) e l'altro durante i transitori di accelerazione e frenata (WHTC, World-harmonized Heavy-duty Transient Cycle);
- Siccome i cicli sono diversi per morfologia e per modalità di svolgimento, si avranno anche dei risultati diversi, poiché per le automobili si hanno dati in g/km, mentre per gli heavy-duty i dati delle emissioni saranno in g/kWh;
- Visto che in questa analisi sono stati calcolati i km percorsi dal giorno dagli heavy-duty, divisi per tipologia di carburante usato, si usano i dati ricavati dal sito dell'ISPRA [34] per inserire i dati delle emissioni di inquinanti primari direttamente in g/km, per ogni normativa antinquinamento. Il dato è stato calcolato ipotizzando una presenza del 40% di veicoli sotto le 7,5 tonnellate, del 40% di mezzi compresi tra 7,5 e 12 tonnellate e del 20% di heavy-duty compresi tra 12 e 18 tonnellate di peso.

Quindi, per calcolare le emissioni dei mezzi pesanti, si presenta la seguente equazione, che è identica a quella usata per il calcolo nelle autovetture:

$$Emissioni\ NOx(PM)\left[\frac{g}{km}\right] = \sum_{i=Euro\ 0}^{Euro\ 6} \%Normativa_i \cdot Emissioni_i\left[\frac{g}{km}\right]$$

Tabella 19: Suddivisione degli heavy-duty in base alla normativa antinquinamento e calcolo delle emissioni di inquinanti primari in base alla normativa e allo scenario da considerare

Alimentazione	Benzina + GPL+ Metano [g/km]			Diesel [g/km]		
Normative	NOx	PM-10	PM-2,5	NOx	PM-10	PM-2,5
Euro 0	6,38	0,10	0,04	6,38	0,34	0,30
Euro I	4,04	0,05	0,02	4,04	0,25	0,20
Euro II	4,31	0,05	0,02	4,31	0,18	0,14
Euro III	3,27	0,03	0,01	3,27	0,16	0,12
Euro IV	2,31	0,02	0,01	2,31	0,100	0,06
Euro V	1,40	0,02	0,01	1,40	0,100	0,06
Euro VI	0,25	0,01	0,005	0,25	0,085	0,05
Scenario 2018	2,17	0,0305	0,0130	2,88	0,1562	0,1157
Scenario Intermedio	1,32	0,0201	0,0091	1,32	0,1116	0,0714
Scenario Futuro	0,47	0,0115	0,0058	0,47	0,0873	0,0473
Scenario Futuro-2	0,47	0,0115	0,0058	0,47	0,0873	0,0473

Per calcolare l'impatto del **trasporto pubblico** sulle emissioni del quartiere, è stato fatto un ragionamento diverso rispetto al caso delle vetture e degli heavy-duty. Infatti, gli autobus sono considerati dalle normative antinquinamento [38] nella stessa categoria degli heavy-duty, quindi si esegue il test sul motore che equipaggerà l'autobus e non sulla configurazione finale dello stesso mezzo. Ciò implica che le emissioni di inquinanti primari sono espresse in g/kWh e si dovrà convertirle in g/km [39] per poter effettuare l'analisi corretta delle emissioni di questa categoria, visto che è sempre presente il dato chilometrico percorso quotidianamente dagli autobus.

Per quanto riguarda le emissioni di CO₂, grazie alla presenza sulle schede tecniche [40, 41] del dato dei consumi in l/100km (o in kWh/100km per gli autobus elettrici), si è adottato un processo simile al calcolo effettuato per gli heavy-duty, fatto in questo caso per ricavare le emissioni di CO₂ di ogni modello inserito negli autobus presenti ora e in futuro a Torino:

$$Emissioni\ CO_2\left[\frac{kg}{km}\right] = Fattore\ Emissione\ CO_2\left[\frac{kg}{l}\right] \cdot \frac{Consumi\left[\frac{l}{100km}\right]}{100}$$

Si è obbligati a seguire la strada della conversione delle emissioni degli inquinanti primari, prese dalla normativa (per NO-x e PM-10), poiché sul sito dell'ISPRA non sono presenti dati che soddisfano l'esigenza di questo lavoro, per quanto riguarda queste due specie inquinanti; la situazione si ribalta per la PM-2,5, visto che non è un inquinante che viene misurato con i test omologativi, e si è deciso di prendere questi dati dall'ISPRA, i quali sono già forniti in g/km [34]. Si ricorda che, anche in questo caso, gli autobus a metano vengono considerati come se dovessero rispettare gli stessi limiti dei veicoli a benzina, anche perché la normativa è calibrata in questa maniera.

Grazie alla ricerca delle schede tecniche degli autobus circolanti a Torino, effettuata sia sul sito della GTT [40] che su quello della Mercedes [41], si sono trovate le emissioni di ogni singolo autobus e, grazie al seguente procedimento, si sono convertite in g/km.

Si ricorda che si prende il 70% della potenza massima dell'autobus in questione [39] e si considerano 20 ore di funzionamento per ogni singola linea di autobus per il calcolo della potenza media in kWh, visto che i passaggi sono distribuiti da inizio servizio (generalmente le cinque del mattino) fino al completamento delle corse (generalmente l'una di notte):

$$km \text{ al giorno } 1 \text{ bus} = \sum_{Linea=1}^{14} km \text{ al giorno}_{linea} \cdot \frac{N^{\circ}Passaggi \text{ al giorno}_{linea}}{N^{\circ}Passaggi \text{ al giorno totali}}$$

$$Emissioni \text{ NOx(PM10)} \left[\frac{kg}{km} \right] = \frac{Emissioni \text{ Specifiche} \left[\frac{g}{kWh} \right] \cdot Potenza \text{ Media} [kWh]}{1000 \cdot km \text{ al giorno } 1 \text{ bus}}$$

4.5 Confronto tra gli Scenari “di base” del Quartiere

Prima di passare al confronto vero e proprio tra gli scenari che sono stati presentati per l’evoluzione della mobilità del quartiere, si mostra una tabella dove sono presenti i dati chilometrici suddivisi per ogni linea passante nel quartiere. I km annui del 2018 sono stati calcolati, per ogni linea, moltiplicando il numero di passaggi per i km percorsi nel quartiere, mentre i km annui degli altri scenari sono stati calcolati moltiplicando i km dello scenario 2018 per la percentuale di incremento dei km dei seguenti scenari, evidenziati con colori diversi per accentuare la differenza tra di loro.

Per quanto riguarda la tabella seguente, c’è da dire che le linee di autobus evidenziate in blu sono quelle con un percorso breve al di fuori del tratto effettuato nel quartiere, mentre quelle evidenziate in giallo scuro sono quelle che hanno un percorso medio [20].

Tutto ciò per poter avere un criterio di elettrificazione delle seguenti linee negli scenari Futuro e Futuro-2, poiché nello scenario intermedio si è pensato di elettrificare soltanto la linea 47, utilizzando gli autobus BYD, i quali sono meno costosi dell’altra alternativa, che però garantisce maggiore autonomia e durabilità nel tempo.

Tabella 20: Dettaglio dei km annui percorsi da ogni linea passante nel quartiere, suddivisi per i 4 scenari considerati

Autobus presenti a San Salvario	km/anno 2018	km/anno Scenario Int.	km/anno Scenario Futuro	km/anno Scenario Futuro-2
Linea 67	141.912	212.868	283.824	354.780
Linea 1	123.188	184.781	246.375	307.969
Linea 35	146.183	219.274	292.365	365.456
Linea 18	216.810	325.215	433.620	542.025
Linea 42	74.022	111.033	148.044	185.055
Linea 66	29.784	44.676	59.568	74.460
Linea 33	43.435	65.153	86.870	108.588
Linea 52	47.523	71.285	95.046	118.808
Linea 47	16.754	25.130	33.507	41.884
Linea 61	26.682	40.022	53.363	66.704
Linea 68	36.099	54.148	72.197	90.246
Linea 34	16.206	24.309	32.412	40.515
Linea 17	24.820	37.230	49.640	62.050
Linea 17 /	19.856	29.784	39.712	49.640
Totale (14 Linee)	963.272	1.444.907	1.926.543	2.408.179

Per calcolare le emissioni annue degli autobus sia di CO2 che degli inquinanti primari, bisogna effettuare questa operazione per tutte le 14 linee e poi sommare i dati di ogni linea tra loro:

$$Emissioni\ CO_2 \left[\frac{kg}{anno} \right] = \sum_{linea=1}^{14} km\ annui_{linea} \cdot Emissioni\ CO_2_{linea} \left[\frac{kg}{km} \right]$$

$$Emissioni\ NO_x\ (PM) \left[\frac{kg}{anno} \right] = \sum_{linea=1}^{14} km\ annui_{linea} \cdot Emissioni\ NO_x(PM)_{linea} \left[\frac{kg}{km} \right]$$

Nella tabella seguente sono riassunti i risultati del calcolo delle emissioni prodotte dagli **autobus** circolanti nel quartiere. Si possono fare le seguenti considerazioni:

1. Nonostante la poca elettrificazione prevista per lo **Scenario Intermedio**, evidenziato in giallo nella tabella, confrontando i dati con lo scenario di riferimento si può notare come, a fronte di un aumento del 50% dei km percorsi, si ha un aumento del 32% delle emissioni di CO2, poiché aumentano i km percorsi e il consumo di carburante degli autobus, il quale è strettamente legato a queste emissioni.
Invece, con la modernizzazione del parco veicoli presentata nel paragrafo 4.4.2, si è ottenuta una minima riduzione del PM-2,5 e una riduzione rispettivamente del **60%** e del **48,5%** delle emissioni annue di NO-x e di PM-10;
2. Per quanto riguarda lo **Scenario Futuro**, è prevista un'elettrificazione molto spinta del parco autobus (cfr. paragrafo 4.4.3), fondamentalmente lasciando gli autobus a metano sulle tratte particolarmente lunghe e sostituendo tutti gli altri mezzi con versioni alimentate solo con l'energia elettrica, per migliorare la qualità dell'aria e ridurre le emissioni.
Come nello scenario precedente, a causa dell'aumento dei km rispetto agli altri scenari, si ha un aumento delle emissioni di CO2 del 10% rispetto allo scenario 2018, il quale è un aumento molto ridotto se confrontato con l'incremento dei km percorsi, mentre si ha una riduzione del 17% delle stesse emissioni rispetto allo scenario intermedio. Riguardo le emissioni di inquinanti primari, visto che le architetture elettriche non hanno emissioni di questo genere, il loro peso è riferito soltanto al 35% di autobus CNG che circolano nel quartiere e si ottiene questa situazione, rispetto agli **scenari 2018 e intermedio**:
 - Riduzione **dell'87%** e del **68%** delle emissioni di NO-x;
 - Riduzione **dell'86%** e del **72%** delle emissioni di PM-10;
 - Riduzione **del 52%** delle emissioni di PM-2,5 rispetto ai due scenari;
3. Per lo **Scenario Futuro-2**, visto che è un'alternativa dello scenario Futuro e poiché viene ricavato da questo scenario, si è pensato di lasciare invariata la suddivisione degli autobus per alimentazione, ma si sono aumentati i km percorsi per poter soddisfare la ripartizione modale della mobilità (con conseguente aumento del 25% della CO2

prodotta), che verrà presentata nel capitolo successivo, e si è arrivati ad avere una situazione del genere:

- Aumento del 25%, ma riduzione **dell'84%** e **del 60%** delle emissioni di NO-x;
- Aumento del 26%, ma riduzione **dell'82%** e **del 65%** delle emissioni di PM-10;
- Aumento del 26%, ma riduzione **del 39%** delle emissioni di PM-2,5.

Tabella 21: Sintesi dei risultati ottenuti dal calcolo delle emissioni degli autobus

Confronto Autobus	Scenario 2018	Scenario Int.	Scenario Futuro	Scenario Fut-2
Percentuale Autobus Diesel	70%	60%	0%	0%
Percentuale Autobus CNG	30%	35%	35%	35%
Percentuale Autobus BEV	0%	5%	65%	65%
N° Autobus circolanti	97	146	194	243
Autobus per km [vkm]	6	8	11	13
Km Anni percorsi	963.272	1.444.907	1.926.543	2.408.179
Incremento Km Percorsi (2018)	0%	50%	100%	150%
Emissioni CO2 [kg/anno]	1.402.146	1.854.309	1.535.287	1.919.109
Emissioni NO-x [kg/anno]	17.888	7.213	2.309	2.886
Emissioni PM-10 [kg/anno]	268	138	38	48
Emissioni PM-2,5 [kg/anno]	94	93	45	57

Per il calcolo delle emissioni di CO2 e degli inquinanti primari **delle automobili**, bisogna calcolare tutte le emissioni riferite all'alimentazione della vettura, cioè calcolare le emissioni di tutte le autovetture diesel-benzina-PHEV-HEV-BEV, e poi bisogna sommarle tra loro. Il procedimento è il seguente:

$$Emissioni\ CO_2 \left[\frac{kg}{anno} \right] = \sum_{comb.=benzina}^{elettrico(BEV)} km\ al\ giorno_{comb.} \cdot Emissioni\ CO_2_{comb.} \left[\frac{g}{km} \right] \cdot \frac{365}{1000}$$

$$Emissioni\ NO_x(PM) \left[\frac{kg}{anno} \right] = \sum_{comb.=benz.}^{elettrico(BEV)} \frac{km}{giorno}_{comb.} \cdot Emissioni\ NO_x(PM)_{comb.} \left[\frac{g}{km} \right] \cdot \frac{365}{1000}$$

Nella tabella seguente sono riassunti i risultati del calcolo delle emissioni prodotte dalle automobili circolanti nel quartiere. Si può dire che la percentuale di riduzione delle emissioni è stata calcolata sulla media delle automobili suddivise per normativa antinquinamento e dopo questi dati sono stati combinati con quelli delle automobili suddivise per tipologia di alimentazione.

È importante fare questa premessa, poiché la riduzione sulla flotta totale di autovetture circolanti sarà maggiore rispetto alla percentuale indicata in tabella, visto che su questo dato hanno agito contemporaneamente l'introduzione dei tecnologie meno inquinanti e la riduzione dei km percorsi. Infatti, si possono fare le seguenti considerazioni:

1. Confrontando i dati dello **Scenario Intermedio** con quelli dello scenario 2018, si può notare come, oltre alla riduzione dei km percorsi e del numero di automobili, aumenti la percentuale del car-sharing sul numero di auto circolanti (che è una percentuale diversa rispetto a quella che si indicherà nella ripartizione modale della mobilità) e ciò sarà un punto di contatto tra i 3 scenari di mobilità futura; in questo caso, grazie all'aumento considerevole di veicoli HEV, PHEV e BEV, che vanno a rimpiazzare quelli alimentati a benzina e a gasolio, si ha la seguente situazione riguardante le emissioni rispetto allo **scenario 2018**:
 - Riduzione **del 69%** delle emissioni di CO₂;
 - Riduzione **del 73%** delle emissioni di NO_x;
 - Riduzione **del 69%** delle emissioni di PM-10;
 - Riduzione **del 54%** delle emissioni di PM-2,5.

2. Per quanto riguarda lo **Scenario Futuro**, essendo uno scenario improntato sul lungo periodo riguardo la situazione del quartiere, si avrà un incremento importante dei veicoli PHEV e BEV, i quali sostituiranno i veicoli con alimentazione convenzionale per contribuire alla riduzione delle emissioni; infatti, si avrà una contrazione di questa voce, rispettivamente confrontando i dati con quelli dello **scenario 2018** e con **quello Intermedio**:
 - Riduzione **del 95%** e **dell'85%** delle emissioni di CO₂;
 - Riduzione **del 90%** e **del 64%** delle emissioni di NO_x;
 - Riduzione **del 95%** e **dell'83%** delle emissioni di PM-10;
 - Riduzione **dell'87%** e **del 72%** delle emissioni di PM-2,5.

3. Lo **Scenario Futuro-2**, essendo una stretta derivazione dello scenario Futuro, differisce da quest'ultimo per un ulteriore incremento della percentuale del car-sharing e per una riduzione dei km percorsi e del numero delle auto, senza andare a modificare le percentuali delle autovetture circolanti (vedere paragrafo 4.4.3 e 4.4.4). Quindi, confrontandolo rispettivamente con lo scenario *Futuro*, **Intermedio** e **2018**, si avrà una situazione di questo tipo:
 - Riduzione *del 33%*, **del 90%** e **del 97%** delle emissioni di CO₂;
 - Riduzione *del 33%*, **del 76%** e **del 93%** delle emissioni di NO_x;
 - Riduzione *del 33%*, **dell'89%** e **del 97%** delle emissioni di PM-10;
 - Riduzione *del 33%*, **dell'81%** e **del 91%** delle emissioni di PM-2,5.

Tabella 22: Sintesi dei risultati ottenuti dal calcolo delle emissioni delle automobili

Confronto Automobili	Scenario 2018	Scenario Int.	Scenario Futuro	Scenario Fut-2
Auto per km [vkm]	706	565	424	283
Percorrenza Giornaliera [km]	136.702	109.362	82.021	54.681
Numero Auto Quartiere	26.099	20.879	15.659	10.439
Riduzione Km e Numero Auto (2018)	0%	20%	40%	60%
Percentuale Car Sharing su N°Auto	0,34%	20%	40%	60%
Riduzione Emissioni (2018)	0%	45%	80%	80%
Emissioni CO2 [kg/anno]	8.626.489	2.638.184	395.703	263.802
Emissioni NO-x [kg/anno]	13.663	3.682	1.324	883
Emissioni PM-10 [kg/anno]	967	299	49	33
Emissioni PM-2,5 [kg/anno]	1045	478	133	89

Per il calcolo delle emissioni di CO2 e degli inquinanti primari dei **mezzi pesanti**, bisogna calcolare tutte le emissioni riferite all'alimentazione del veicolo, cioè calcolare le emissioni di tutti gli heavy-duty diesel-benzina-PHEV-HEV-BEV, e poi bisogna sommarle tra loro. Il procedimento è il seguente:

$$Emissioni\ CO2\ \left[\frac{kg}{anno}\right] = \sum_{comb.=diesel}^{elettrico(BEV)} km\ al\ giorno_{comb.} \cdot Emissioni\ CO2_{comb.} \left[\frac{kg}{km}\right] \cdot 365$$

$$Emissioni\ NOx(PM) \left[\frac{kg}{anno}\right] = \sum_{comb.=diesel}^{elettrico(BEV)} km\ al\ giorno_{comb.} \cdot Emissioni\ NOx(PM)_{comb.} \left[\frac{g}{km}\right] \cdot \frac{365}{1000}$$

Nella tabella seguente sono riassunti i risultati del calcolo delle emissioni prodotte dagli heavy-duty circolanti nel quartiere. Si può dire che la percentuale di riduzione delle emissioni è stata calcolata sulla media dei mezzi pesanti, suddivisi per normativa antinquinamento e dopo questi dati sono stati combinati con quelli degli stessi mezzi, suddivisi per tipologia di alimentazione.

È importante fare questa premessa, poiché la riduzione sulla flotta totale di heavy-duty circolanti sarà maggiore rispetto alla percentuale indicata in tabella, visto che su questo dato hanno agito contemporaneamente l'introduzione dei tecnologie meno inquinanti e la riduzione dei km percorsi, il cui decremento è inferiore rispetto a quello delle auto. Infatti, si possono fare le seguenti considerazioni:

1. Confrontando i dati dello **Scenario Intermedio** con quelli dello scenario 2018, si può notare come, oltre alla riduzione dei km percorsi e del numero di automobili, aumenti la percentuale del car-sharing sul numero di auto circolanti (che è una percentuale diversa rispetto a quella che si indicherà nella ripartizione modale della mobilità) e ciò sarà un punto di contatto tra i 3 scenari di mobilità futura; in questo caso, grazie all'aumento considerevole di veicoli HEV, PHEV e BEV, che vanno a rimpiazzare quelli alimentati a benzina e a gasolio, si ha la seguente situazione riguardante le emissioni rispetto allo **scenario 2018**:
 - Riduzione **del 57%** delle emissioni di CO₂;
 - Riduzione **del 69%** delle emissioni di NO-x;
 - Riduzione **del 54%** delle emissioni di PM-10;
 - Riduzione **del 59%** delle emissioni di PM-2,5.

2. Per quanto riguarda lo **Scenario Futuro**, essendo uno scenario improntato sul lungo periodo riguardo la situazione del quartiere, si avrà un incremento importante dei veicoli PHEV e BEV, i quali sostituiranno i veicoli con alimentazione convenzionale per contribuire alla riduzione delle emissioni; infatti, si avrà una contrazione di questa voce, rispettivamente confrontando i dati con quelli dello **scenario 2018** e con **quello Intermedio**:
 - Riduzione **dell'89%** e **del 75%** delle emissioni di CO₂;
 - Riduzione **del 95%** e **dell'84%** delle emissioni di NO-x;
 - Riduzione **dell'85%** e **del 67%** delle emissioni di PM-10;
 - Riduzione **dell'88%** e **del 72%** delle emissioni di PM-2,5.

3. Lo **Scenario Futuro-2**, essendo una stretta derivazione dello scenario Futuro, differisce da quest'ultimo per un ulteriore incremento della percentuale del car-sharing e per una riduzione dei km percorsi e del numero delle auto, senza andare a modificare le percentuali delle autovetture circolanti (vedere paragrafo 4.4.3 e 4.4.4). Quindi, confrontandolo rispettivamente con lo scenario *Futuro*, **Intermedio** e **2018**, si avrà una situazione di questo tipo:
 - Riduzione *del 28%*, **dell'82%** e **del 92%** delle emissioni di CO₂;
 - Riduzione *del 28%*, **dell'88%** e **del 96%** delle emissioni di NO-x;
 - Riduzione *del 28%*, **del 76%** e **dell'89%** delle emissioni di PM-10;
 - Riduzione *del 28%*, **dell'80%** e **del 92%** delle emissioni di PM-2,5.

Tabella 23: Sintesi dei risultati ottenuti dal calcolo delle emissioni degli heavy-duty

Confronto Heavy-Duty	Scenario 2018	Scenario Int.	Scenario Futuro	Scenario Fut-2
Heavy-Duty per km [vkm]	71	64	50	36
Percorrenza Giornaliera Heavy-Duty	17.728	15.955	12.410	8.864
Numero Heavy-Duty Quartiere	2.610	2.349	1.827	1.305
Riduzione Km percorsi e numero H-D	0%	10%	30%	50%
Emissioni CO2 [kg/anno]	3.242.890	1.397.764	346.660	247.614
Emissioni NO-x [kg/anno]	17.904	5.457	890	636
Emissioni PM-10 [kg/anno]	888	413	135	97
Emissioni PM-2,5 [kg/anno]	649	263	73	52

CAPITOLO 5: Valutazione delle Alternative di Intervento

Nel capitolo precedente sono stati presentati gli scenari di mobilità attuale e futura che caratterizzeranno il quartiere di San Salvario, divisi per tipologia di mezzo di trasporto. Si è dato molto risalto al calcolo delle emissioni di inquinanti primari (Particolato e NO-x) e secondari (CO₂), poiché lo scopo primario di questa tesi è quello di trovare vie alternative al blocco della circolazione delle automobili nella città di Torino, puntando tantissimo sul car-sharing e sull'intensificazione del trasporto pubblico, utile a ridurre l'uso dell'automobile privata e, di conseguenza, ad evitare i blocchi della circolazione.

Bisogna tenere a mente che, come spiegato abbondantemente nei primi capitoli di questo elaborato, non tutte le emissioni di inquinanti sono prodotte dalla mobilità, ma bisogna sensibilizzare e investire tante risorse per l'innovazione tecnologica e la sostituzione di sistemi di riscaldamento delle abitazioni private, oltre ad usare il buon senso per quanto riguarda la temperatura da tenere negli edifici (scuole, uffici comunali/regionali, poste, banche, supermercati, centri commerciali, etc) e nei negozi che popolano il centro città.

Inoltre, va precisato che bisogna iniziare ad informare la popolazione riguardo i cambiamenti climatici e i loro effetti catastrofici, per cercare di ridurre quanto più possibile il riscaldamento globale e l'inquinamento generale del pianeta, che non coincide soltanto con l'innalzamento delle temperature, ma riguarda anche altri aspetti.

Per incentivare lo sviluppo delle misure di efficienza energetica e della sostenibilità è importante che all'interno delle analisi vengano considerati anche i benefici e gli impatti che esse possono produrre. Ad esempio, è importante considerare la riduzione degli incidenti, del traffico e del rumore acustico, conseguente alla riduzione dei km percorsi da autovetture e mezzi pesanti, oltre all'introduzione di nuovi veicoli più silenziosi e meno inquinanti.

È proprio in questi ambiti che si avranno i migliori progressi, visto che San Salvario è un quartiere che si trova in una zona centrale di Torino ed è importante garantire un futuro in cui sia presente un'immagine silenziosa, pulita ed ecologica del quartiere.

Infatti le misure politiche possono portare benefici sotto l'aspetto sociale, economico e ambientale, che attribuiscono un valore aggiunto alle strategie. Tuttavia il sistema urbano, già complesso per i diversi e numerosi sistemi che comprende al suo interno, è composto anche da diverse figure che lo governano e che lo vivono in prima persona.

Ognuna di esse ha diversi interessi per quanto riguarda la modifica del quartiere e della città, perciò sono necessarie delle metodologie che possano in qualche modo essere oggettive per la scelta della migliore alternativa di trasformazione.

Nel seguente capitolo verrà analizzata nel dettaglio la struttura dell'Analisi Costi-Benefici, spiegando le differenze tra le due tipologie che verranno effettuate in questo lavoro (finanziaria ed economica). L'analisi costi-benefici è diventata oggi lo strumento obbligatorio, ai fini dell'accesso ai Fondi Strutturali Europei, i quali permettono il co-finanziamento di programmi e progetti di grandi dimensioni (50 milioni, 10 milioni, 5 milioni di euro, a seconda della tipologia di fondo considerata) che presentano determinate caratteristiche di sostenibilità economico-sociale. Gli stati membri sono responsabili della valutazione ex ante, poi spetta alla Commissione Europea giudicare i risultati della valutazione e, di conseguenza, l'ammissione al cofinanziamento.

5.1 Metodologia della Valutazione: l'Analisi Costi-Benefici

Secondo la definizione recentemente fornita da Amartya Sen (2000), per analisi costi-benefici s'intende qualsiasi analisi che, a prescindere dalle tecniche adottate, "sia basata sull'idea che sia utile intraprendere un'attività solo nel caso in cui i benefici siano superiori ai costi e che permetta di sommare costi e benefici, valutando tutte le conseguenze dell'attività in esame, senza il ricorso a norme o principi etici". [1]

L'analisi Costi-Benefici viene utilizzata per due principali ragioni, ossia:

- Per valutare se un progetto risulta conveniente e quindi rappresenta un buon investimento per l'area interessata;
- Per considerare l'impatto sull'area interessata di diverse variazioni di progetto (o più progetti che possono essere alternativi tra loro) nel modo più oggettivo possibile e scegliere quella che risulta migliore.

Essa permette perciò di valutare uno o più progetti dal punto di vista economico, monetizzando anche i benefici che possono essere conseguiti grazie ad un determinato intervento. Nel caso del seguente lavoro i benefici saranno provocati dal risparmio delle emissioni di inquinanti primari e secondari e dalla riduzione dei km percorsi dalle autovetture o dai mezzi pesanti e saranno valutati rispetto ad uno scenario di riferimento.

Quindi si possono considerare come benefici di un progetto qualsivoglia risorsa positiva prodotta o risorsa negativa risparmiata grazie all'adozione del progetto. Inoltre, il concetto di beneficio è più ampio e si differenzia dalla definizione di ricavo finanziario proprio perché si può considerare al suo interno una o più componenti che esulano dalla definizione di "cash-flow" [2]. L'obiettivo di questa analisi è la massimizzazione del beneficio netto, cercando di ridurre quanto più possibile i costi del progetto.

Possono essere realizzate due tipologie di analisi, **finanziaria** e **economica**. La differenza tra le due è che nella prima il calcolo è effettuato dal punto di vista dell'investitore (che può rappresentare un privato, un'azienda o, come in questo caso, un ente pubblico), mentre nella seconda si riferisce a tutta la collettività che beneficia di un progetto.

Gli obiettivi di queste analisi sono quindi differenti, poiché nella prima si cerca di massimizzare il profitto dell'entità che ha intenzione di realizzare il progetto, mentre nella seconda si cerca di massimizzare il benessere sociale di tutta la collettività. Per il caso studio verranno effettuate entrambe le tipologie di analisi, cercando di dare maggiormente risalto a quella economica, visto che si sta parlando di un argomento molto importante per la collettività e per l'intera vita del quartiere in esame.

Durante i consigli d'amministrazione di una società, per analizzare la convenienza di un progetto rispetto ad un altro si usa l'analisi finanziaria, poiché dal punto di vista degli investitori è fondamentale cercare di rientrare dei costi sostenuti entro un certo limite temporale, oltre ad analizzare la redditività dello stesso progetto. Dopo questa valutazione, si calcolano i flussi di cassa che sono causati dall'esecuzione del progetto, ovviamente attualizzati in base all'anno considerato, cercando di massimizzare il profitto.

L'analisi economica rappresenta un processo di integrazione di quella finanziaria. Consiste nella "rettifica" dei valori di costo e ricavo in componenti economico-sociali di costo-beneficio. I prezzi di mercato dei fattori devono essere trasformati in costo-opportunità delle risorse, vale a dire nel valore che esse possono rappresentare nel loro miglior impiego alternativo possibile. Ai ricavi, invece, va aggiunto quanto prodotto o risparmiato per effetto della realizzazione del progetto, cosa che all'amministratore delegato di un'azienda può interessare poco.

Nella valutazione economica il punto di vista non è più quello del singolo investitore ma diventa riferito all'intera collettività. Il passaggio essenziale consiste quindi nella trasformazione dei prezzi di mercato in prezzi ombra, i quali rispecchiano il valore sociale della risorsa o del bene impiegato/prodotto.

Una volta individuati gli effetti dell'intervento, positivi e negativi, diretti e indiretti, occorre esprimerli in una qualche unità di misura omogenea per permetterne l'aggregazione. Nell'analisi costi-benefici questo è fatto attraverso la loro *monetizzazione*, cioè il calcolo del loro valore monetario. Questo costituisce anche uno dei tratti distintivi dell'analisi costi-benefici.

Questa pretesa di "voler mettere un prezzo su ogni cosa", anche a "beni di valore assoluto (ad esempio, la vita, l'incolumità, la salute, l'ambiente naturale) che non hanno un prezzo di mercato, e dei quali si dice in effetti che sono senza prezzo" [3] è anche uno degli aspetti controversi della metodologia, la quale rimane, però, un punto fermo della valutazione oggettiva della convenienza dell'esecuzione di un progetto piuttosto che un altro. L'analisi si compone delle fasi che sono espresse nello schema di Figura 67 [4].

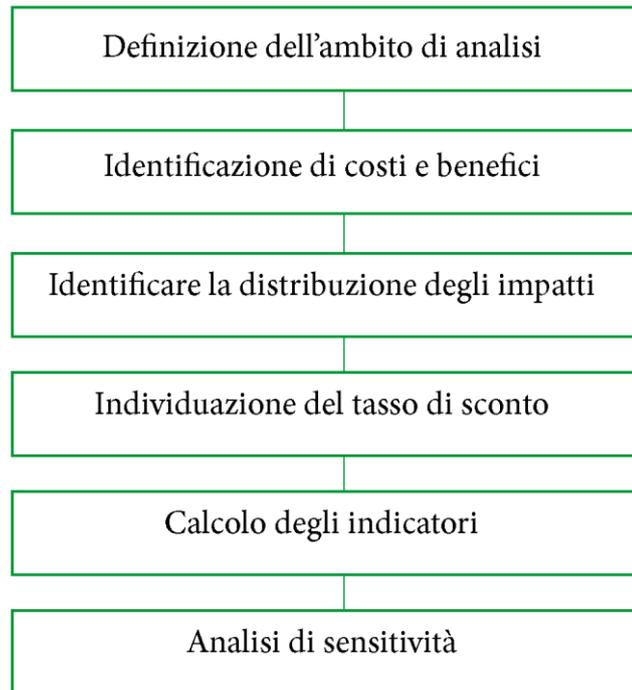


Figura 66: Azioni che si devono effettuare per poter avere un'analisi costi-benefici affidabile. Fonte: "Cost-benefit analysis methodology" – PAHO (2019)

Per prima cosa, in un'analisi costi-benefici corretta, è necessario definire le opzioni da considerare e l'ambito dell'analisi. I due concetti sono banalmente collegati tra loro, poiché, ad esempio, in un'analisi riferita alla mobilità non si andrà a considerare l'impatto della rigenerazione dei rifiuti e, viceversa, in una valutazione riferita alla valorizzazione dei rifiuti non si considera l'impatto delle emissioni delle autovetture. Inoltre, i costi e i benefici devono essere confrontati rispetto ad un'alternativa di riferimento, che può essere rappresentata dallo stato di fatto, che in questo lavoro è rappresentato dallo Scenario 2018.

Dopo aver fatto ciò, si deve valutare la lunghezza dell'orizzonte temporale, che rappresenta gli anni in cui i costi e i benefici devono essere analizzati. Essa dipende dalla natura e dalla tipologia dell'investimento e può, ad esempio, essere considerato pari alla vita utile del bene, oppure pari ad un orizzonte temporale definito da un organo superiore, quale può essere la Comunità Europea. Infine, è fondamentale definire l'ambito geografico in cui viene effettuata l'analisi, poiché può variare completamente l'esito finale di quest'ultima.

La seconda fase consiste nel capire tutti gli effetti che l'intervento produrrà in ogni periodo, sia in termini di risorse da investire per la sua realizzazione, sia in termini di effetti positivi e negativi derivanti dallo stesso, in maniera diretta e indiretta.

Ogni costo e ogni beneficio deve essere correttamente analizzato e preventivato in base al periodo di riferimento e in base alle fonti prese in considerazione, per avere dei prezzi di mercato da cui poter calcolare i benefici finanziari ed economici.

Questi vanno definiti in termini monetari, per poter essere comparati sullo stesso piano ed ottenere una valutazione il più possibile oggettiva e questi termini servono per attribuire un costo-opportunità ai valori che non sono esprimibili in origine con unità monetarie.

Le esternalità solitamente sono valutate in termini monetari secondo il concetto della disponibilità a pagare/accettare per determinate azioni. La disponibilità a pagare è la somma massima che un individuo sarebbe disposto a pagare. Viene valutata tramite indagini campionarie, mercati simulati attraverso la valutazione contingente, oppure viene dedotta dai comportamenti degli individui come il metodo dei costi di viaggio o il metodo dei prezzi edonici.

Il primo elemento che determina la fattibilità di un progetto è la sua sostenibilità da un punto di vista finanziario: i flussi di cassa in entrata, opportunamente attualizzati, devono riuscire a coprire interamente tutti i costi di investimento, a meno che non possano intervenire finanziamenti provenienti da realtà esterne all'investitore, che coprano il disavanzo finanziario. In caso contrario il progetto può essere tecnicamente fattibile ma finanziariamente non sostenibile [2]. L'obiettivo dell'analisi finanziaria sarà, pertanto, quello di garantire in ciascuna fase del ciclo di vita del progetto le condizioni di equilibrio finanziario e di determinare il risultato economico a prezzi di mercato.

I costi che possono essere riferiti ad un progetto si possono dividere nelle seguenti categorie:

1. Costo d'investimento;
2. Costi operativi;
3. Costi di manutenzione;
4. Costi di sostituzione;
5. Valore residuo.

Possono essere presenti anche ulteriori costi, in funzione della tipologia di progetto che deve essere valutato.

Avendo dei valori monetari riferiti a diversi anni, per compararli è necessario che siano portati tutti allo stesso periodo, altrimenti questi non si possono considerare sullo stesso piano, poiché un investimento effettuato all'inizio dell'analisi non ha lo stesso peso di un altro compiuto verso la fine. Per fare questo i benefici e i costi devono essere attualizzati e portati tutti all'anno da cui parte l'investimento.

Questa operazione viene eseguita attraverso il tasso di sconto, anche detto tasso di interesse che considera il valore dei soldi nel tempo e il rischio/incertezza di anticipare futuri flussi di cassa [5]. L'operazione di sconto ha da sempre rappresentato una tematica controversa nell'ambito della valutazione degli investimenti pubblici, dal momento che implica una distorsione nei confronti delle generazioni future e può essere frutto di diverse interpretazioni, motivo per cui un'ACB non si può mai considerare al 100% oggettiva.

La formula dell'attualizzazione è la seguente:

$$V_t = \frac{1}{(1+r)^t}$$

Dove:

V_t = Fattore di Attualizzazione;

r = tasso di sconto;

t = numero di anni che rappresentano la durata dell'analisi; si precisa che il valore di attualizzazione viene calcolato per ogni anno dell'analisi, a partire dall'anno successivo a quello di riferimento fino alla fine dell'orizzonte temporale dell'ACB.

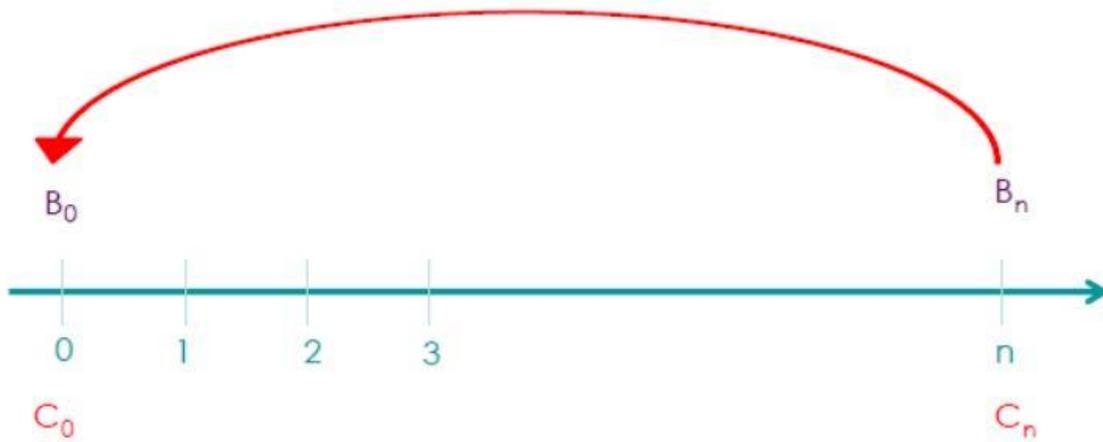


Figura 67: Rappresentazione schematica del significato di attualizzazione di un beneficio o di un costo nell'ACB. Fonte: "Valutazioni di Impatto Ambientale" - Giulio Mondini, Marta Carla Bottero

I tassi di sconto utilizzati nei progetti di sviluppo sostenibile sono normalmente compresi tra lo 0 -10%, ma quelli più plausibili sono compresi tra 3-5% [6]. Per le analisi riferite ai settori del trasporto o della mobilità in generale, si consiglia di assumere come tasso di sconto un valore pari al 4%, come dichiarato dalla Commissione Europea [7].

È un'abitudine ormai consolidata quella che, nella costruzione delle analisi costi-benefici, prevede l'introduzione di un tasso di sconto costante per tutto l'orizzonte temporale (in questo caso trent'anni), ma il limite di quest'approccio, per quanto possa essere riconosciuto in maniera quasi univoca dagli operatori del settore, è che stabilisce un criterio fisso di attribuzione del valore che la società attribuisce ai benefici di diverse generazioni di utenti.

Nel caso in analisi si potrebbe pensare di usare un tasso di sconto differente in ciascuno dei periodi considerati, ogni volta che si manifesta un cambiamento nello sviluppo dei costi e dei benefici [8], ma ciò non viene effettuato perché si discosterebbe troppo dall'obiettivo primario del seguente lavoro di tesi.

La successiva fase consiste nel calcolo dei flussi di cassa (cash-flow) e nella valutazione dell'alternativa più conveniente dal punto di vista finanziario e da quello economico. Per poter compiere questo passo, esiste il calcolo di tre indicatori, che valutano esattamente il parametro della convenienza dell'ACB di uno scenario, valutato rispetto alla condizione di riferimento:

1. Rapporto Benefici-Costi (B/C) o Ricavi-Costi (R/C)

Come si può evincere dalla sua denominazione, questo indicatore esprime il rapporto tra benefici/ricavi e costi. La convenienza economica o finanziaria è ottenuta quando si hanno valori maggiori a 1 e l'alternativa migliore tra quelle da considerare è quella con il valore più alto. Esso si può scrivere in questo modo:

$$\frac{R}{C} = \frac{\sum_{i=t}^T \frac{R_i}{(1+r)^t}}{\sum_{i=t}^T \frac{C_i}{(1+r)^t}} \rightarrow \text{Analisi Finanziaria}$$

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum_{i=t}^T \frac{B_i}{(1+r)^t}}{\sum_{i=t}^T \frac{C_i}{(1+r)^t}} \rightarrow \text{Analisi Economica}$$

Dove:

R_i = Ricavi finanziari del progetto (cash-flow);

B_i = Benefici del progetto, che includono al loro interno anche i Ricavi finanziari;

C_i = Costi del progetto;

T = Numero di anni per cui viene effettuata l'analisi (in questo caso $T = 30$ anni).

Se i valori ottenuti sono inferiori a 1, significa che i costi superano i benefici, in termini economici o finanziari e che il progetto non è conveniente. Maggiore è questo indicatore, maggiore sarà la convenienza di un progetto rispetto ad un altro ed esso è direttamente proporzionale al VAN. Inoltre, è bene specificare che questo indicatore, allo stesso modo del TIR che verrà citati più avanti, non si potrà calcolare se il VAN dell'analisi economica o finanziaria è negativo.

2. Valore Attuale Netto (VAN)

Valuta in termini assoluti i benefici, sottraendo a loro i costi che si verificano durante l'arco di tempo considerato. La determinazione del VAN è basata sull'attualizzazione, vale a dire sulla definizione di un valore attuale dato dalla sommatoria dei flussi (benefici meno costi) generati dall'investimento e scontati al tempo iniziale. Un progetto risulta conveniente quando il VAN è positivo e l'alternativa più conveniente risulta essere quella con il valore più alto. Anche in questo caso, come per l'indicatore precedente, ci sono due forme per le due tipologie di analisi:

$$VAN = \sum_{i=t}^T \frac{R_i}{(1+r)^t} - \sum_{i=t}^T \frac{C_i}{(1+r)^t} = \sum_{i=t}^T \frac{R_i - C_i}{(1+r)^t} \rightarrow \text{Analisi Finanziaria}$$

$$VAN = \sum_{i=t}^T \frac{B_i}{(1+r)^t} - \sum_{i=t}^T \frac{C_i}{(1+r)^t} = \sum_{i=t}^T \frac{B_i - C_i}{(1+r)^t} \rightarrow \text{Analisi Economica}$$

Se ..	Significa che ...	Allora ...
VAN = 0	I benefici attualizzati sono uguali ai costi attualizzati	La decisione è indifferente
VAN > 0	I benefici attualizzati sono maggiori dei costi attualizzati	Il progetto risulta accettabile
VAN < 0	I benefici attualizzati sono minori dei costi attualizzati	Il progetto risulta non accettabile

Figura 68: Tabella che riassume l'indicatore VAN Economico e la relazione con la convenienza ad effettuare o meno un progetto. Fonte: "Valutazioni di Impatto Ambientale" - Giulio Mondini, Marta Carla Bottero

3. Tasso Interno di Rendimento (TIR)

Il TIR rappresenta il valore del tasso di sconto (r), per il quale il VAN è pari a 0, cioè che rende equivalenti i flussi positivi e negativi di un intervento. È un indicatore che è misura la redditività, quindi i progetti con il più alto TIR sono quelli da preferire. Inoltre, per poter validare un progetto, il tasso di sconto deve essere almeno inferiore al TIR. Anche in questo caso sono presenti due forme relative ai due modelli di ACB considerati:

$$0 = \sum_{i=t}^T \frac{R_i - C_i}{(1+r^*)^t} \rightarrow r^* = \text{TIR Finanziario}$$

$$0 = \sum_{i=t}^T \frac{B_i - C_i}{(1+r^*)^t} \rightarrow r^* = \text{TIR Economico}$$

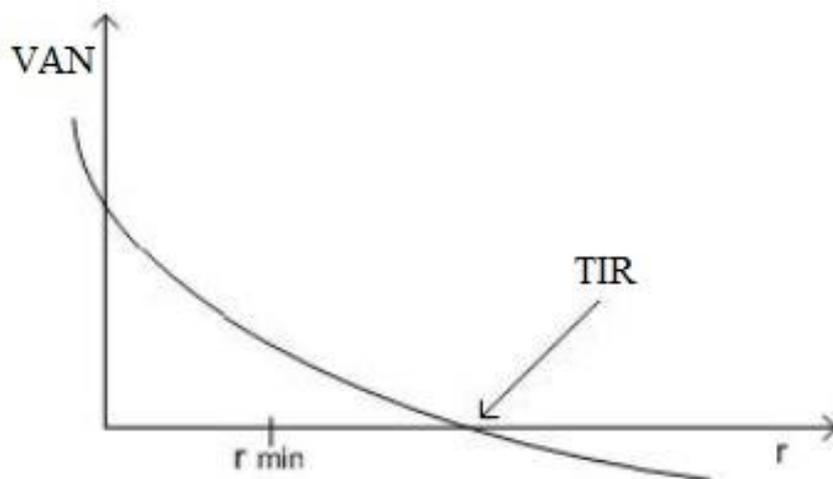


Figura 69: Rappresentazione dell'andamento del VAN di un progetto in base alla variazione del tasso di sconto (r). Fonte: “La Valutazione Dei Progetti Secondo Il Metodo Dell’analisi Costi Benefici” – Matteo Zanetti

Infine, per rendere maggiormente affidabile un’ACB e quindi per determinare la sua robustezza, è preferibile effettuare un’analisi di sensitività, la quale consiste nella variazione di alcuni parametri dell’ACB, poiché questi ultimi possono essere soggetti ad alcune variazioni nel corso degli anni. Se il rapporto B/C (o R/C) non varia troppo, espresso in percentuale rispetto al valore di partenza, allora si può dichiarare che l’ACB è robusta.

L’analisi di sensitività si può applicare anche a più variabili, di cui non si ha la certezza che esso siano corrette, ma si è a conoscenza entro quale range debbano essere comprese, e questa tipologia viene comunemente definita analisi di scenario. In questo lavoro, si è preferito effettuare un’analisi di sensitività più “classica”, vale a dire che si è modificata una sola variabile per volta.

L’analisi costi-benefici, oltre a richiedere un volume di dati molto elevato e la risoluzione di alcune questioni critiche – ad esempio, la valutazione di un unico tasso di sconto che consideri la variazione di prezzo lungo tutto l’arco temporale dell’analisi o la monetizzazione delle risorse intangibili – è stata anche oggetto di critiche molto aspre e, spesso, ingenerose.

Le obiezioni sono state che, da un lato, l’analisi stessa nella sua definizione vuole abbracciare tanti ambiti, cercando di avere la pretesa di essere un’analisi “totale”; questo potrebbe inficiare la vicinanza alla realtà di questa valutazione, che è anche un punto cardine di questo ambito. D’altro canto, le valutazioni che si possono fare con questo strumento sul valore di risorse completamente fuori dal mercato sono spesso opinabili e controverse.

Questo ha portato all’introduzione di metodi alternativi di valutazione dell’efficienza dei progetti, come ad esempio l’Analisi Multi-Criteri (*Multi-Criteria Analysis*, MCA), che è preferibile adottare quando l’intervento riguarda beni eterogenei da valutare contemporaneamente, quindi si può passare da un’analisi monodimensionale ad una tridimensionale.

5.2 Analisi dei Costi e dei Ricavi considerati nell'ACB

Per effettuare un'analisi costi-benefici in modo corretto, bisogna considerare il maggior numero di dati per poter avere un quadro quanto più possibile vicino alla realtà dello stakeholder coinvolto. In questo caso, riprendendo la divisione dei **costi** vista nel paragrafo 5.1, si possono fare le seguenti considerazioni:

1. I costi **di investimento** considerati nell'analisi rappresentano l'acquisto di nuovi autobus per soddisfare le richieste degli scenari visti in precedenza; per quanto riguarda gli autobus nuovi, all'interno di quei costi sono inclusi quelli di manutenzione dei veicoli per l'intero ciclo di vita, mentre all'interno dei costi d'acquisto dei bus elettrici che devono effettuare dei percorsi molto lunghi, è considerata la costruzione degli impianti di ricarica rapida;
2. I costi **di manutenzione** che verranno ritrovati all'interno dell'ACB sono dovuti ai vecchi autobus che sono usati nello Scenario 2018 e che hanno bisogno di questi costi-extra, visto che nel loro contratto d'acquisto non era incluso il service; per ricavare questo costo, è stata presa la voce della manutenzione nel bilancio della GTT [16] ed è stata adattata in base al numero di autobus che circola nel quartiere e alla loro anzianità di servizio;
3. Riguardo l'acquisto di **nuovi autobus**, i costi sono stati ricavati da internet, rispettivamente per gli autobus diesel [17] e per quelli elettrici BYD [18] da fonti collegate direttamente alla GTT, mentre per gli autobus CNG si è preso come esempio una commessa enorme effettuata dalla società di trasporto pubblico a Parigi, che ha ordinato 409 autobus Iveco [19].
Infine, per gli autobus elettrici a lunga percorrenza, si è scelto di prendere come modello da acquistare il top di gamma della Mercedes, l'e-Citaro, il quale ha ricevuto riconoscimenti come miglior autobus elettrico e come autobus più sostenibile tra quelli in commercio [20], ed è stato preso come esempio una commessa effettuata da Daimler nella città di Hannover [21]. Ovviamente, per tutti i costi, è stata fatta una proporzione tra il numero di autobus acquistati negli esempi di riferimento e il numero che serviva nell'analisi per la costruzione degli scenari;
4. Il costo dovuto alle **emissioni di CO2** è stato calcolato effettuando una media tra il costo previsto per un'analisi a medio termine (2030) e quello previsto per un'analisi a lungo termine (2050) [22];
5. I costi dovuti alle **emissioni di inquinanti primari** sono stati considerati soltanto nell'ACB Economica e si riferiscono ad una città dalle dimensioni paragonabili a quelle di Torino, oltre al fatto che nel documento [22] il costo di queste emissioni varia in base al Paese di riferimento (ovviamente in questo caso si sono considerati i dati appartenenti all'Italia);

6. I Costi **Marginali**, quelli **Well-To-Tank** e quelli di **manutenzione delle strade** [22](per heavy-duty e bus, dove rientrano anche i costi del bollo del trasporto pubblico) sono da considerare nelle entrate finanziarie, perché sono un'uscita di denaro dalle casse dello stakeholder.

Per costi marginali si intendono quei costi “nascosti” nel ciclo di vita di un veicolo, come il suo smaltimento a fine vita, mentre i costi Well-To-Tank rappresentano i costi di trasporto e di distribuzione del carburante e dei veicoli stessi. Il costo di usura delle strade è stato calcolato sul deterioramento provocato dal transito di mezzi pesanti, come autobus e camion e comprende anche gli interventi straordinari, come la realizzazione di corsie riservate al trasporto pubblico e/o spartitraffico; queste tipologie di costi nell'ACB prenderanno il nome di “Altri Costi” per le tre categorie considerate;

7. I costi dovuti a **congestione, incidenti e rumore** sono stati presi da un documento, in cui veniva analizzato l'impatto delle seguenti peculiarità su diverse tipologie di città, divise per grandezza; si sono presi dati per una città con le dimensioni e la popolazione comparabile con quella di Torino [22]; l'unità di misura è l' €/vkm, dove vkm sta per “vehicle-kilometre”, cioè si intende il numero di veicoli presenti in un km di strada per ogni categoria analizzata e questo dato è stato calcolato per ogni scenario considerato, come è visibile dalle tabelle del capitolo 4.

Per quanto riguarda i **ricavi**, a differenza dei costi che vengono divisi tra quelli da considerare solo nell'ACB Economica e quelli da considerare in tutte le tipologie di analisi, essi vengono considerati nelle varie versioni dell'analisi costi-benefici e si dividono nelle seguenti voci:

- I. Il **ricavo pubblicitario** deriva dall'installazione di pubblicità temporanee sul 50% della flotta degli autobus dei vari scenari, ed essa verrà applicata sulla superficie posteriore e sulle due superfici laterali del singolo autobus, che sono state calcolate nei dati iniziali; il prezzo è stato determinato dal costo base giornaliero dell'occupazione di suolo pubblico [23], moltiplicato per un coefficiente, che è stato calcolato dai funzionari del Comune di Torino in base alla posizione in cui è collocata la pubblicità [24];
- II. Il ricavo dovuto **all'occupazione di suolo delle colonnine di ricarica** del car-sharing Blue-Torino e dei rispettivi stalli di sosta, è stato calcolato moltiplicando la superficie di una stazione di ricarica, composta da 5 stalli di sosta, per la tariffa base dell'occupazione di suolo pubblico ed è un' entrata da considerare annua [23];
- III. Il ricavo riguardante **i veicoli del car-sharing** circolanti nel quartiere deriva dalla possibilità data dal Comune di Torino agli utenti di questo servizio di accedere senza limiti alla ZTL e di parcheggiare in tutte le strisce blu della città [25]. Questa somma viene richiesta a tutte le società di car-sharing operanti in città, anche se i veicoli del car-sharing elettrico usufruiscono già di stalli di sosta che vengono pagati a parte, come spiegato precedentemente.

Tabella 24: Riassunto dei costi e dei ricavi da considerare nell'analisi costi-benefici, diviso per tipologia di mezzo di trasporto. Fonte: "Handbook on the external costs of transport"

Tipologia Costi [€/vkm] e Ricavi	Automobili	Heavy-Duty	Bus
Costo Emissioni CO2 [€/kg]		0,2643	
Costo Emissioni NO-x [€/kg]		25,40	
Costo Emissioni PM-10 [€/kg]		19,00	
Costo Emissioni PM-2,5 [€/kg]		409,00	
Costi Marginali+WTT Benzina	1,096	2,34	-
Costi Marginali+WTT Diesel	1,932	3,12	1,39
Costi Marginali+WTT GPL+Metano	0,430	0,69	0,77
Costi Marginali+WTT HEV+PHEV	0,210	1,41	-
Costi Marginali+WTT BEV	0,880	1,41	0,64
Costo dovuto alla congestione	8,24	21,53	15,99
Costo Incidenti	7,20	12,65	18,90
Costo Rumore Veicoli	0,850	4,90	8,00
Costo Manutenzione Auto e Bollo Bus [€/kW]	0,221	-	2,94
Costo Usura e Manutenzione Strade	-	0,446	0,224
Ricavo Pubblicitario Autobus [€/mq]	-	-	0,845
Ricavo Superficie del Car Sharing [€/mq]	123	-	-
Ricavo veicoli car sharing/anno [€/veicolo]	700	-	-

5.3 Confronto dei Costi e dei Ricavi considerati nell'ACB

Tornando all'analisi dei costi, nella tabella seguente sono riassunti i risultati dei costi dovuti alle **emissioni** prodotte dalle varie tipologie di trasporto presenti nel quartiere. Si può notare già una riduzione molto marcata riguardante i costi delle emissioni generiche di auto e mezzi pesanti nel passaggio dallo Scenario 2018 a quello Intermedio, che viene incrementata ancor di più nel passaggio alle due varianti di scenario Futuro e ciò è dovuto alle restrizioni in questo campo volute dalla Comunità Europea per migliorare la qualità dell'aria nelle grandi città.

D'altro canto, per gli autobus la situazione è diversa, poiché nella costruzione degli scenari si è prevista una forte riduzione dell'uso dell'automobile, che dovrà essere compensata da un intensificazione importante del trasporto pubblico, per non arrecare disagi alla popolazione.

Infatti, il costo per le emissioni di CO2 aumenta proprio perché aumentano i km percorsi dal trasporto pubblico in quegli scenari, mentre si riduce il costo degli inquinanti primari poiché si utilizzano mezzi a basso impatto ambientale che riducono questo contributo, nonostante l'aumento dei km.

Tabella 25: Riassunto dei costi provocati dall'emissione di inquinanti primari e secondari, divisi per tipologia di mezzo di trasporto e per scenario considerato.

Scenario Economico [€/anno]	Inquinanti Primari e Secondari			
	CO2	NO-x	PM-10+PM-2,5	NO-x + PM
Autovetture-2018	€ 2.279.550	€ 347.034	€ 445.724	€ 792.758
Autovetture-Int.	€ 697.140	€ 93.532	€ 201.243	€ 294.776
Autovetture-Futuro	€ 104.565	€ 33.626	€ 55.418	€ 89.045
Autovetture-Futuro-2	€ 69.710	€ 22.418	€ 36.945	€ 59.363
Autobus-2018	€ 370.517	€ 454.365	€ 43.675	€ 498.040
Autobus-Intermedio	€ 490.001	€ 183.218	€ 40.787	€ 224.005
Autobus-Futuro	€ 405.700	€ 58.645	€ 19.265	€ 77.910
Autobus-Futuro-2	€ 507.125	€ 73.306	€ 24.081	€ 97.388
Heavy-Duty-2018	€ 856.934	€ 454.757	€ 282.184	€ 736.941
Heavy-Duty-Int.	€ 369.359	€ 138.605	€ 115.236	€ 253.842
Heavy-Duty-Futuro	€ 91.605	€ 22.614	€ 32.412	€ 55.026
Heavy-Duty-Futuro-2	€ 65.432	€ 16.153	€ 23.151	€ 39.304

Come si può notare dalla tabella successiva, si è effettuato un calcolo della riduzione o dell'aumento percentuale comparando gli scenari più a lungo termine con quelli meno a lungo termine, oltre al confronto tra i due scenari futuri, e si può notare come negli autobus si ha un aumento dei costi dovuti alla CO2, causato dall'incremento dei km percorsi da questo mezzo di trasporto negli scenari a lungo termine, mentre si riducono comunque le emissioni di inquinanti primari, grazie all'uso di autobus a metano ed elettrici ,che abbattano fortemente l'impatto di queste emissioni.

Per le automobili e per gli heavy-duty, il trend di riduzione delle emissioni è coerente sia per la CO2 che per emissioni di azoto e particolato, visto che negli scenari successivi a quello di riferimento si ha una riduzione congiunta di numero di km e di numero di veicoli circolanti, unita al miglioramento tecnologico sulle emissioni. La riduzione maggiore, ovviamente, si avrà con gli scenari Futuro e Futuro-2, i quali sono caratterizzati da un'ampia diffusione dei mezzi a basso impatto ambientale (PHEV e BEV).

Tabella 26: Confronto tra gli scenari sulla riduzione delle emissioni delle tre tipologie di mezzo di trasporto.

Andamento Costi per tipologia di mezzo	Scenario 2018	Scenario Intermedio	Scenario Futuro	Scenario Fut-2
CO2 _ Automobili - Intermedio	-69%	0%	-	-
CO2 _ Automobili - Futuro	-95%	-85%	0%	-
CO2 _ Automobili - Fut-2	-97%	-90%	-33%	0%
NOx+PM _ Automobili - Intermedio	-63%	0%	-	-
NOx+PM _ Automobili - Futuro	-88%	-70%	0%	-
NOx+PM _ Automobili - Fut-2	-93%	-80%	-33%	0%
CO2 _ Heavy Duty - Intermedio	-57%	0%	-	-
CO2 _ Heavy Duty - Futuro	-89%	-75%	0%	-
CO2 _ Heavy Duty - Fut-2	-92%	-82%	-28%	0%
NOx+PM _ Heavy Duty - Intermedio	-65%	0%	-	-
NOx+PM _ Heavy Duty - Futuro	-92%	-78%	0%	-
NOx+PM _ Heavy Duty - Fut-2	-95%	-85%	-28%	0%
CO2 _ Autobus - Intermedio	+32%	0%	-	-
CO2 _ Autobus - Futuro	+10%	-17%	0%	-
CO2 _ Autobus - Fut-2	+37%	+4%	+25%	0%
NOx+PM _ Autobus - Int.	-55%	0%	-	-
NOx+PM _ Autobus - Futuro	-84%	-65%	0%	-
NOx+PM _ Autobus - Fut-2	-80%	-56%	+25%	0%

Nella tabella seguente sono riassunti i risultati del calcolo dei costi [22] dovuti agli incidenti, al rumore, alla combustione e ad altri fattori (manutenzione delle strade, costo bollo autobus, etc.), causati dai mezzi circolanti nel quartiere. Si può notare come questi costi si riducano negli scenari a lungo termine per le auto e per gli heavy-duty, mentre aumentano per gli autobus, per le stesse motivazioni viste nel paragrafo precedente con l'analisi delle emissioni.

Per quanto riguarda la colonna dei ricavi, essi derivano per gli autobus dall'applicazione di pubblicità sulla loro carrozzeria, mentre per le automobili dipendono dal numero di veicoli intestati alle società di car-sharing e dalla quantità di colonnine installate per permettere la ricarica dei veicoli full electric.

Tabella 27: Riassunto degli altri costi e dei ricavi considerati nell'ACB, divisi per tipologia di mezzo di trasporto e per scenario considerato

Scenario Economico [€/anno]	Altri Costi					Ricavi
	Costo Congestione	Costo Incidenti	Costo Rumore	Totale Cong.- Incidenti-Rum	Altri Costi Finanz.	Sharing e Pubblicità Bus
Autovetture-2018	€ 2.123.366	€ 1.855.368	€ 219.037	€ 4.197.770	€ 403.544	€ 108.378
Autovetture-Interm.	€ 1.699.294	€ 1.484.820	€ 175.291	€ 3.359.405	€ 217.446	€ 5.043.622
Autovetture-Futuro	€ 1.275.222	€ 1.114.272	€ 131.546	€ 2.521.040	€ 130.216	€ 10.175.479
Autovetture-Futuro-2	€ 851.151	€ 743.724	€ 87.801	€ 1.682.676	€ 86.913	€ 13.074.674
Autobus-2018	€ 35.018	€ 41.391	€ 17.520	€ 93.929	€ 73.924	€ 714.872
Autobus-Intermedio	€ 46.691	€ 55.188	€ 23.360	€ 125.239	€ 103.661	€ 1.075.993
Autobus-Futuro	€ 64.200	€ 75.884	€ 32.120	€ 172.203	€ 138.253	€ 1.429.744
Autobus-Futuro-2	€ 75.873	€ 89.681	€ 37.960	€ 203.513	€ 172.915	€ 1.790.865
Heavy-Duty-2018	€ 557.820	€ 327.825	€ 126.984	€ 1.012.629	€ 85.526	-
Heavy-Duty-Interm.	€ 502.824	€ 295.504	€ 114.464	€ 912.792	€ 68.495	-
Heavy-Duty-Futuro	€ 392.831	€ 230.863	€ 89.425	€ 713.119	€ 44.477	-
Heavy-Duty-Futuro-2	€ 282.839	€ 166.221	€ 64.386	€ 513.446	€ 32.024	-

Come si può notare dalla tabella a pagina successiva, si è effettuato un calcolo della riduzione o dell'aumento percentuale confrontando gli scenari più a lungo termine con quelli meno a lungo termine, oltre al confronto tra i due scenari futuri, e si può notare come negli autobus si ha un aumento sia dei costi finanziari, che di quelli dovuti ad incidenti, rumore e congestione, causato dall'aumento dei km percorsi da questo mezzo di trasporto negli scenari a lungo termine; allo stesso modo, grazie all'aumento del numero di autobus circolanti nel quartiere, si ha un aumento degli introiti pubblicitari derivanti dall'applicazione delle pubblicità sulla superficie degli stessi autobus.

Per le automobili e per gli heavy-duty, il trend di riduzione riguarda sia i costi finanziari che quelli dovuti ad incidenti, rumore e congestione e ciò è coerente poiché negli scenari successivi a quello di riferimento si ha una riduzione congiunta di numero di km e di numero di veicoli circolanti. La riduzione maggiore, ovviamente, si avrà con gli scenari Futuro e Futuro-2, i quali sono caratterizzati rispettivamente da un'ampia riduzione delle grandezze viste prima, vale a dire il numero di veicoli e i km percorsi.

Tabella 28: Confronto tra gli scenari sui costi e sui ricavi da considerare per le tre tipologie di mezzo di trasporto.

Andamento Costi/Ricavi per tipologia di mezzo	Scenario 2018	Scenario Intermedio	Scenario Futuro	Scenario Fut-2
Incidenti+Rum+Cong. _ Automobili - Int.	-20%	0%	-	-
Incidenti+Rum+Cong. _ Automobili - Fut.	-40%	-25%	0%	-
Incidenti+Rum+Cong. _ Automobili - Fut-2	-60%	-50%	-33%	0%
Altri Costi Finanziari _ Automobili - Int.	-46%	0%	-	-
Altri Costi Finanziari _ Automobili - Futuro	-68%	-40%	0%	-
Altri Costi Finanziari _ Automobili - Fut-2	-78%	-60%	-33%	0%
Incidenti+Rum+Cong. _ Heavy Duty - Int.	-10%	0%	-	-
Incidenti+Rum+Cong. _ Heavy Duty - Fut.	-29%	-22%	0%	-
Incidenti+Rum+Cong. _ Heavy Duty - Fut-2	-49%	-44%	-28%	0%
Altri Costi Finanziari _ Heavy Duty - Int.	-20%	0%	-	-
Altri Costi Finanziari _ Heavy Duty - Fut.	-48%	-35%	0%	-
Altri Costi Finanziari _ Heavy Duty - Fut-2	-62%	-53%	-28%	0%
Incidenti+Rum+Cong. _ Autobus - Int.	+33%	0%	-	-
Incidenti+Rum+Cong. _ Autobus - Futuro	+83%	+38%	0%	-
Incidenti+Rum+Cong. _ Autobus - Fut-2	+116%	+62%	+18%	0%
Altri Costi Finanziari _ Autobus - Int.	+40%	0%	-	-
Altri Costi Finanziari _ Autobus - Futuro	+87%	+33%	0%	-
Altri Costi Finanziari _ Autobus - Fut-2	+133%	+66%	+25%	0%
Ricavi Pubblicitari _ Autobus - Int.	+50%	0%	-	-
Ricavi Pubblicitari _ Autobus - Futuro	+100%	+33%	0%	-
Ricavi Pubblicitari _ Autobus - Fut-2	+150%	+66%	+25%	0%

La tabella seguente permette di valutare l'incidenza di ogni sistema di mobilità sulle abitudini del quartiere: i dati riguardanti il 2018 sono presi dal rapporto dell'IMQ del 2013 [26] e sono stati lievemente modificati per adattarli alla situazione presente nel 2018, coerentemente con quanto scritto nel rapporto CENSIS ed UNRAE, i quali sono redatti in base alle abitudini nazionali [27].

Per quanto riguarda la costruzione degli scenari Intermedio e Futuro, sono stati considerati i dati ricavati da tre fonti [27, 28, 29] e sono stati modificati, poiché le seguenti si riferivano ad un bacino di utenza leggermente diverso rispetto a quello torinese e, più propriamente, a quello del quartiere.

Infatti, si parla di tre documenti, due concernenti realtà europee e il rapporto del CENSIS riferito alla mobilità nazionale; quindi, dopo aver adattato queste informazioni, al fine di renderle compatibili con lo scenario di riferimento del quartiere, si è pensato di confrontarle tra di loro ed estrarre il dato per ogni tipologia di mobilità del futuro.

Infine, i valori dello Scenario Futuro-2 derivano dall'estremizzazione dei concetti inseriti nello Scenario Futuro, come l'incremento dei km percorsi dagli autobus e la riduzione del numero di automobili possedute rispetto a questa condizione. Tutti gli scenari prendono in considerazione anche le direttive emanate negli ultimi anni dall'Unione Europea, nell'ambito dell'inquinamento dei grandi agglomerati urbani. La ripartizione modale dei trasporti verrà usata nell'ACB economica per poter pesare i contributi derivanti da ogni sistema di mobilità.

Tabella 29: Ripartizione modale dei trasporti nel quartiere di San Salvario, con relative fonti da cui sono stati presi, prima di essere rielaborati per il quartiere

Anno/ Tipologia	2018 (IMQ, Torino)	2035 (Regione Piemonte)	2035 - Scenario Intermedio	2050 - Scenario Futuro	2050 - Scenario Futuro-2
Auto Privata	48%	≤ 51%	32%	10%	7%
Bus	22%	≥ 27%	28%	38%	43%
Bicicletta	4%	≥ 8%	6%	8%	8%
A Piedi	26%	≥ 14%	29%	32%	29%
Car-Sharing	0%	-	5%	12%	15%

5.4 Andamento del VAN, TIR e B/C degli Scenari Combinati

Per poter quantificare nel miglior modo possibile i vantaggi della presenza di uno Scenario combinato piuttosto che un altro, bisogna confrontarli su una base comune ad entrambi e si effettua l'analisi costi-benefici proprio per cercare di rendere la valutazione di queste situazioni quanto più oggettiva possibile. Come è stato mostrato nel capitolo e nei paragrafi precedenti, per ogni scenario di base sono state calcolate le emissioni (e i relativi costi associati ad esse) e i costi dovuti alle esternalità, che incidono moltissimo sulla qualità della vita del quartiere.

Visto che la combinazione degli scenari è stata mostrata già nel capitolo 4, qui si concentrerà l'attenzione sulla modalità di esecuzione dell'analisi costi-benefici e sui vantaggi o sugli svantaggi che l'adozione di uno scenario provoca nel quartiere. L'analisi verrà effettuata confrontando gli scenari combinati con lo Scenario di Riferimento e si calcoleranno 3 indicatori, vale a dire il VAN, il TIR e il rapporto tra Benefici e Costi (B/C), che permetteranno di capire se l'adozione di quel particolare scenario può essere conveniente rispetto alla situazione standard.

Nella tabella seguente sono riassunti i risultati delle due tipologie di ACB, che differiscono tra di loro poiché nella finanziaria si considerano soltanto i flussi di cassa, quindi le entrate e le uscite di denaro, mentre in quella economica si valutano i benefici che un provvedimento causa sull'eco-sistema interessato dalla stessa analisi (in questo caso è il quartiere di San Salvario). Infatti, se si vedono i risultati ottenuti da queste analisi, si può dire, riguardo al VAN, che:

- Per l'**analisi finanziaria**, lo *Scenario Combinato 3* è quello maggiormente conveniente, visto che gli investimenti effettuati nel corso dei 30 anni vengono ammortizzati perfettamente e i ricavi sono superiori rispetto agli altri scenari, poiché qui si ipotizza la presenza immediata dello Scenario Intermedio, seguito a distanza di 10 anni dallo Scenario Futuro e poi dal Futuro-2.
Al contrario, lo scenario più negativo è quello *REF-FUT*, poiché in questo caso c'è il passaggio diretto dallo scenario di riferimento a quello Futuro, con investimenti molto onerosi da affrontare; non si comportano bene nemmeno gli scenari *Combinato 1* e *Combinato 4*, i quali sono accomunati dal fatto di avere investimenti corposi per passare dallo scenario Intermedio a quelli Futuri, con il difetto di non aver ammortizzato i costi per arrivare all'Intermedio.
- Per l'**analisi economica**, risulta essere maggiormente conveniente lo *Scenario Combinato 2*, visto che esso è caratterizzato dal susseguirsi delle due varianti dello Scenario Futuro, senza ricorrere ad investimenti per lo Scenario Intermedio, i quali non possono essere utilizzati, in parte, per gli scenari successivi. Inoltre, le percentuali viste nell'ultima tabella del Capitolo 5 influenzano i risultati di questo indicatore e permettono questo risultato.
Per lo stesso motivo, invece, l'unico scenario che non ottiene un risultato positivo è il *REF-INT*, poiché in esso i costi generati dall'anticipo dell'ingresso dello Scenario Intermedio rispetto alla condizione di riferimento, non sono controbilanciati dai maggiori benefici economici.

Tabella 30: Risultati relativi agli indicatori dell'Analisi Costi-Benefici finanziaria ed economica

Scenario	VAN Finanziario	VAN Economico	TIR Fin.	TIR Econ.	R/C Fin.	B/C Econ.	VAN/anno Finanziario	VAN/Anno Economico
Combinato 1	-€ 9.017.429	€ 12.106.388	n.d.	7,32%	n.d.	2,79	-€ 521.479	€ 700.114
Combinato 2	-€ 4.763.202	€ 17.870.357	n.d.	7,61%	n.d.	4,35	-€ 275.456	€ 1.033.445
Combinato 3	€ 20.675.803	€ 14.992.231	5,65%	20,11%	1,15	3,48	€ 1.195.684	€ 867.002
Combinato 4	-€ 13.358.915	€ 9.508.809	n.d.	8,61%	n.d.	3,34	-€ 772.547	€ 549.895
REF-FUT	-€ 25.210.941	€ 10.015.143	n.d.	6,12%	n.d.	3,61	-€ 1.457.951	€ 579.177
REF-INT	€ 5.684.279	-€ 3.223.714	4,42%	n.d.	1,09	n.d.	€ 328.722	-€ 186.428

Nei due grafici successivi sono rappresentati gli andamenti del VAN generale e del VAN annuo, riferiti ad ogni Scenario Combinato e per entrambe le tipologie di analisi. In tutti i grafici il colore rosso rappresenta le colonne riferite all'ACB economica, mentre il blu fa riferimento all'ACB finanziaria.

Si può constatare che per gli scenari aventi VAN finanziario negativo, il comune può comunque ottenere dei finanziamenti da parte di imprese private o da parte dell'Unione Europea [30] per sopperire al disavanzo monetario. Questa procedura è molto frequente per opere che sono valutate positivamente mediante l'uso dell'ACB e delle varie tipologie di Valutazioni di Impatto Ambientale o per grandi opere che sono considerate strategiche per la stessa Europa, come ad esempio la TAV Torino-Lione.

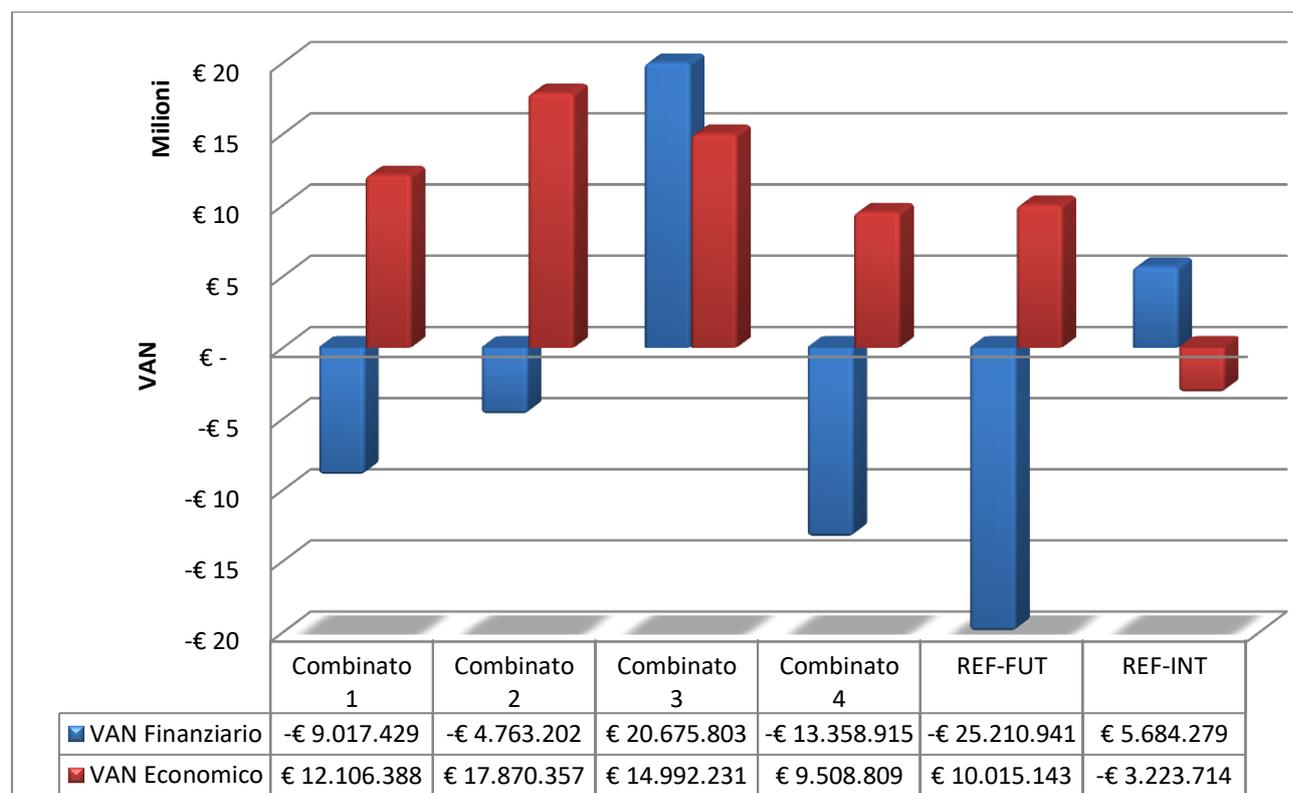


Figura 70: Andamento del Valore Attuale Netto degli scenari analizzati nelle due tipologie di ACB.

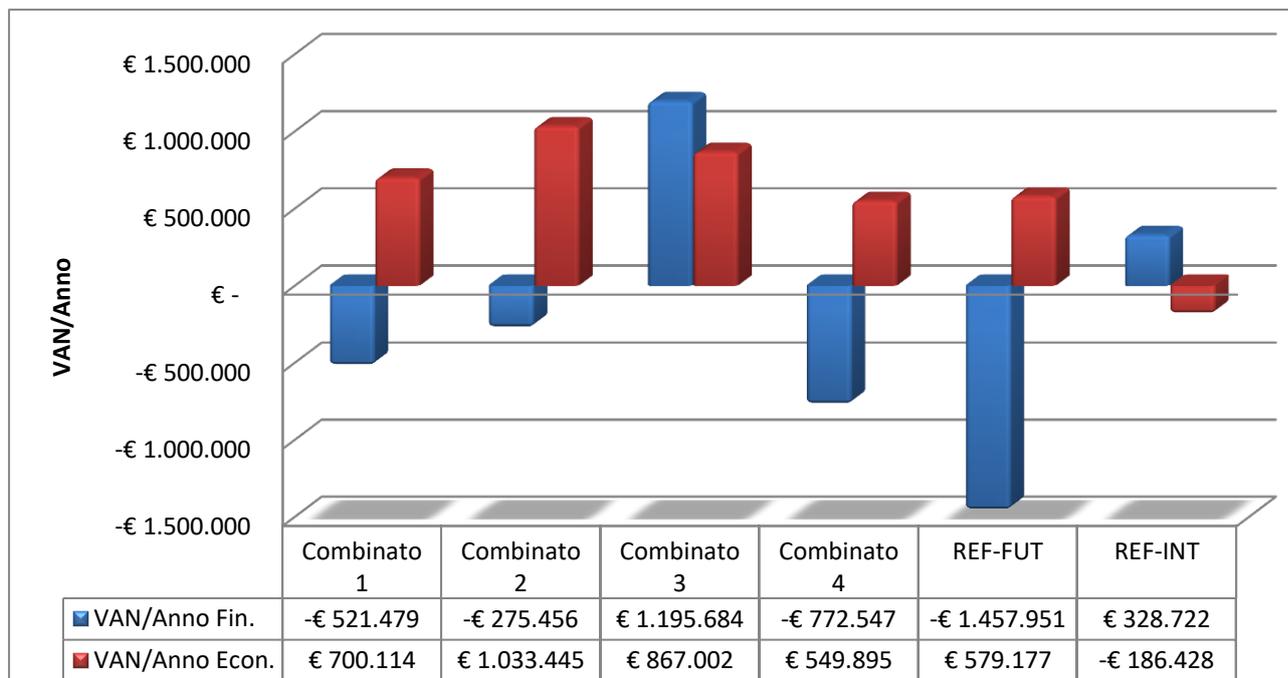


Figura 71: Andamento del Valore Attuale Netto Annuo degli scenari analizzati nelle due tipologie di ACB.

Per quanto riguarda gli altri due indicatori (il TIR e il rapporto B/C), osservando i grafici seguenti, si può dire che, nel caso in cui non vi sia la colonna relativa all'analisi economica o finanziaria di un dato scenario, il VAN di questa situazione è negativo e ciò è condizione sufficiente per non permettere il calcolo di questi due valori. Per gli scenari dove è possibile calcolare i due indicatori, si possono fare le seguenti osservazioni:

- Per l'**analisi finanziaria**, il TIR e il B/C più elevati sono quelli dello *Scenario Combinato 3*, ma si registrano buoni risultati anche per il *REF-INT*. La particolarità che accomuna questi due scenari è che il rapporto tra benefici e costi supera di poco l'unità, mentre il TIR più elevato è del 5,65%. Per gli scenari dove si ha il VAN negativo, si può vedere come la colonna relativa a TIR e B/C non sia proprio presente e ciò vale anche per l'altra tipologia di analisi.
- Per l'**analisi economica**, si evidenzia come l'unico scenario con VAN negativo sia il *REF-INT* per i motivi già visti in precedenza, mentre negli altri scenari si può notare come il valore del TIR sia compreso tra 6,12% e 8,61% e quello del B/C tra 2,59 e 3,61, ad eccezione dello *Scenario Combinato 3* per il TIR, dove si ottiene il 20,11% e del *Combinato 2* per il B/C dove si ottiene un valore di 4,35.

In generale, maggiore è il valore di questi due indicatori, maggiore sarà la convenienza ad adottare uno scenario piuttosto che un altro. Infatti, risulta intuitivo capire il motivo per cui è valida questa affermazione sul rapporto tra benefici e costi (B/C), mentre più è alto il TIR, vale a dire il tasso di sconto per cui il VAN è nullo, maggiore è la robustezza di quello scenario nell'essere conveniente anche con variazioni di tasso di sconto molto elevate, cosa che può accadere nella realtà. Questo principio è valido anche per il VAN, visto precedentemente.

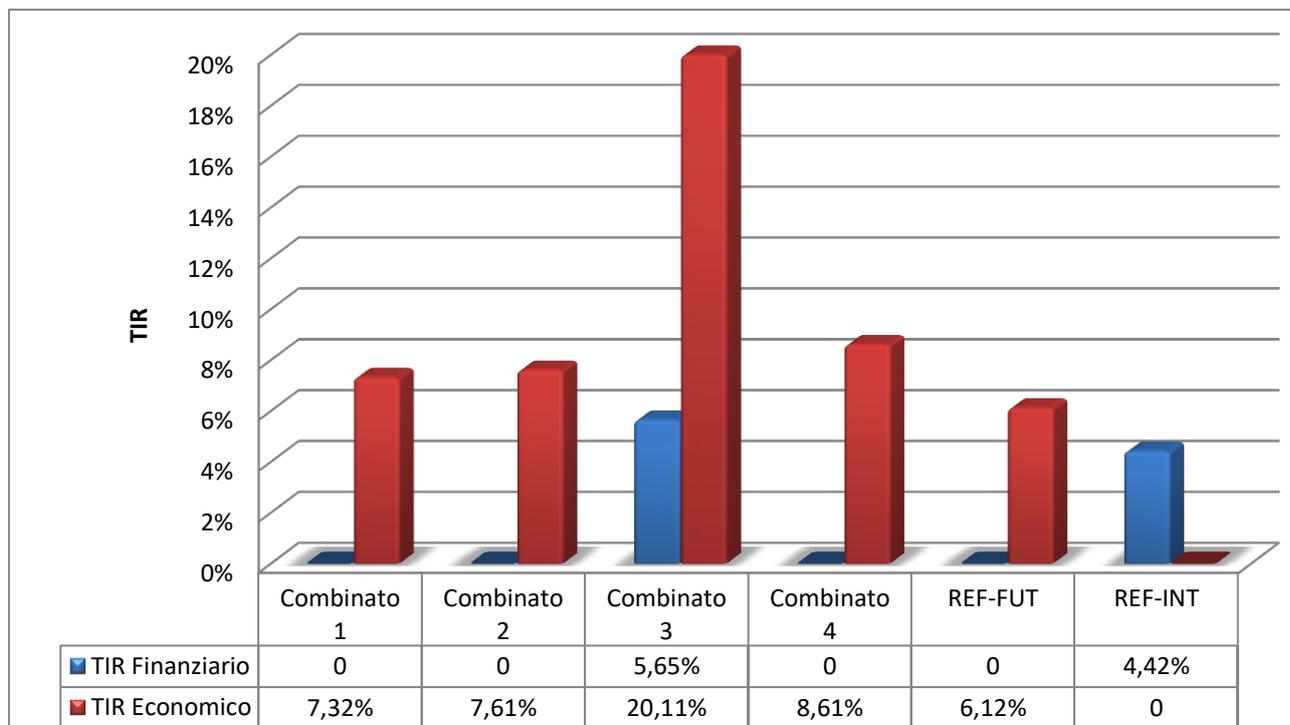


Figura 72: Andamento del Tasso Interno di Rendimento degli scenari analizzati nelle due tipologie di ACB.

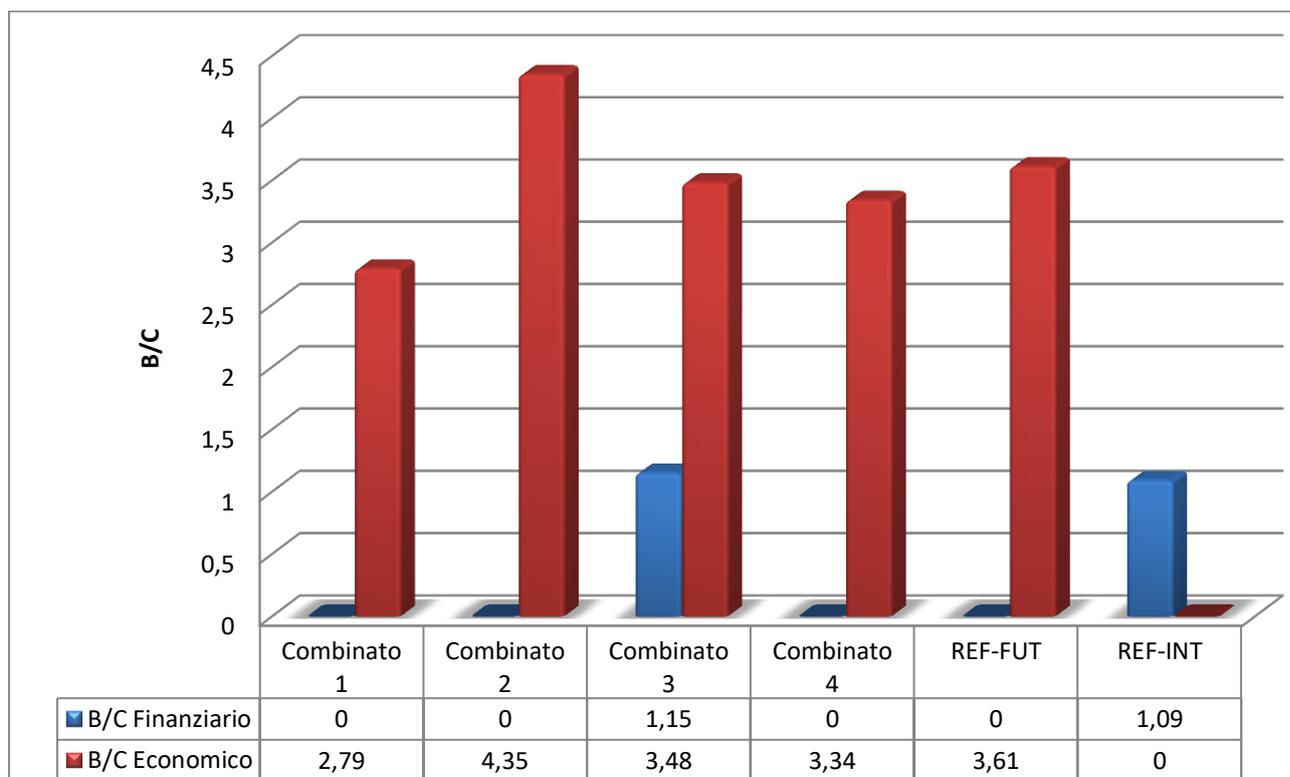


Figura 73: Andamento del rapporto tra Benefici e Costi (B/C) degli scenari analizzati nelle due tipologie di ACB.

5.5 Analisi di Sensitività

L'analisi di sensitività è una metodologia che serve a verificare la robustezza delle ipotesi fatte per calcolare in modo oggettivo i risultati dell'analisi costi benefici e per migliorare il processo decisionale degli stakeholders. Una decisione si può definire robusta quando rimane valida se si cambiano i dati di partenza, da cui viene presa quella decisione. Infatti, l'analisi di sensitività si effettua quando si è in presenza di una combinazione di scenari, immaginati anch'essi come un insieme di ipotesi e di evoluzioni di dati di partenza, in diversi ambiti.

Questa analisi si può dividere fondamentalmente in due modalità [31]:

1. **Analisi di scenario**, che va a cambiare i parametri di costruzione dello scenario per verificare se i risultati rimangono coerenti;
2. **Analisi “what if”**, la quale valuta cosa cambia se variano i valori assunti dai parametri decisionali; ad esempio, si valutano le modifiche ai risultati dell'ACB se si cambiano i costi di investimento, o l'incidenza del tasso di sconto, o la volontà di investire dello stakeholder.

Per poter definire una corretta procedura di sensitività, è necessario definire almeno due condizioni migliorative e due peggiorative rispetto allo scenario di base [32]. Infatti, in questo particolare caso si è deciso di adottare un'analisi di tipo “what if”, cercando di variare 5 componenti di quest'analisi per capire in che modo reagiscono i tre indicatori fondamentali dell'ACB. La variazione è stata effettuata con percentuali fisse [33] ($\pm 5\%$, $\pm 10\%$ e $\pm 15\%$), verificando gli effetti sugli indicatori dell'ACB, in particolar modo sul B/C e, a seguire, sul VAN e sul TIR.

I risultati di quest'analisi sono inseriti in un diagramma che presenta andamenti rettilinei se essa va a buon fine. Sulle ordinate viene presentata la variazione percentuale degli indicatori fondamentali dell'ACB su cui si effettua la sensitività (B/C, VAN e TIR), mentre sulle ascisse è presente la variazione percentuale dei componenti su cui si è deciso di effettuare questa valutazione. Si ricorda che l'analisi di sensitività verrà effettuata per ogni scenario combinato che è stato spiegato nel capitolo 4 e si mostrerà un grafico per ogni situazione.

Tra i diversi andamenti rettilinei che verranno mostrati nei successivi grafici, si può dire che le componenti che incidono di più su ogni scenario avranno un coefficiente angolare maggiore e saranno, quindi, più inclinate delle altre rette.

Infatti, queste variabili influiscono particolarmente sul progetto che viene visualizzato in questo lavoro e si cercherà di capire in che modo esse possono modificare la situazione analizzata con sensitività nulla, la quale è stata commentata ampiamente nel paragrafo precedente.

Le componenti che sono state valutate nell'analisi di sensitività sono cinque e sono state scelte in base alla loro importanza nell'ACB finanziaria ed economica e in base alla possibilità che le seguenti entità possano variare per diverse motivazioni. Esse, nel dettaglio, sono:

1. **Tasso di Sconto**, il quale influisce moltissimo sull'attualizzazione dei costi effettuati successivamente all'anno zero dell'analisi ed è il parametro più importante su cui effettuare la sensitività;
2. **Costo della CO2**, che influisce in modo diverso in base allo scenario considerato, poiché alla base della costruzione di questi ultimi è presente la riduzione di questa componente, causata dalla riduzione dei km percorsi e dall'aumento dell'efficienza dei mezzi circolanti;
3. **Costo degli Inquinanti primari**, al cui interno si fanno variare quelli relativi agli Ossidi di Azoto (NOx) e alle due forme di Particolato; anche questa tipologia di costi va ad influire sugli scenari combinati in modo molto simile a quanto fatto dalla variazione del costo della CO2;
4. **Costi di investimento degli autobus elettrici**: nella categoria dei costi di investimento vengono presi in considerazione soltanto quelli relativi agli autobus elettrici, poiché questi ultimi hanno una tecnologia che non è ancora arrivata nell'apice dello sviluppo, quindi potrà subire variazioni di prezzo anche importanti, sia in positivo che in negativo; per quanto riguarda gli autobus diesel o metano, siccome le tecnologie sono arrivate al loro massimo sviluppo, non si prevedono variazioni considerevoli di prezzo d'acquisto e di manutenzione;
5. **Ricavi finanziari**, all'interno dei quali vengono considerati e fatti variare i tre valori relativi agli introiti pubblicitari, all'affitto degli stalli per le colonnine del car-sharing elettrico e all'incasso per ogni veicolo di car-sharing che circola nel quartiere;

La variazione percentuale dei tre indicatori fondamentali dell'ACB è stata calcolata in questo modo:

$$\Delta B/C \text{ (VAN o TIR) } \% = \frac{B/C_{Sensitività} - B/C_{Riferimento}}{B/C_{Riferimento}}$$

Visto che il VAN Finanziario è negativo per tutti gli scenari considerati, ad eccezione di due, le seguenti grandezze sono state calcolate soltanto per l'ACB economica e verranno mostrati soltanto i grafici delle variazioni percentuali del B/C e del TIR che sono quelle più rilevanti. Inoltre, è importante far vedere l'andamento del VAN economico non come variazione percentuale per far capire in che modo variano i suoi valori assoluti in tutti gli scenari combinati.

Di seguito verranno proposti i grafici delle analisi di sensitività per ogni scenario riguardanti prima il **B/C** e poi il **TIR**. Concentrando l'attenzione sul **primo** indicatore, si possono evidenziare i seguenti comportamenti degli andamenti delle rette di sensitività:

- Per tutti gli scenari visti già nel paragrafo 5.4, si può notare come l'andamento di questo indicatore sia molto simile, in particolare:
 - Le rette con maggiore coefficiente angolare sono sempre quelle relative al **tasso di sconto** e al **costo degli inquinanti (soprattutto CO2)**;
 - Se vengono incrementati il tasso di sconto e i costi dei bus elettrici, il B/C si riduce in tutti gli scenari ad eccezione del Combinato 3, poiché si riduce la convenienza di questi ultimi, visto che sono presenti maggiori costi di investimento da affrontare rispetto alla condizione di riferimento;
 - Se si aumentano i ricavi finanziari e i costi degli inquinanti (CO2 oppure inquinanti primari), l'indicatore considerato aumenta in tutti gli scenari ad eccezione del Combinato 3 poiché i vantaggi economici sono maggiori rispetto alla situazione di riferimento presentata nel Capitolo 4.
- Prestando attenzione alla figura relativa allo Scenario **Combinato 3**, si può notare come gli andamenti siano leggermente diversi dalle altre situazioni, poiché in questa condizione si ha l'introduzione di uno scenario di base diverso da quello di riferimento già a partire dall'anno zero dell'analisi e si ottengono questi risultati:
 - Se i costi dei bus elettrici, il tasso di sconto e i ricavi finanziari vengono incrementati, il B/C economico aumenta;
 - Se i costi degli inquinanti (CO2 oppure inquinanti primari) aumentano, lo stesso indicatore si riduce, poiché incidono maggiormente le emissioni degli autobus, che aumentano negli scenari di mobilità futura.

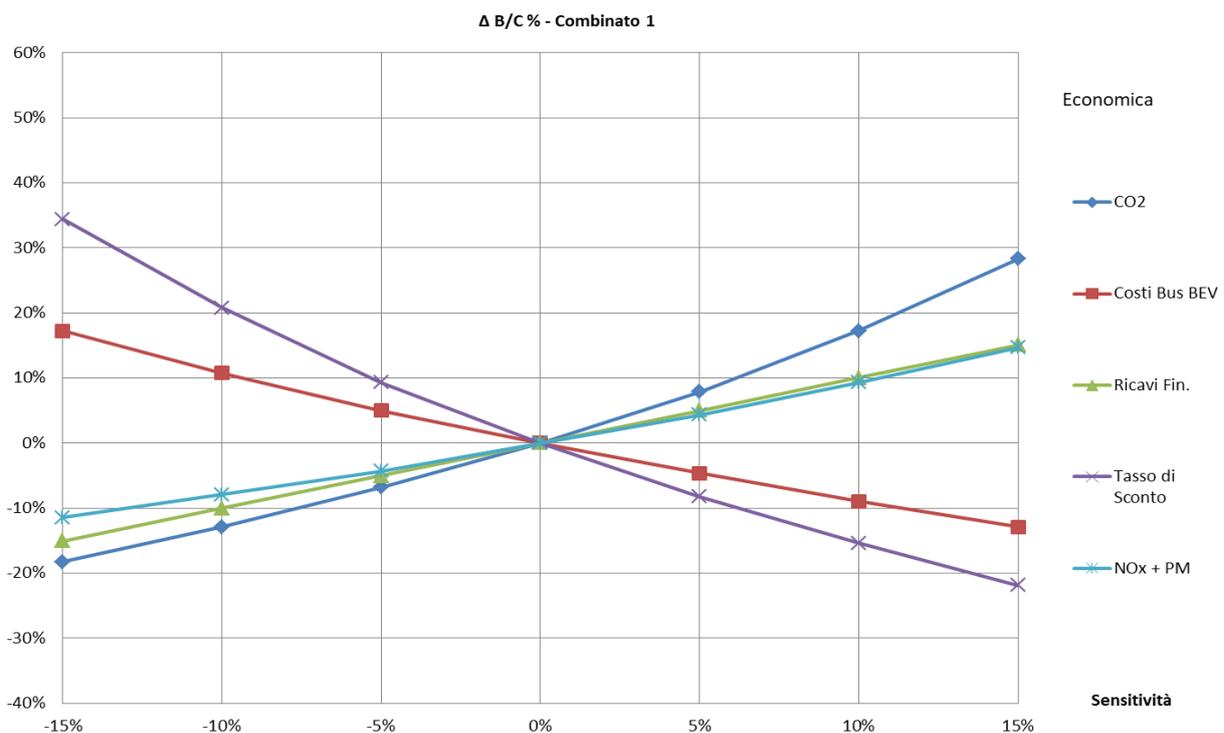


Figura 74: Analisi di Sensitività del B/C sullo Scenario Combinato 1

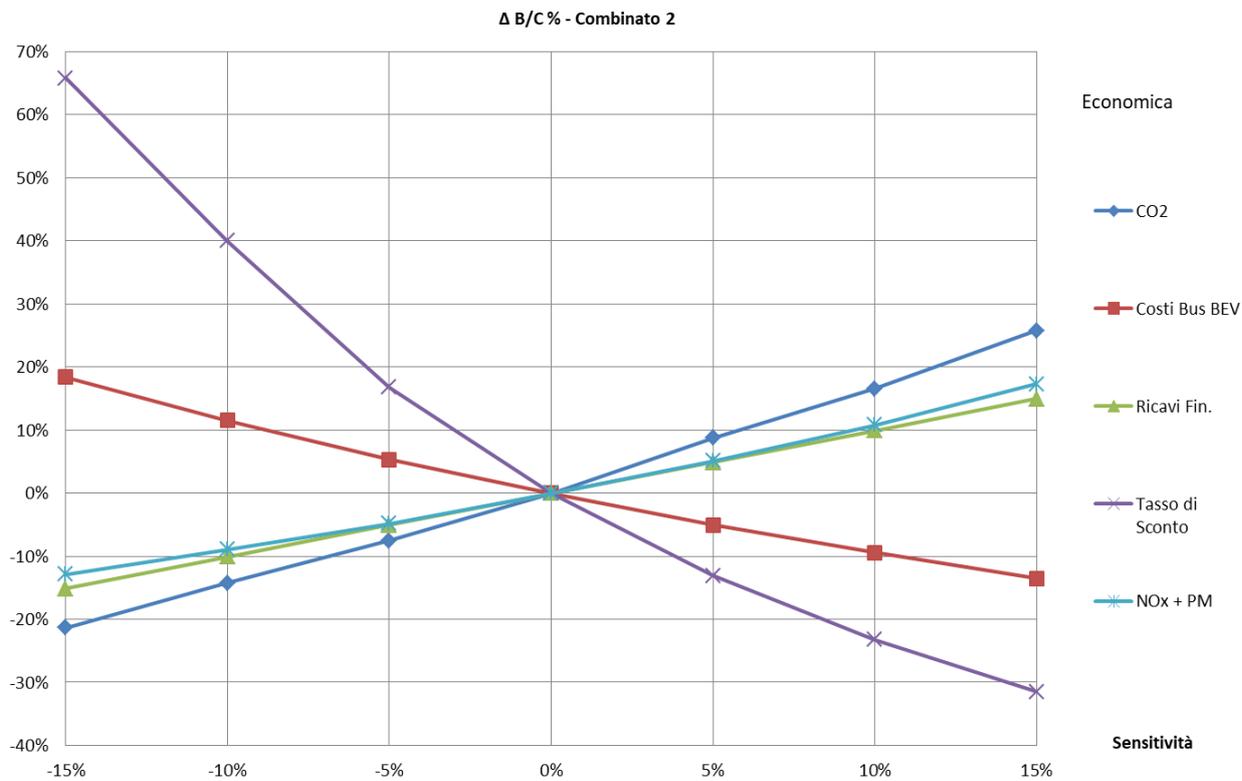


Figura 75: Analisi di Sensività del B/C sullo Scenario Combinato 2

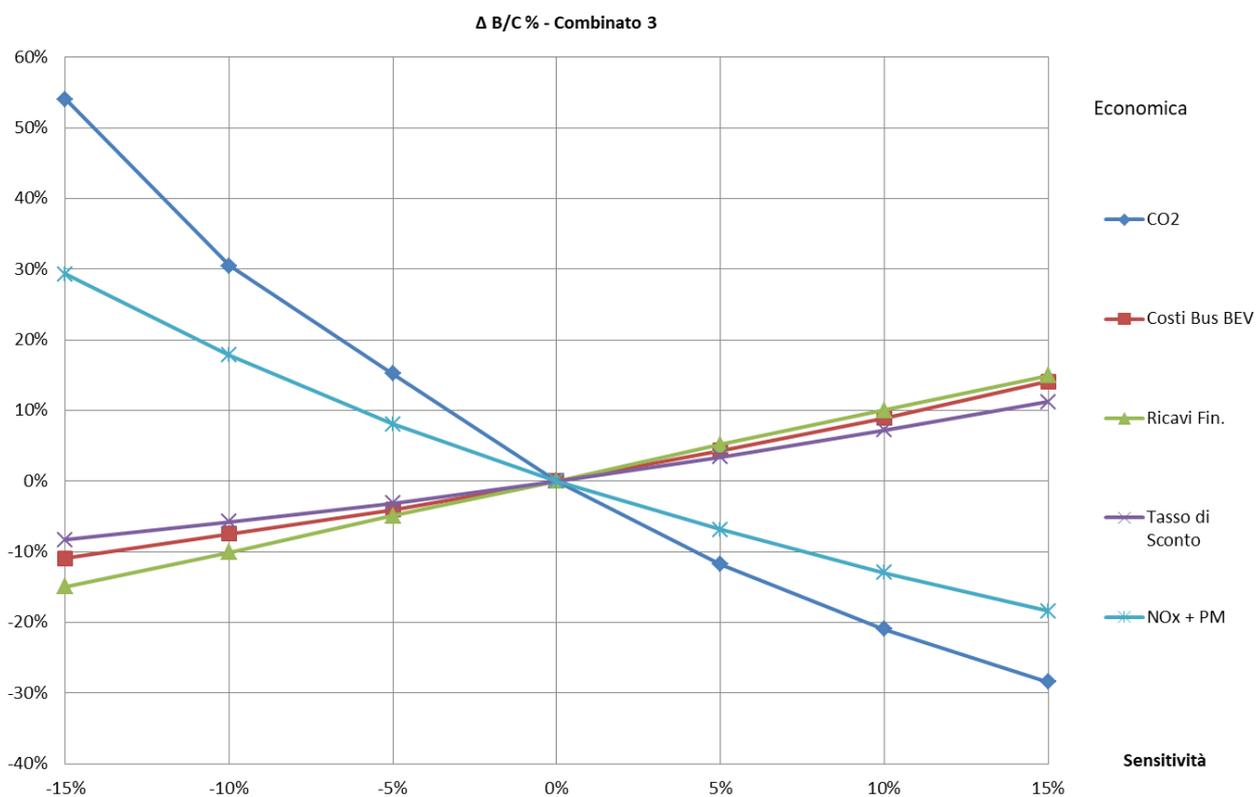


Figura 76: Analisi di Sensività del B/C sullo Scenario Combinato 3

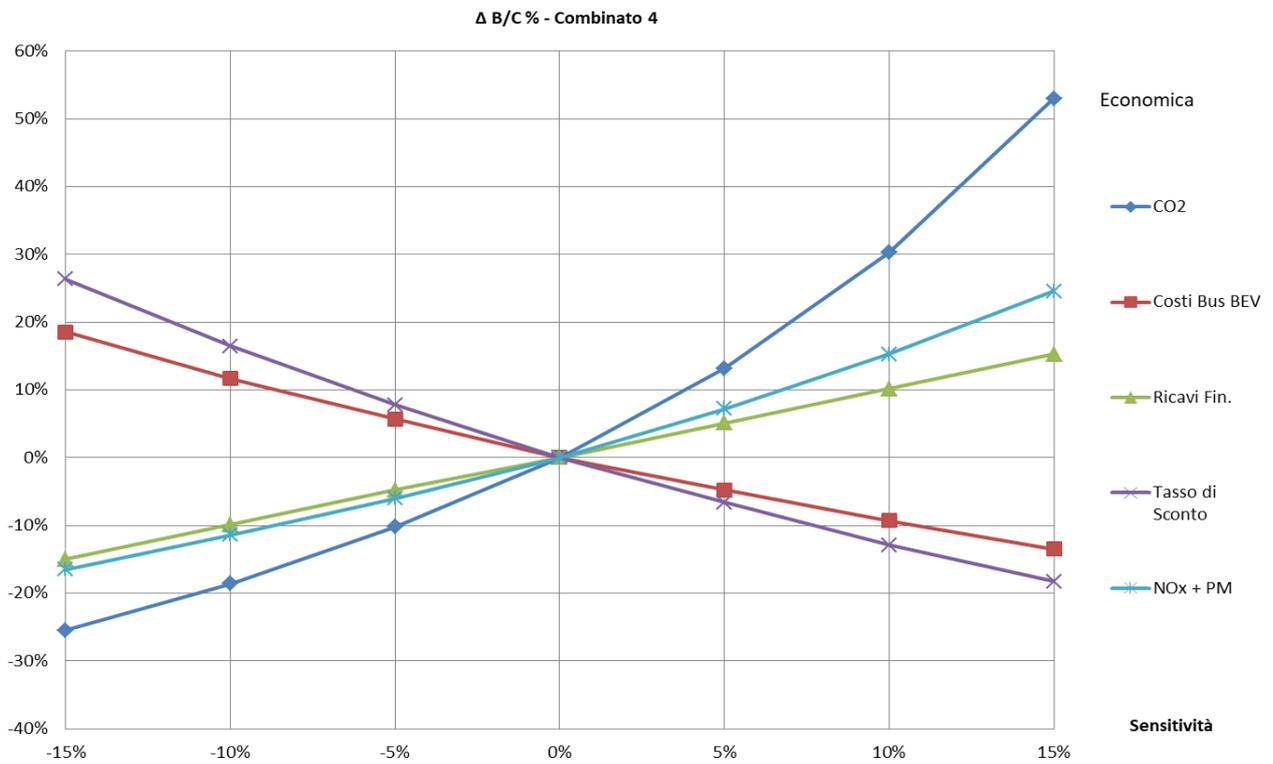


Figura 77: Analisi di Sensività del B/C sullo Scenario Combinato 4

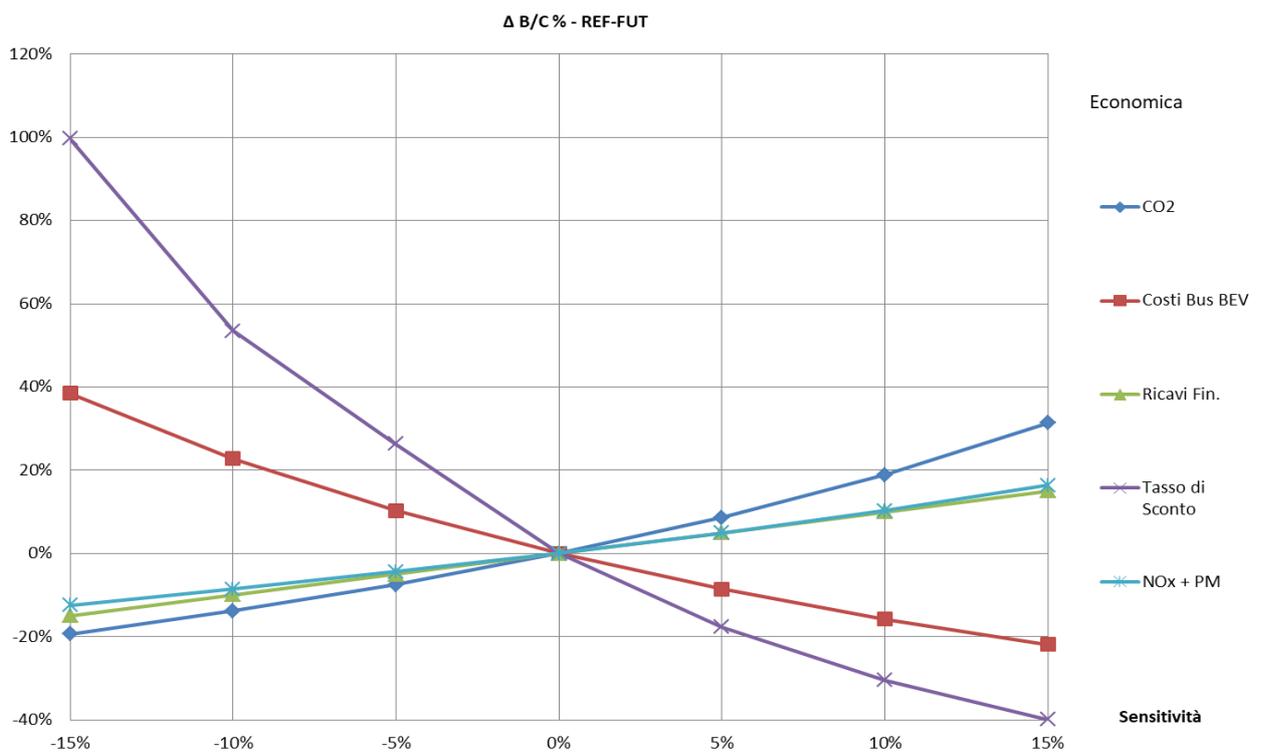


Figura 78: Analisi di Sensività del B/C sullo Scenario REF-FUT

Per quanto riguarda la variazione del TIR, si può notare che le rette aventi maggiore coefficiente angolare, e quindi quelle che rappresentano le componenti che lo influenzano maggiormente, appartengono, in ordine, ai **ricavi finanziari** e ai **costi della CO2**, le quali in altri scenari si scambiano posizione. Inoltre, in questo grafico c'è una retta orizzontale appartenente al **tasso di sconto**, poiché il TIR non assume alcuna modifica se viene variata questa componente.

Si evidenzia che il TIR aumenta se i **costi degli inquinanti** (CO2 e primari) e i **ricavi finanziari** vengono incrementati, poiché la convenienza degli scenari considerati viene incrementata; al contrario, se si aumentano i **costi degli autobus elettrici**, si riduce il TIR visto che si ha l'esatto effetto contrario. Di seguito, si mostra l'andamento delle rette di sensitività valido solo per lo Scenario Combinato 2, perché gli altri scenari si comportano in maniera molto simile.

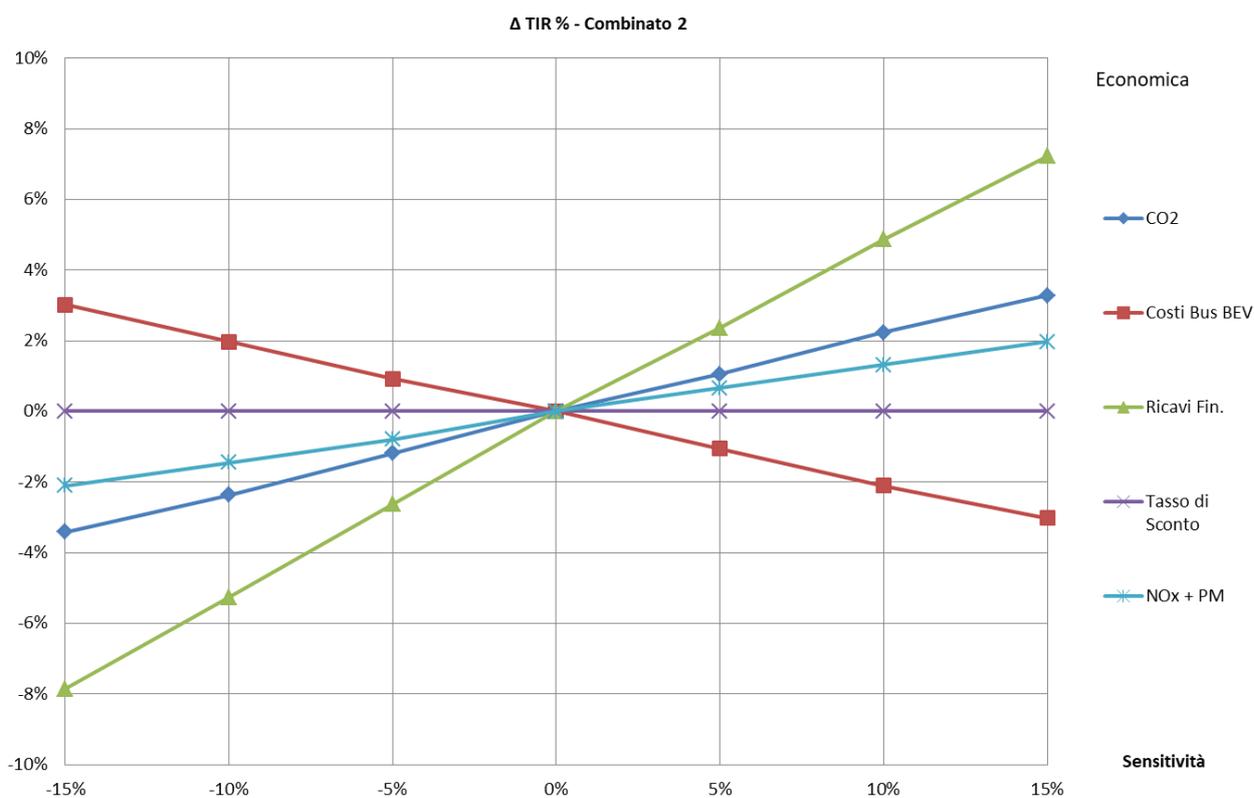


Figura 79: Analisi di Sensitività del TIR sullo Scenario Combinato 2

Nelle figure presentate nelle pagine precedenti non erano presenti quelle relative allo Scenario REF-INT, poiché esso ha il VAN economico negativo, quindi non è possibile calcolare né il B/C né il TIR. Di seguito viene data una panoramica della variazione del VAN economico, in base ad ogni parametro modificato con le analisi di sensitività, dove è presente anche la situazione del REF-INT, in cui si vede chiaramente che il VAN economico resta negativo in tutte le condizioni di sensitività.

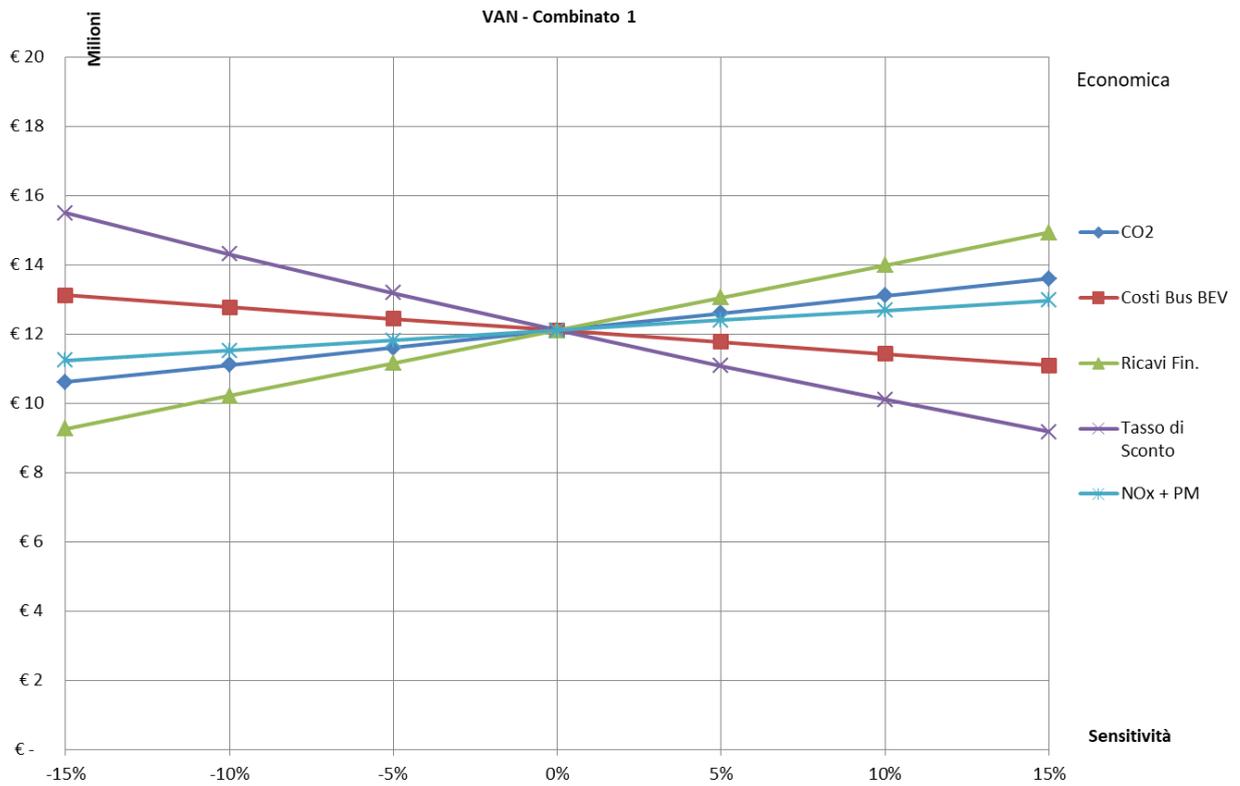


Figura 80: Analisi di Sensività del VAN sullo Scenario Combinato 1

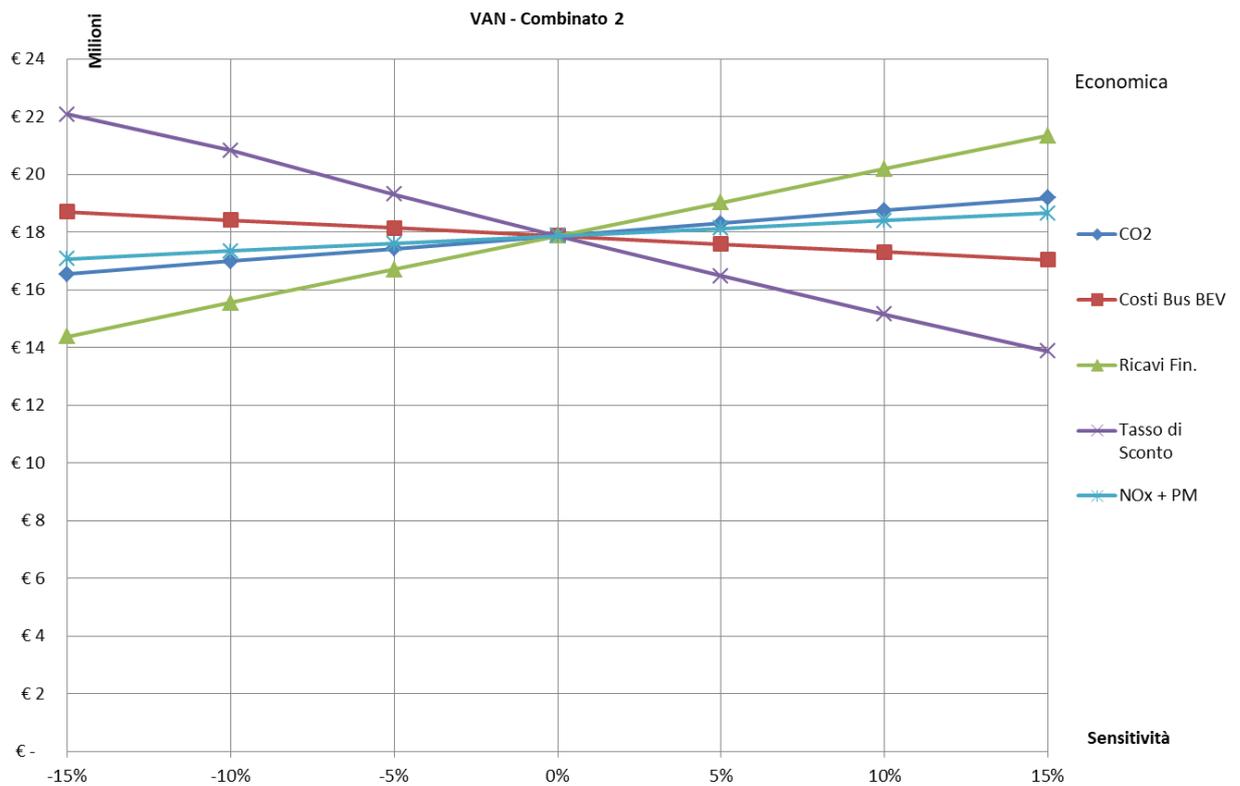


Figura 81: Analisi di Sensività del VAN sullo Scenario Combinato 2

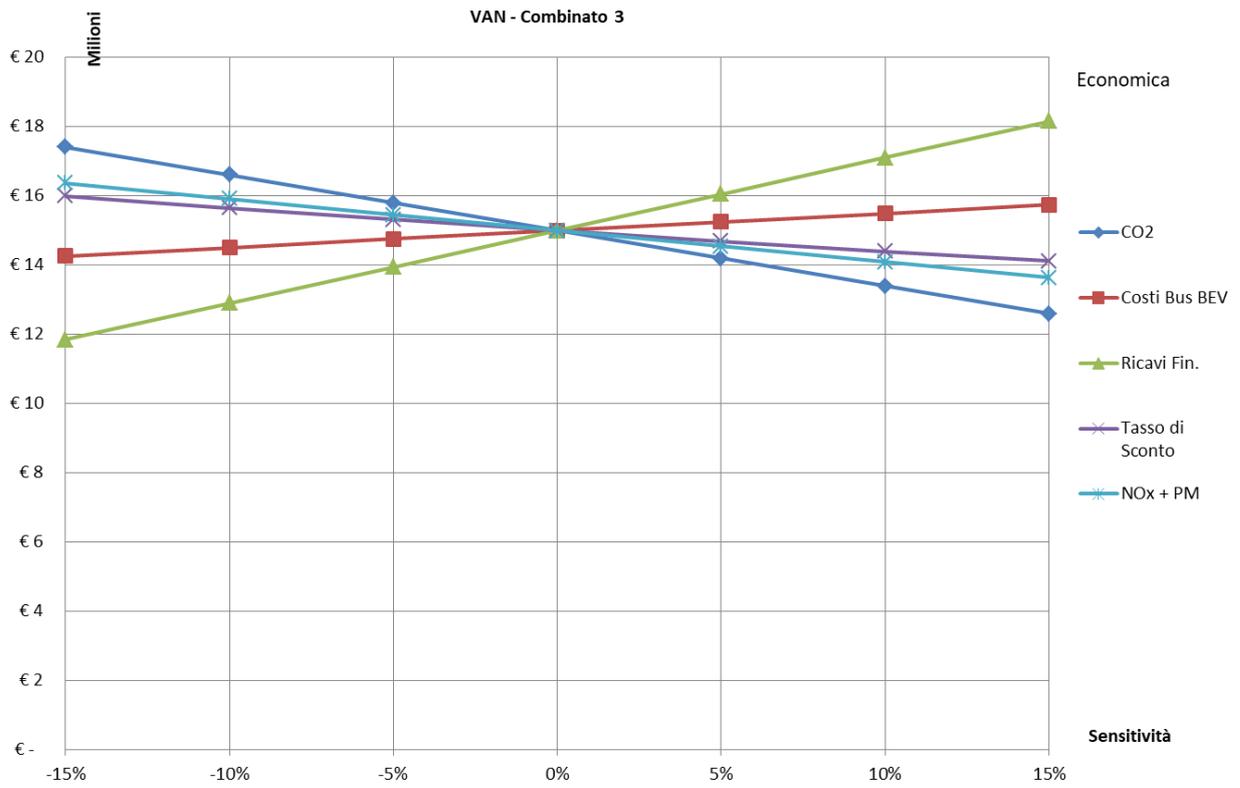


Figura 82: Analisi di Sensività del VAN sullo Scenario Combinato 3

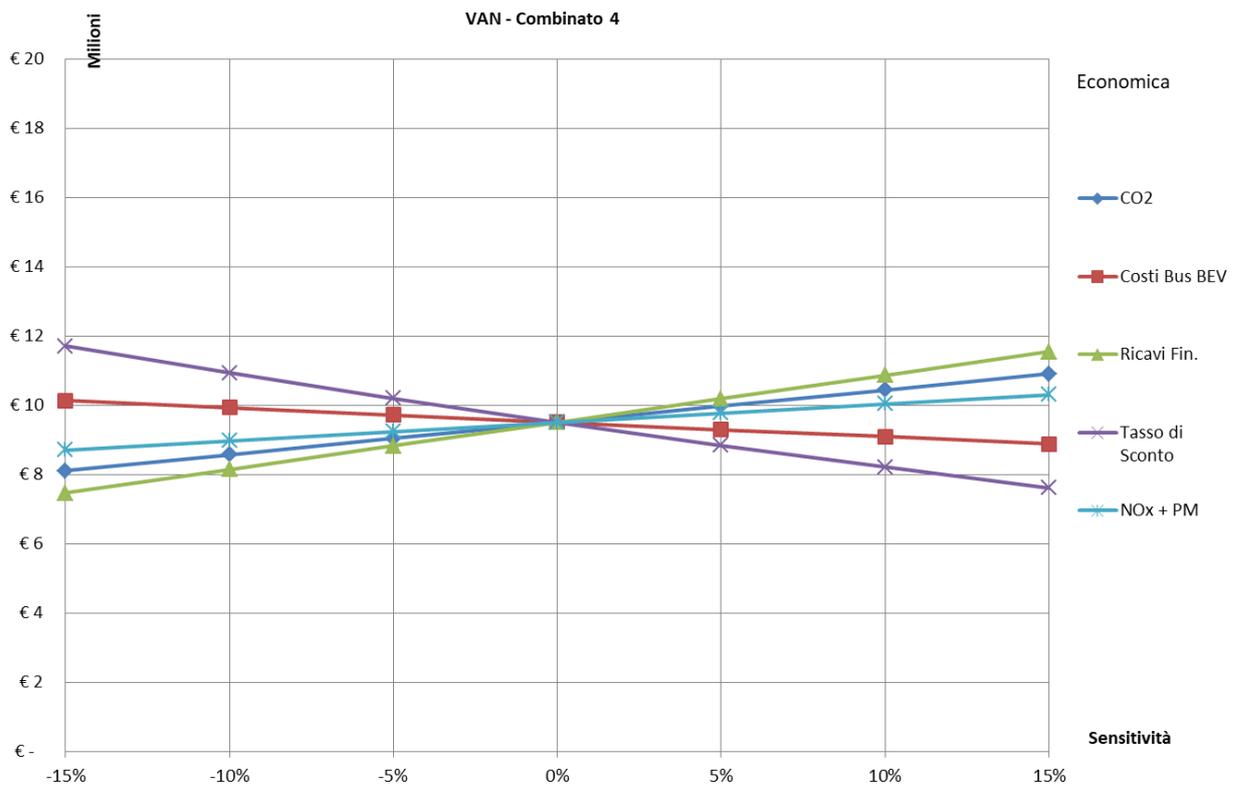


Figura 83: Analisi di Sensività del VAN sullo Scenario Combinato 4

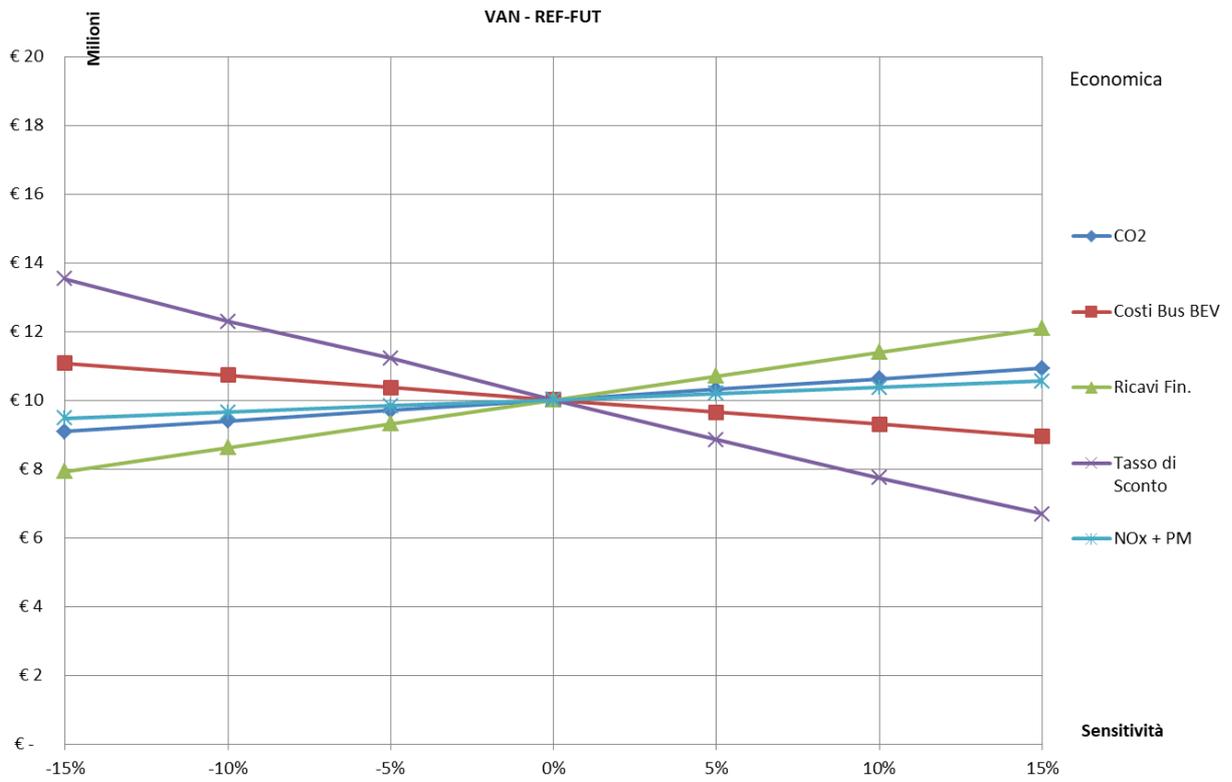


Figura 84: Analisi di Sensitività del VAN sullo Scenario REF-FUT

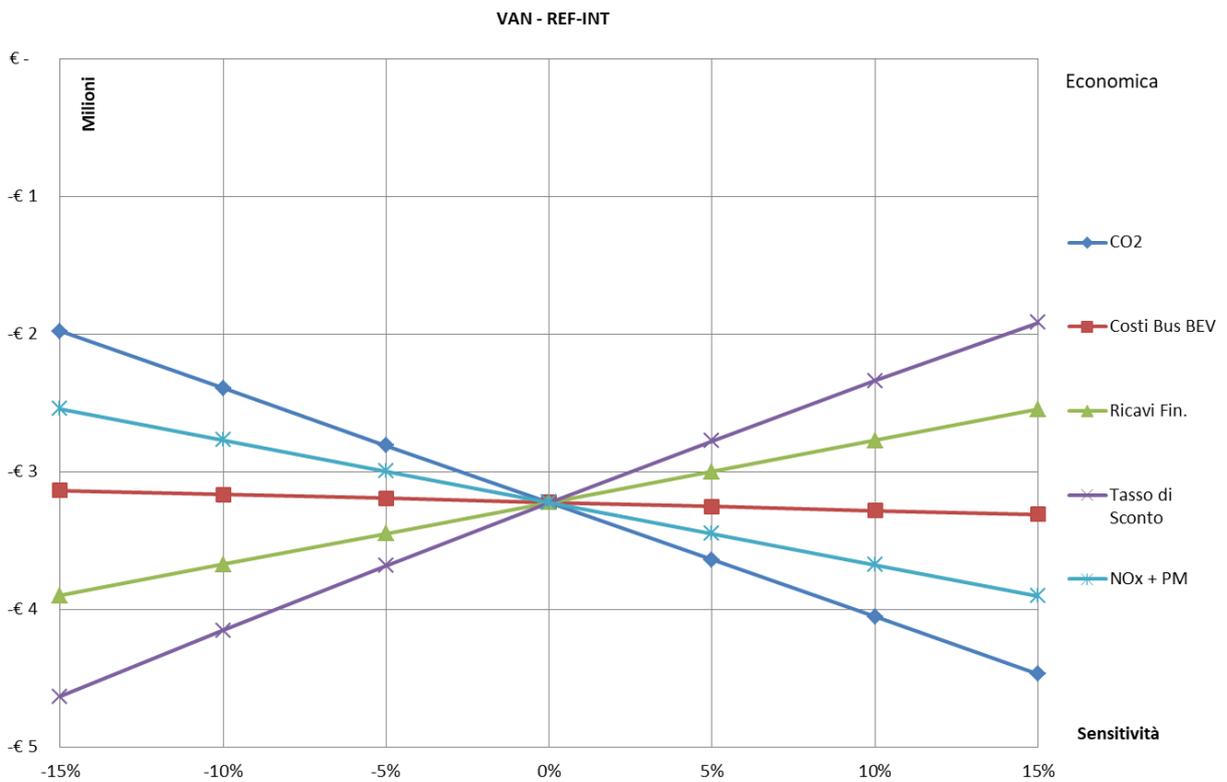


Figura 85: Analisi di Sensitività del VAN sullo Scenario REF-INT

Anche valutando attentamente i grafici relativi all'andamento del VAN economico, si possono fare le seguenti considerazioni:

- Per tutti gli scenari visti già nel paragrafo 5.4, si può notare come l'andamento di questo indicatore sia molto simile, in particolare:
 - Le rette con maggiore coefficiente angolare sono sempre quelle relative ai **ricavi finanziari** e al **costo della CO2**;
 - Se vengono incrementati il tasso di sconto e i costi dei bus elettrici, il VAN si riduce in tutti gli scenari ad eccezione del Combinato 3;
 - Se si aumentano i ricavi finanziari e i costi degli inquinanti (CO2 oppure inquinanti primari), l'indicatore considerato aumenta in tutti gli scenari ad eccezione del Combinato 3 poiché si alza la convenienza di questi ultimi rispetto alla situazione di riferimento presentata nel Capitolo 4.

- Prestando attenzione alla figura relativa allo Scenario **Combinato 3**, si può notare come gli andamenti siano leggermente diversi dalle altre situazioni, poiché in questa condizione si ha l'introduzione di uno scenario di base diverso da quello di riferimento già a partire dall'anno zero dell'analisi e si ottengono questi risultati:
 - Se i costi dei bus elettrici e i ricavi finanziari vengono incrementati, il VAN economico aumenta;
 - Se il tasso di sconto e i costi degli inquinanti (CO2 oppure inquinanti primari), lo stesso indicatore si riduce.

CAPITOLO 6: Conclusioni

Il seguente lavoro di tesi ha la finalità di trovare la migliore alternativa di intervento per il quartiere di San Salvario, per cercare di garantire la migliore transizione dalla situazione attuale dei sistemi di trasporto a quella che in futuro dovrà essere attuata, seguendo anche le indicazioni della Comunità Europea. Questa tesi può essere un punto di partenza per l'amministrazione comunale nella difficile battaglia contro l'inquinamento atmosferico della città di Torino, per garantire un avvenire maggiormente sostenibile.

In questo caso, gli scenari che si sono rivelati i migliori sono sostanzialmente due:

- **Scenario Combinato 2** (*Scenario 2018* fino al 7° anno, *Futuro* dall'8° al 16° anno e *Futuro-2* fino alla fine dell'analisi), il quale si è rilevato il più positivo dal punto di vista dell'ACB Economica, ma presenta un VAN Finanziario negativo;
- **Scenario Combinato 3** (*Scenario Intermedio* dall'inizio fino al 10° anno, *Futuro* dall'11° al 20° anno e *Futuro-2* fino alla fine dell'analisi), che è risultato il migliore dal punto di vista dell'ACB Finanziaria e possiede anche un VAN Economico positivo, ma inferiore rispetto a quello della situazione precedente.

Tabella 31: Risultati dell'ACB finanziaria ed economica per gli scenari migliori

Scenario	VAN Finanziario	VAN Economico	TIR Fin.	TIR Econ.	R/C Fin.	B/C Econ.
Combinato 2	-€ 4.763.202	€ 17.870.357	n.d.	7,61%	n.d.	4,35
Combinato 3	€ 20.675.803	€ 14.992.231	5,65%	20,11%	1,15	3,48

Analizzando i valori degli indicatori dell'ACB presentati nella tabella, si può notare che lo scenario più conveniente secondo l'ACB Economica è il **Combinato 2** (basti vedere le colonne del B/C e del VAN), ma esso è molto svantaggiato dal punto di vista finanziario se viene comparato con il **Combinato 3**, poiché in quest'ultimo si ha l'introduzione degli scenari più futuribili già dall'inizio dell'analisi, e ciò favorisce l'ammortizzamento dei costi di investimento per passare da uno scenario all'altro.

Chiaramente, se il Comune riceve aiuti finanziari dallo Stato centrale o direttamente dall'Unione Europea, si può ignorare il fatto che il Combinato 2 abbia un VAN finanziario negativo; è bene porre l'attenzione anche sul valore del TIR economico, poiché esso indica il tasso di sconto per cui il VAN diventa nullo, e in questo caso prevale il Combinato 3, poiché si ha un valore nettamente maggiore rispetto all'altra casistica.

Le analisi di sensitività effettuate su questi due scenari, come è stato mostrato nel paragrafo 5.5, rilevano ottimi risultati dal punto di vista della robustezza di entrambi, con una leggera preferenza per il **Combinato 3**.

In entrambi gli scenari combinati è presente l'introduzione di quelli di base relativi alla situazione idealizzata per il 2050 (Futuro e Futuro-2) con tempistiche leggermente diverse, ma la questione di fondamentale importanza è che in questi casi è prevista la riduzione delle emissioni di inquinanti primari (prevalentemente NOx e Particolato) e secondari.

Questa tendenza si può seguire in modo efficace, adottando le misure inserite nella presentazione degli scenari di base (aumento km del trasporto pubblico e conseguente riduzione delle percorrenze effettuate da automobili e da mezzi pesanti, oltre ad una maggiore diffusione dei veicoli a basso impatto ambientale). Le difficoltà nell'implementazione di queste misure sarebbero principalmente le seguenti:

- **Il costo d'acquisto** dei mezzi a minor impatto ambientale, come gli ibridi Plug-In o gli elettrici, che attualmente è molto più alto rispetto ad un veicolo benzina e/o diesel e ciò è valido sia per il singolo cittadino, che per le amministrazioni locali;
- Collegato ai prezzi più elevati, è fondamentale considerare il **contesto sociale** in cui è possibile attuare una rivoluzione del genere, poiché non tutte le persone possono accedere alle tecnologie più recenti e aiutare attivamente il quartiere per la riduzione delle emissioni inquinanti;
- L'**affidabilità** delle nuove tecnologie non ha ancora raggiunto i livelli di quelle convenzionali, anche perché esse vengono studiate da minor tempo rispetto a queste ultime e non è stato possibile effettuare il processo di affinamento e di ottimizzazione, in base alla tipologia di veicolo su cui vengono montate;
- La possibile **opposizione delle compagnie petrolifere** alla liberalizzazione del passaggio a sistemi di trasporto maggiormente sostenibili, poiché esse sarebbero il settore maggiormente danneggiato da questa rivoluzione, se si considera il lato economico;

Per gli sviluppi futuri di questa tesi, si può effettuare un'Analisi Multi-Criteri per cercare di considerare quegli aspetti che non possono essere monetizzati e che non sono stati inclusi nel seguente lavoro per questo motivo. Inoltre, è possibile identificare degli scenari di evoluzione completamente diversi da quelli considerati, partendo dalla combinazione degli scenari di base, i quali possono essere modificati o restare invariati.

È possibile allargare l'orizzonte spaziale di riferimento per il seguente lavoro, poiché esso si può prendere come spunto per effettuare analisi simili in altre parti d'Italia e d'Europa, soprattutto per quanto riguarda quartieri di città molto grandi e popolose, che presentano somiglianze più o meno evidenti con il caso studio. Inoltre, questa analisi si può allargare agli altri quartieri della stessa Torino, cercando di unificare tutta la città in un processo complesso come quello della riduzione dell'inquinamento. In conclusione, è importante sensibilizzare la popolazione riguardo questo tema, poiché essa è al centro della rivoluzione green che tutti i Paesi dovranno attuare, per poter salvaguardare il Pianeta da catastrofi climatiche e sociali.

Bibliografia

Capitolo 1

1. “Smart cities in Europe Enabling innovation,” — O. Clarke (2014).
2. “Smart cities in perspective – a comparative European study by means of self-organizing maps” — Peter Nijkamp, Daniel Arrivas (19 Aprile 2012)
3. “Smart cities of the future” — M. M. Batty, K. Axhausen, G. Fosca, A. Pozdnoukhov, A. Bazzani, M. Wachowicz, G. Ouzounis, Y. Portugali (Novembre 2012)
4. “Understanding the impacts of post-carbon cities in 2050” — POGACITO 2016.
5. “Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici” — https://it.wikipedia.org/wiki/Convenzione_quadro_delle_Nazioni_Unite_sui_cambiamenti_climatici
6. “Protocollo di Kyoto” — <https://www.enea.it/it/seguici/le-parole-dellenergia/glossario/parole/protocollo-di-kyoto>
7. “Conferenze sul clima: tutte le tappe da Rio a Copenaghen” — 2 Gennaio 2017 https://www.edisco.it/dentro-l-attualita/wp-content/uploads/sites/70/2017/01/02.-Conferenze_sul_clima.pdf
8. “Climate change: Warming gas concentrations at new record high” — Matt McGrath (22 Novembre 2018) <https://www.bbc.com/news/science-environment-46289829>
9. Commissione Europea, «2020 climate & energy package,» — https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_it
10. “Piano 20-20-20: il pacchetto Clima-Energia” — <https://www.reteclima.it/piano-20-20-20-il-pacchetto-clima-energia-20-20-20>
11. “Horizon 2020” — https://it.wikipedia.org/wiki/Horizon_2020
12. “Horizon 2020: UK launch for EU's £67bn research budget” — Jonathan Amos <https://www.bbc.com/news/science-environment-25961243>
13. “Horizon 2020 - Associated Countries” — https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/grants_manual/hi/3cpart/h2020-hi-list-ac_en.pdf
14. Commissione Europea, «2050 low-carbon economy,» — https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_it
15. Commissione europea, «2030 climate & energy framework,» — https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_it

16. “Smart cities in Europe Enabling innovation” — O. Clarke (2014).
17. “Current trends in Smart City initiatives: Some stylised facts” — . Neirotti, P., De Marco, A., Cagliano, A. C., Mangano, G., & Scorrano, F. (2014).
18. “Evaluation of services linked to the sustainability: a dynamic and multi-criteria approach” — Kirsi Hyytinen, Samsa Ruutu, Mika Nieminen, Faïz Gallouj, Marja Toivonen (2014)
19. “Role of Informal Sector Recycling in Waste Management in Developing Countries” — Wilson, D.C., Velis, C. and Cheeseman, C. (2006)
20. “Future of Urban Mobility 2.0. Arthur D. Little Future Lab. International Association for Public Transport (UITP)” — Van Audenhove F.; Dauby L.; Korniiichuk O.; Poubaix J. (2014)
21. “A Double-Hurdle model of urban green areas valuation: Dealing with zero responses” — Salvador del Saz-Salazar, Pau Rausell-Köster (2008)
22. “The Use of Framing in Inventory Decisions” — Schultz, K. L., Robinson, L. W., Thomas, L. J., Schultz, J., & McClain, J. O. (2018)
23. “The rise of mobility as a service” — Warwick Goodall, Tiffany Dovey Fishman, Justine Bornstein, Brett Bonthron (Deloitte Review , 2017)
24. “Auto-ID Labs - Wikipedia.” — https://en.wikipedia.org/wiki/Auto-ID_Labs
25. “Che cos’è l’IoT e come cambierà la nostra vita.” — 19 gennaio 2018
<http://www.fastweb.it/web-e-digital/internet-delle-cose-cos-e-e-come-funziona/>
26. “IoT Testbed Business Model. Adv. Internet Things,” — P. Silva, E.M. Maló (2014)
27. “Torino in una cappa smog: sforati da giorni di molto i livelli del PM10 e non si pensa ancora a limitare il traffico” — 4 dicembre 2015
<https://www.quotidianopiemontese.it/2015/12/04/torino-in-una-cappa-di-smog/>

Capitolo 2

1. “Car And The City: Socio-Technical Pathways To 2030” — Gerardo Marletto (2013)
2. ”Technological Transitions and System Innovations: A Co-evolutionary and Socio-Technical Analysis” — Geels F.W., Edward Elgar, Cheltenham (2005)
3. “Examining transport futures with scenario analysis and MCA” — Hickman R., Saxena S., Banister D., Ashiru O. (2012)
4. “Sociotechnical scenarios as a tool for transition policy: an example from the traffic and transport domain” — Elzen B., Geels F.W., Hofman P.S., Green K. (2004)
5. “A transitions model for sustainable mobility” — Kohler J., Whitmarsh L., Nykvist B., Schilperoord M., Bergman N., Haxeltine A. (2009)

6. “Findings, Conclusions and Assessments of Sustainability Transitions in Automobility” — Geels W.F., Kemp R., Dudley G., Lyons G. (2012)
7. “Transitions: Two steps from theory to policy” — Frantzeskaki N., de Haan H. (2009)
8. “The governance of sustainable socio-technical transitions” — Smith A., Stirling A., Berkhout B. (2005)
9. “The Multi-Level Perspective as a New Perspective for Studying Socio-Technical Transitions” — Geels W.F., Kemp R., Dudley G., Lyons G. (2012)
10. “'Legitimation' and 'development of positive externalities': Two key processes in the formation phase of technological innovation systems” — Bergek A., Jacobsson S., Sandén B. (2008)
11. “Niches in evolutionary theories of technical change. A critical survey of the literature.” — Schot J., Geels F.W. (2007)
12. “Typology of sociotechnical transition pathways.” — Geels W.F., Schot J. (2007)
13. “Cities and Low Carbon Transitions” — Bulkeley H., Castan Broto V., Hodson M., Marvin S. (2011).
14. “Two Billion Cars. Driving toward Sustainability” — Sperling D., Gordon G. (2009)
15. “Variety of technological trajectories in low emission vehicles (LEVs): A patent data analysis” — Oltra V., Saint Jean M. (2009)
16. “The second automobile revolution: trajectories of the world carmakers in the 21st century” — Freyssenet M. (2009)
17. “A real options reasoning approach to hybrid vehicle investments” — Avadikyan A., Llerena P. (2010)
18. “After the car” — Dennis K., Urry J. (Conference in Cambridge, 2009)
19. “The emergence of an electric mobility trajectory” — Dijk M., Orsato R.J., Kemp R. (2013)
20. “Making Cycling Irresistible: Lessons from The Netherlands, Denmark and Germany.” — Pucher J., Buehler R. (2008)
21. “E-bikes and urban transportation: emerging issues and unresolved questions.” — Pucher J., Buehler R. (2008)
22. “The Economic Cost of Physical Inactivity in China” — J.Zhang, J.Chaaban (2012)
23. “Work participation and health status in early osteoarthritis of hip and/or knee: a comparison between Cohort Hip and Cohort Knee (CHECK) and Osteoarthritis Initiative (OAI)” — Bieleman, H., Oosterveld, F., Oostveen, J., Reneman, M. & Groothoff, J. (2010)
24. “Bikesharing Worldwide” — Shaheen S., Guzman S. (2011)

25. “Innovative mobility carsharing outlook” — Shaheen S., Cohen A. (2012)
26. “La Sharing Mobility” — Anna Cabigiosu, Matteo Giacon (2017)
<http://dspace.unive.it/bitstream/handle/10579/12289/859633-1209640.pdf?sequence=2>
27. “Le tipologie di car sharing” — Ministero dell’Ambiente, Iniziativa Car-Sharing (ICS) (2019)
<https://www.icscarsharing.it/le-tipologie-di-car-sharing/>
28. “Tariffe Car Sharing” — <https://www.car2go.com/IT/it/turin/costs/>
29. “Tariffe Enjoy Torino” — <https://enjoy.eni.com/it/torino/tariffe>
30. “Definitions, Industry Developments, and Early Understanding of Shared Mobility” — Susan Shaheen, Nelson Chan, Apaar Bansal, Adam Cohen (2015)
31. “Review of projections and scenarios for transport in 2050; Task 9, Report V” — Rijkee A.G., van Essen H.P. (2010), www.eurtransportghg2050.eu
32. “Triggering the development of electric mobility: a review of public policies; European Transport Research Review” — Leurent F., Windisch E. (2011)
33. “Cost and CO2 aspects of future vehicle options in Europe under new energy policy scenarios” — Thiel C., Perujo A., Mercier A. (2010)
34. “Sustainable mobility: from technological innovation to societal learning” — Vergragt P.J., Brown H. (2007)
35. “Looking over the horizon: Transport and reduced CO2 emissions in the UK by 2030” — Hickman R., Banister D. (2007)
36. “Modelling transport energy demand: A socio-technical approach” — Anable J., Brand C., Tran M., Eyre N. (2012)
37. “Vehicle-to-grid systems for sustainable development: An integrated energy analysis” — Turton H., Mourab F. (2008)
38. “Beyond batteries: An examination of the benefits and barriers to plug-in hybrid electric vehicles (PHEVs) and a vehicle-to-grid (V2G) transition” — Sovacool B.K., Hirsh R.F. (2009)
39. “Policy options for electric vehicle charging infrastructure in C40 cities” — Wiederer A., Philip R. (2010)
40. “Evolving Power and Environmental Policy: Explaining Institutional Change with Group Selection” — Safarzynska K., van den Bergh J.C.J. (2010)
41. “Business Model Generation”, vol.30 — A. Osterwalder, Y. Pigneur, A. Smith, and T. Movement (2010)
42. “Mobile Business and the Smart City: Developing a Business Model Framework to Include Public Design Parameters for Mobile City Services” — N. Walravens (2012)

Capitolo 3

1. “Auto elettrica, com’è fatta una batteria, quanti tipi ne esistono” — 16 Agosto 2018, <https://it.motor1.com/features/262506/come-fatta-e-quanti-tipi-batteria-esistono-auto-elettrica/>
2. “Auto elettriche, le nuove frontiere per le batterie” — 17 Gennaio 2019, <https://it.motor1.com/features/301360/auto-elettriche-le-nuove-frontiere-per-le-batterie/>
3. “Tesla Supercharger: come funziona la ricarica veloce di Tesla” — 30 Settembre 2017, <https://www.motorionline.com/2017/09/30/tesla-supercharger-come-funziona/>
4. Tesla Supercharger — https://it.wikipedia.org/wiki/Tesla_Supercharger
5. “World Energy Outlook 2011” — International Energy Agency (IEA) (2011) <http://www.worldenergyoutlook.org/weo2011/>
6. Oak Ridge National Laboratory, “Transportation Energy Data Book” — July 31, 2014 http://cta.ornl.gov/data/tedb33/Edition33_Full_Doc.pdf
7. International Energy Agency (IEA), “World Energy Outlook 2014” — <http://www.worldenergyoutlook.org/weo2014/>
8. International Energy Agency (IEA), “Energy Technology Perspective - Scenarios & Strategies to 2050” — (2010) <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/etp2010.pdf>
9. Eurostat, “Energy, transport and environment indicators” — Eurostat, Pocketbook ISSN 1725-4566 (2013)
10. C. Aoun, “Smart Cities cornerstone series - Urban Mobility in the Smart City Age” — Schneider Electric, 2014.
11. A. Grenier, S. Page, “The impact of electrified transport on local grid infrastructure: A comparison between electric cars and light rail” — Elsevier Ottobre 2012
12. International Energy Agency (IEA), “Global EV Outlook: Understanding the Electric Vehicle Landscape to 2020” — 2013 https://www.iea.org/publications/globalevoutlook_2013.pdf
13. International Energy Agency (IEA), “Technology Roadmap - Electric and plug-in hybrid electric vehicles” — 2011, available on line at url https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EV_PHEV_Roadmap.pdf
14. “Tesla (azienda)” — <https://it.wikipedia.org/wiki/Tesla>
15. “Introducing Megapack: Utility-Scale Energy Storage” — luglio 2019. https://www.tesla.com/it_IT/blog/introducing-megapack-utility-scale-energy-storage
16. “Tesla acquista Solar City per 2,6 miliardi di dollari. Via alla fusione” — 1 agosto 2018 https://www.auto.it/news/green/2016/08/01-394840/tesla_acquista_solar_city_per_2_6_miliardi_di_dollari_via_alla_fusione/

17. (EN) “Tesla Completes Acquisition of Maxwell Technologies” — <https://ir.tesla.com/news-releases/news-release-details/tesla-completes-acquisition-maxwell-technologies>
18. “Industria e Finanza, Tesla - Musk compra DeepScale, una startup di intelligenza artificiale” — 2 ottobre 2019, https://www.quattroruote.it/news/industria-finanza/2019/10/02/tesla_acquistata_deepscale_start_up_attiva_nell_intelligenza_artificiale.html
19. “La storia di Tesla: il sogno elettrico di Elon Musk” su Il Sole 24 ORE — <https://st.ilsole24ore.com/art/motori/2014-10-09/la-storia-tesla-sogno-elettrico-elon-musk-194525.shtml?uui=ACFzEcqB>
20. (EN) ”Batteries Included”, Joshua Davis — 1° agosto 2006 <https://www.wired.com/2006/08/tesla-3/>
21. “Lotus Position” — 25 luglio 2006 https://www.tesla.com/it_IT/blog/lotus-position
22. “Tesla Roadster: va come un lampo, ma state vicino a casa...” — 15 febbraio 2011 https://www.alvolante.it/primo_contatto/tesla_roadster_2_5_sport
23. “Tesla Model S” — https://it.wikipedia.org/wiki/Tesla_Model_S
24. “Tesla Motors inizia le consegne della Model S, la berlina elettrica premium” — http://www1.adnkronos.com/IGN/News/Aziende_Informano/Tesla-Motors-inizia-le-consegne-della-Model-S-la-berlina-elettrica-Premium_313444240408.html
25. ”Listino Tesla Model X” — https://www.alvolante.it/listino_auto/tesla-model_x
26. (EN) “Almost Half The Cars Bought In Norway Last Month Were Electrified, in Hybrid Cars” — Jeff Cobb 11 ottobre 2016. <https://www.hybridcars.com/almost-half-the-cars-bought-in-norway-last-month-were-electrified/>
27. “Listino Tesla Model 3” — <https://www.quattroruote.it/listino/tesla/model-3>
28. “Tesla Model 3 battery packs have capacities of ~50 kWh and ~75 kWh, says Elon Musk” — 8 agosto 2017. <https://electrek.co/2017/08/08/tesla-model-3-battery-packs-50-kwh-75-kwh-elon-musk/>
29. “Tesla Model Y: prezzo, caratteristiche e data d’uscita del crossover”, Luca Secondino — 26 ottobre 2018. <https://www.money.it/Tesla-Model-Y-prezzo-caratteristiche>
30. “Tesla Semi: Il camion elettrico che fa da 0 a 96 km/h in 5 secondi”, Emanuele Colombo — <https://www.motorbox.com/tecnologia/elon-musk-svela-il-camion-elettrico-tesla-autonomia-e-caratteristiche>
31. “Tesla Semi: i test sui monti della California” — <https://www.quotidianomotori.com/automobili/tesla/tesla-semi/>
32. “Nuova Tesla Roadster 2: l’elettrica che straccia le supercar”, Marco Congiu — <https://www.motorbox.com/auto/magazine/auto-novita/nuova-tesla-roadster-2020-prezzo-prestazioni-scheda-tecnica>

33. “L’industria automotive mondiale nel 2018 e trend 2019” — Area Studi ANFIA (Luglio 2019)
34. “Pollutant and CO2 emissions from passenger cars: Update on CO2 emission targets & RDE.” — Ezio Spessa (2019)
35. “Pollutant and CO2 emissions from passenger cars: Legislative frameworks for pollutants” — Ezio Spessa (2019)
36. “Acquistare un'auto nuova nel 2019: come funzionano ecobonus ed ecotassa” — 27 giugno 2019 <https://www.altroconsumo.it/auto-e-moto/automobili/news/ecotassa-ecobonus-incentivi-auto#>
37. “Uno studio svela il paradosso delle auto elettriche” — 15 Novembre 2019 <https://motori.virgilio.it/notizie/uno-studio-svela-il-paradosso-delle-auto-elettriche/133757/>
38. “Auto Elettriche 2019: Modelli, Listino Prezzi, Pro E Contro” — <https://www.patentati.it/listini-auto/elettriche.html>
39. “Auto elettriche: ecco i migliori modelli in commercio nel 2019” — 22 ottobre 2019 <https://www.automobile.it/magazine/acquisto-auto/auto-elettriche-3083>
40. “Powertrain Electrification” — Luciano Rolando, Federico Millo (14 Dicembre 2018)
41. “HEV Architectures” — Ezio Spessa (2017)
42. “Auto Ibride 2019: Modelli, Listino Prezzi, Pro e Contro” — <https://www.patentati.it/listini-auto/ibride.html>
43. “Auto ibride in vendita in Italia – Elenco completo 2019” — <https://www.drivek.it/guide/auto-ibride-vendita-italia/>
44. “Listino Auto Italiane Dicembre 2019” — https://www.alvolante.it/listino_auto/ricerca?filtro=ali%5Bibrida%3Aibrida%5D-co2%5Bmax%3A72%5D

Capitolo 4

1. “Smog, Torino è la città europea più inquinata da biossido di azoto” — (2019) <http://www.torinotoday.it/green/torino-citta-europea-piu-inquinata.html>
2. “San Salvario Story” — <https://web.archive.org/web/20140221125839/http://sunsalvario.it/nel-quartiere/san-salvario-story/>
3. “San Salvario” — https://it.wikipedia.org/wiki/San_Salvario
4. “Torino, la bomba di via Nizza è stata disinnescata e portata via: la città riparte” — https://torino.repubblica.it/cronaca/2019/12/01/news/torino_il_giorno_della_bomba_alle_7_lo_sgombero_operazioni_concluse_entro_le_16_30-242323907/

5. “Trasformazioni, reti e politiche pubbliche a San Salvario, Torino: Archivio di Studi Urbani e regionali” — A. Bocco, (2007).
6. “Supporto tecnico allo sviluppo locale partecipato: un’esperienza nel quartiere di San Salvario, Torino” — A. Bocco, (2006).
7. <https://www.osservatoriopums.it/torino>
8. “Piano Urbano della Mobilità Sostenibile” — <http://geoportale.comune.torino.it/web/sezioni-tematiche/piano-urbano-della-mobilita-sostenibile-introduzione>
9. «Indagine sulle principali 50 città» — Osservatorio Mobilità Sostenibile in Italia, Lorenzo Bertuccio, Valerio Piras (2018)
10. Parco Veicoli circolante in Italia — <http://www.comuni-italiani.it/statistiche/veicoli.html>
11. “La Mobilità In Transizione: L’esigenza Di Un Accompagnamento Consapevole Ed Evoluto” — (2018) http://www.unrae.it/files/Studio%20CENSIS_5af9838c387f9.pdf
12. “Car sharing, cresce il mercato dell’auto che non si compra” — Alberto Magnani (2018) <https://www.ilsole24ore.com/art/car-sharing-cresce-mercato-dell-auto-che-non-si-compra-AERas8fG>
13. Mappa delle postazioni di ricarica — <https://www.bluetorino.eu/#turin>
14. Tariffe occupazione suolo pubblico (2018) — http://www.comune.torino.it/cosap/#suolo_pubblico
15. “Quartieri urbani sostenibili: Un processo di valutazione supportato dall’analisi COSIMA. Il caso del quartiere di San Salvario” — Stefano Paolo Corgnati, Giulia Pederiva, Marta Carla Bottero, Cristina Becchio
16. “ToBike, Come si usa?” — <http://www.tobike.it/frnCose.aspx>
17. “Bici assenti e stazioni rotte, il dramma ToBike a Torino: Non ci arrendiamo, a settembre ripartiremo” — 31 Agosto 2019 <http://www.torinoggi.it/2019/08/31/leggi-notizia/argomenti/attualita-8/articolo/bici-assenti-e-stazioni-rotte-il-dramma-tobike-a-torino-non-ci-arrendiamo-a-settembre-ripartir.html>
18. “Il rilancio di ToBike: mille nuove biciclette a prova di vandali nelle strade di Torino” — 17 Gennaio 2020 <https://www.lastampa.it/torino/2020/01/17/news/il-rilancio-di-tobike-mille-nuove-biciclette-a-prova-di-vandali-nelle-strade-di-torino-1.38343084>
19. Intervalli Orari Bus Gtt, 4/11/19 — http://www.gtt.to.it/cms/risorse/urbana/intervalli_sito.pdf
20. Dettaglio Linee Bus GTT 2019 — <http://www.gtt.to.it/cms/percorari/urbano?view=linee&bacino=U>
21. “Guida all’analisi costi-benefici dei progetti d’investimento: Strumento di valutazione economica per la politica di coesione 2014-2020” — Commissione Europea, Direzione generale della Politica regionale e urbana (2014)

22. “La Mobilità In Transizione: L’esigenza Di Un Accompagnamento Consapevole Ed Evoluto” – Rapporto Di Ricerca CENSIS (2018)
23. “Fuelling Europe's Future: How Auto Innovation leads to EU jobs» — Nikolas Hill, Sujith Kollamthodi, Adarsh Varma, Stephanie Cesbron, Peter Wells, Shane Slater, Celine Cluzel ; <https://europeanclimate.org/content/uploads/2019/12/fuelling-europes-future-how-auto-innovation-leads-to-eu-jobs-full-report-en.pdf>
24. “Reaching carbon neutral transport sector in Denmark: Evidence from the incorporation of modal shift into the TIMES energy system modeling framework” — Jacopo Tattini, Maurizio Gargiulo, Kenneth Karlsson (2017)
25. “Modelling Transport Energy Demand: A Socio-technical Approach” — Jillian Anable, Christian Brand, Martino Tran, Nick Eyre (2010)
26. Commissione Europea, «2050 low-carbon economy,» — https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_it
27. “I programmi di finanziamento dell’Unione che promuovono l’eco-innovazione” — https://ec.europa.eu/environment/ecoap/about-action-plan/union-funding-programmes_it
28. “Acquisto di 19 autobus elettrici in Piemonte” – Dicembre 2016 https://sppregions.eu/fileadmin/user_upload/Tenders/APE/SPP_Regions_Tender_model_-_GTT_ita.pdf
29. “Parigi sceglie i bus a metano di Iveco per la mobilità pubblica” – Filomena Greco, 16 Ottobre 2019 <https://www.ilsole24ore.com/art/parigi-sceglie-bus-metano-iveco-la-mobilita-pubblica-ACMI7Qs>
30. “Large order from Hanover: public transport provider ÜSTRA has concluded a framework agreement for 48 fully electric Mercedes-Benz eCitaro buses” – <https://media.daimler.com/marsMediaSite/en/instance/ko/Large-order-from-Hanover-public-transport-provider-UeSTRA-has-concluded-a-framework-agreement-for-48-fully-electric-Mercedes-Benz-eCitaro-buses.xhtml?oid=44078519>
31. “Handbook on the external costs of transport” — Huib van Essen, Lisanne van Wijngaarden, Arno Schrotten, Daniel Sutter, Cuno Bieler, Silvia Maffii, Marco Brambilla, Davide Fiorello, Francesca Fermi, Riccardo Parolin, Kareen El Beyrouty (2019)
32. “Tre premi per gli autobus Daimler al Busworld Europe 2019” – Ottobre 2019 <https://www.lacittadellautobus.it/rubriche/noi/ecitaro-sustainable-bus-of-the-year-2019/>
33. “Parco veicolare Torino” – ACI, (2018) <http://www.opv.aci.it/WEBDMCircolante/index.html>
34. “La banca dati dei fattori di emissione medi del trasporto stradale in Italia” — ISPRA, (2017) <http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/fetransp>
35. “Pollutant and CO2 emissions from passenger cars: Legislative frameworks for pollutants” — Ezio Spessa (2019)

36. "Per gli autocarri il "veicolo da un litro" è ormai realtà: il nuovo Mercedes-Benz Actros lo dimostra con un test non-stop di 10.000 chilometri" – <https://media.mercedes-benz.it/per-gli-autocarri-il-veicolo-da-un-litro-e-ormai-realta-il-nuovo-mercedes-benz-actros-lo-dimostra-con-un-test-non-stop-di-10000-chilometri/>
37. "Calcolo Emissioni CO2" – <https://www.sunearthtools.com/it/tools/CO2-emissions-calculator.php>
38. "Pollutant and CO2 emissions: Legislative frameworks for Heavy Duty vehicles" – Ezio Spessa (2019)
39. "Le normative europee sulle emissioni" – <http://arcipelagoareac.it/doku.php/libro:normativeeuro>
40. "Schede Tecniche Parco Veicoli GTT" – Dicembre 2017
http://www.gtt.to.it/cms/risorse/gruppo/veicoli/parco_veicoli_tpl.pdf
41. "Download Brochure Tecniche Mercedes Conecto, eCitaro e Citaro" – https://www.mercedes-benz-bus.com/it_IT/buy/services-online/download-technical-brochures.html

Capitolo 5

1. "Analisi Costi Benefici" – https://it.wikipedia.org/wiki/Analisi_costi-benefici
2. "La Valutazione Dei Progetti Secondo Il Metodo Dell'analisi Costi Benefici" – Matteo Zanetti <http://www.asfim.org/la-valutazione-dei-progetti-secondo-il-metodo-dellanalisi-costi-benefici/>
3. "L'AIR, l'ACB e i Processi di Decisione Pubblica: tre aspetti critici" in "La Valutazione dei Costi e dei Benefici nell'Analisi dell'Impatto della Regolazione" – Piacentino D., Momigliano S. e Nuti, F. (2001).
4. "Cost-benefit analysis methodology" – PAHO (2019)
https://www.paho.org/disasters/index.php?option=com_docman&view=download&alias=2178-smart-hospitals-toolkit-cost-benefit-analysis-cba&category_slug=smart-hospitals-toolkit&Itemid=1179&lang=en
5. "Guidelines for conducting a cost-benefit analysis of Smart Grid projects" – JRC Reference Report, Joint Resarch Centre (2012)
6. "Discount rates and sustainability" – International Journal of Social Economics forthcoming, J. Quiggin (1997)
7. "Guida all'analisi costi-benefici dei progetti d'investimento: Strumento di valutazione economica per la politica di coesione 2014-2020" – Commissione Europea, Direzione generale della Politica regionale e urbana (2014)

8. «Il tasso sociale di sconto nelle Analisi Costi Benefici applicate ai trasporti: una proposta alternativa» – Alessio Marabucci (2018)
9. “Multi- Criteria Decision Support Methods for Renewable Energy Systems on Islands” – C. Wimpler, G. Hejazi, E. de Oliveira Fernandes, C. Moreira e S. Connors (2015)
10. “Selection of MCA methods to support decision making for renewable energy developments” – T. Kurka e D. Blackwood (2013)
11. “L’analisi Multicriteri” – Luisa Santini (2018)
<http://www.dic.unipi.it/l.santini/edilearchitettura/AA2018-2019/LEZIO%206%20AMC.pdf>
12. “Quartieri urbani sostenibili: Un processo di valutazione supportato dall’analisi COSIMA. Il caso del quartiere di San Salvario” – Stefano Paolo Corgnati, Giulia Pederiva, Marta Carla Bottero, Cristina Becchio
13. “L’analisi Multi Criterio Per La Valutazione Di Progetti Pubblici: Il Software E Un’analisi Empirica” – G. Skonieczny, B. Torrisi, D. Cappellano, (2005) <http://sa-ijas.stat.unipd.it/sites/sa-ijas.stat.unipd.it/files/451-468.pdf>
14. “Composite decision support by combining cost-benefit and multi-criteria decision analysis” – M. B. Barfod, K. B. Salling e S. Leleur (2011)
15. “MCDA and Risk Analysis in Transport Infrastructure Appraisals: the Rail Baltica Case” – Procedia Social and Behavioral Sciences (2011)
16. “Bilancio d’esercizio al 31 dicembre 2018” –
http://gtt.to.it/cms/risorse/gruppo/Bilancio_GTT_2018.pdf
17. “Presentati I Nuovi Bus Gtt Mercedes Conecto” – 2 Agosto 2019
<http://www.gtt.to.it/cms/avvisi-e-informazioni-di-servizio/torino-e-cintura/6493-presentati-i-nuovi-bus-gtt-mercedes-conecto-provali-sabato-3-e-domenica-4-agosto>
18. “Acquisto di 19 autobus elettrici in Piemonte” – Dicembre 2016
https://sppregions.eu/fileadmin/user_upload/Tenders/APE/SPP_Regions_Tender_model_-_GTT_ita.pdf
19. “Parigi sceglie i bus a metano di Iveco per la mobilità pubblica” – Filomena Greco, 16 Ottobre 2019 <https://www.ilsole24ore.com/art/parigi-sceglie-bus-metano-iveco-la-mobilita-pubblica-ACMI7Qs>
20. “Tre premi per gli autobus Daimler al Busworld Europe 2019” – Ottobre 2019
<https://www.lacittadellautobus.it/rubriche/noi/ecitaro-sustainable-bus-of-the-year-2019/>
21. “Large order from Hanover: public transport provider ÜSTRA has concluded a framework agreement for 48 fully electric Mercedes-Benz eCitaro buses” –
<https://media.daimler.com/marsMediaSite/en/instance/ko/Large-order-from-Hanover-public-transport-provider-UeSTRA-has-concluded-a-framework-agreement-for-48-fully-electric-Mercedes-Benz-eCitaro-buses.xhtml?oid=44078519>

22. “Handbook on the external costs of transport” — Huib van Essen, Lisanne van Wijngaarden, Arno Schroten, Daniel Sutter, Cuno Bieler, Silvia Maffii, Marco Brambilla, Davide Fiorello, Francesca Fermi, Riccardo Parolin, Kareen El Beyrouty (2019)
23. Tariffe occupazione suolo pubblico (2018) — http://www.comune.torino.it/cosap/#suolo_pubblico
24. Tariffe Pubblicità Temporanea Anno 2014 — http://www.comune.torino.it/tasse/bm~doc/tariffe_pubblicita_temporanea.pdf
25. «Car2go, ecco quanto conviene il car sharing ai Comuni italiani» — Agosto 2015 <https://www.ilfattoquotidiano.it/2015/08/21/car2go-ecco-quanto-conviene-il-car-sharing-ai-comuni-italiani/1927301/>
26. “Indagine sulla Mobilità delle Persone e sulla Qualità dei Trasporti Rapporto di sintesi sull'area metropolitana” — (2015) http://mtm.torino.it/it/dati-statistiche/indagine-imq-2013/pdf-1/IMQ2013_RapportoSintesi.pdf
27. “La Mobilità In Transizione: L’esigenza Di Un Accompagnamento Consapevole Ed Evoluto” — Rapporto Di Ricerca CENSIS (2018)
28. “Reaching carbon neutral transport sector in Denmark: Evidence from the incorporation of modal shift into the TIMES energy system modeling framework” — Jacopo Tattini, Maurizio Gargiulo, Kenneth Karlsson (2017)
29. “Fuelling Europe's Future: How Auto Innovation leads to EU jobs» — Nikolas Hill, Sujith Kollamthodi, Adarsh Varma, Stephanie Cesbron, Peter Wells, Shane Slater, Celine Cluzel ; <https://europeanclimate.org/content/uploads/2019/12/fuelling-europes-future-how-auto-innovation-leads-to-eu-jobs-full-report-en.pdf>
30. “I programmi di finanziamento dell’Unione che promuovono l’eco-innovazione” — https://ec.europa.eu/environment/ecoap/about-action-plan/union-funding-programmes_it
31. “Analisi di Sensitività” — <http://static.gest.unipd.it/labtesi/eb-didattica/EAI/sensitivita.pdf>
32. “Sensitivity analysis: un supporto alle decisioni di investimento” — <https://www.evaluation.it/teoria-finanza/formazione/sensitivity-analysis-un-supporto-alle-decisioni-di-investimento/>
33. “Decision making for sustainable urban energy planning: an integrated evaluation framework of alternative solutions for a NZED (Net Zero-Energy District) in Turin” — M.C.Bottero, C.Becchio, S.P.Corgnati, F.Dell’Anna (2018)

Indice delle Figure

Figura 1: Sono presentati gli sviluppi più importanti della nozione di Smart City in ordine temporale. Fonte: Shields (2014)	12
Figura 2: Emissioni di CO2 aggiornate al 2018 delle maggiori potenze economiche mondiali. Fonte: Wikipedia	14
Figura 3: Situazione della ratificazione e della firma dell'Accordo di Parigi, aggiornata al 31 Maggio 2017. Fonte: UNFCC	18
Figura 4: A sinistra, il confronto delle emissioni di CO2 totali dei 40 Paesi più inquinanti nel mondo; a destra il confronto tra le emissioni di CO2 pro-capite di questi Paesi. Fonte: database Edgar	19
Figura 5: Obiettivi del Piano 20-20-20. Fonte: www.reteclima.it	21
Figura 6: Riduzione delle emissioni di Gas ad effetto serra nell'UE in base ai diversi settori di riferimento. Fonte: Commissione Europea, 2050 low-carbon economy.	22
Figura 7: Previsioni relative all'uso di energia per il trasporto fino al 2050. Fonte: IEA, 2013 ...	26
Figura 8: Rappresentazione degli ambiti su cui influisce il concetto di Smart City. Fonte: www.reccom.org	26
Figura 9: Sviluppo mondiale delle ICT nel periodo 2001-2018 Fonte: ITU World Telecommunication (2018)	27
Figura 10: Incremento dell'urbanizzazione fino al 2050. Fonte: World Urbanization Prospects, 2014.....	34
Figura 11: Circolo vizioso che porta alla costruzione di nuove strade per la risoluzione dei problemi di congestionamento di una città. Fonte: Ministério das Cidades, 2008	38
Figura 12: Differenza di concentrazione degli ossidi di azoto (NOx), in seguito all'introduzione del teleriscaldamento, in luogo delle classiche caldaie. Fonte: www.corriere.it	39
Figura 13: Nella parte superiore sono descritte le emissioni di PM per km percorso da un passeggero a bordo di quei mezzi, mentre l'altra figura rappresenta le emissioni di GHG giornaliere suddivise per tipologia di mezzo di trasporto. Fonte: IEMA, 2017	40
Figura 14: Fattore di rischio associato all'attività fisica. Fonte: Garrett e al. (2004)	49
Figura 16: Riassunto dei pregi e dei difetti dei due servizi di car-sharing, vale a dire il Free-Floating e lo Station-Based. Fonte: “Le tipologie di car sharing” — Ministero dell’Ambiente (ICS)	52
Figura 17 : Mappa Socio-Tecnica della mobilità urbana con sistemi e attori coinvolti.....	53
Figura 18: Scenario di Transizione "AUTO-City": Situazione Finale nel 2030.....	55

Figura 19: Scenario di Transizione "ECO-City": Situazione Finale nel 2030	58
Figura 20: Scenario di Transizione "City ELECTRIC": Situazione Finale nel 2030	60
Figura 21: Schema Business Models, diviso in Canvas	62
Figura 22: A Sinistra l'esempio della Panda Elettra (1990), a destra quello della Cinquecento Elettra(1996).....	69
Figura 23: Schema posizionamento del motore elettrico, termico e Batteria al Ni-MH nella Toyota Prius di seconda generazione. Fonte: Toyota.....	70
Figura 24: Immagine di una batteria agli ioni di litio installata in applicazioni automotive. Fonte: www.motor1.com	70
Figura 25: Schema costruttivo della Tesla Model S, che monta batterie ai Polimeri di Litio. Fonte: www.motor1.com	71
Figura 26: Grafico che mostra l'andamento crescente della richiesta di materiali per la costruzione di batterie al Litio in applicazioni automotive	72
Figura 27: Batterie Metallo-Aria, dove per la ricarica serve la de-ossidazione del metallo con l'uso di ossigeno puro, e per l'utilizzo di energia si usa l'ossidazione del metallo da parte dell'aria. Fonte: www.motor1.com	73
Figura 27: Confronto tra diverse tipologie di batterie su potenza sviluppata ed energia immagazzinata.....	74
Figura 29: Standard di Ricarica attualmente presenti in commercio	75
Figura 30: Alcuni modelli Elettrici con dimensione della batteria e range di percorrenza con 1 sola ricarica, secondo ciclo NEDC.....	75
Figura 31: È rappresentato un esempio di stazione di servizio, costruita da Tesla, dove sono installati i Supercharger.....	76
Figura 32: Richiesta di energia mondiale, divisa per tipologia di combustibile, secondo il New Policies Scenario. Fonte: IEA-WEO, 2011	77
Figura 33: A sinistra, il consumo finale di energia, diviso in settori, nel 2040 secondo il New Policies Scenario, a destra l'uso dell'energia nel settore dei trasporti. Fonte: IEA-KWES, 2015 e 2014.....	78
Figura 34: Richiesta di energia, divisa in settori e in aree geografiche, secondo il New Policies Scenario. Fonte: IEA-WEO, 2014.....	79
Figura 35: Emissioni di Green-House Gas nell'area EU-28, divisa per tipologie di trasporto. Fonte: Eurostat Pocketbook, 2013	80
Figura 36: Emissioni di CO2 relative al consumo di energia delle 5 super-potenze mondiali. Fonte: IEA-WEO, 2011.....	80

Figura 37: Consumo mondiale di energia, diviso in settori, secondo il New Policies Scenario. Fonte: IEA-WEO, 2014.....	81
Figura 38: Vendite annuali di auto, suddivise per tipologia di alimentazione, secondo il BLUE Map Scenario. Fonte: IEA-Technology Roadmap, 2013	82
Figura 39: Sopra è presente una tabella con le vendite annuali di veicoli BEV+PHEV fino al 2030, sotto è presente la rappresentazione grafica di questa tabella, secondo le previsioni del BLUE Map Scenario. Fonte: IEA-Technology Roadmap, 2013.....	83
Figura 40: A sinistra il numero di veicoli BEV e PHEV offerti a listino dalle Case automobilistiche, a sinistra le vendite previste per ogni modello (da moltiplicare per il numero di modelli per avere il totale delle vendite). Fonte: IEA-Technology Roadmap, 2013	83
Figura 41: Vendite totali di EV e di PHEV, suddivise per marco-regioni, fino al 2020. Fonte: IEA-Technology Roadmap, 2013.....	84
Figura 42: A sinistra le vendite di automobili BEV(linea nera)+PHEV, suddivise per Stati; a destra la previsione di vendita di veicoli totali, con la percentuale di BEV+PHEV (linea gialla) fino al 2040, secondo Bloomberg New Energy Finance.....	84
Figura 43: Previsione di vendita di veicoli "zero emissions", suddivisi in categorie, secondo due scenari. Fonte: IEA Analysis, 2018.....	85
Figura 44: Proiezione delle vendite globali di autovetture a sinistra, mentre a destra si ha l'andamento del consumo di combustibile delle auto vendute	85
Figura 45: Vendite di veicoli BEV+PHEV in Europa nel 2018 con variazione percentuale rispetto al 2017.....	86
Figura 46: Un'immagine della Tesla Roadster su strada, dove si nota la somiglianza con la Lotus Elise. Fonte: Wikipedia	88
Figura 47: Tesla Model S, nella versione pre-restyling (2012). Fonte: Wikipedia.....	89
Figura 48: Tesla Model X, con la sua caratteristica apertura delle portiere posteriori (Falcon Wings). Fonte: Wikipedia	90
Figura 49: Tesla Model 3, l'auto più economica del produttore americano. Fonte: Wikipedia	91
Figura 50: Tesla Model Y, il SUV-Crossover basato sulla Model 3, che entra in produzione a fine 2019. Fonte: Wikipedia.....	91
Figura 51: Tesla Semi, il camion dell'azienda americana, mostrato in un render al PC. Fonte: www.motorbox.com	92
Figura 52: La nuova Tesla Roadster, in un progetto virtuale presentato dalla stessa casa americana nel 2017. Fonte: www.motorbox.com	93

Figura 53: Densità di veicoli per abitante, riferita a diversi sistemi di trasporto. Fonte: ACI, 2018	95
Figura 54: A sinistra la divisione per alimentazione del parco autovetture italiano, mentre a destra la suddivisione per standard emissivi. Fonte: ACI, 2018	96
Figura 55: Timeline dello sviluppo dei veicoli ibridi, a partire dai primi anni Duemila. Fonte: “Powertrain Electrification”, Luciano Rolando, Federico Millo (14 Dicembre 2018)	101
Figura 56: Grafico che mostra la dipendenza dal voltaggio e dalla potenza delle funzioni svolte dal powertrain elettrico. Fonte: "Hev Electrification", Ezio Spessa (2017).....	103
Figura 57: Rappresentazione della posizione delle macchine elettriche in un veicolo Ibrido (sopra schematicamente). Fonte: "HEV Electrification", Ezio Spessa (2017).....	104
Figura 58: Schema dei Flussi di Potenza in un Ibrido Serie. Fonte: “Powertrain Electrification” — Luciano Rolando, Federico Millo	105
Figura 59: Schema dei Flussi di Potenza in un Ibrido Parallelo. Fonte: “Powertrain Electrification” — Luciano Rolando, Federico Millo	106
Figura 60: Schema dei Flussi di Potenza in un Ibrido Serie-Parallelo. Fonte: “Powertrain Electrification” — Luciano Rolando, Federico Millo	106
Figura 61: Collegamenti tra elementi del Powertrain e componenti del Rotismo Epicicloidale. Fonte:Toyota	107
Figura 62: Schema dei Flussi di Potenza in un Ibrido Complesso con Rotismo Epicicloidale. Fonte: “Powertrain Electrification” — Luciano Rolando, Federico Millo	107
Figura 63: Un immagine di Torino nel 1884. Si può notare l'espansione della città verso Sud. Fonte: https://web.archive.org/web/20140221125839/http://sunsalvario.it/nel-quartiere/san-salvario-story/	113
Figura 64: La mappa di San Salvario, ad oggi. Si può notare la conformazione mista delle strade, alcune con sviluppo ad angolo retto e altre con sviluppo diagonale, che seguono la conformazione della ferrovia. Fonte: Google Maps.....	115
Figura 65: Linee autobus passanti per il quartiere di San Salvario. Fonte: “Quartieri urbani sostenibili: Un processo di valutazione supportato dall’analisi COSIMA.”	120
Figura 66: Situazione della mobilità del quartiere nel 2018	121
Figura 67: Azioni che si devono effettuare per poter avere un'analisi costi-benefici affidabile. Fonte: “Cost-benefit analysis methodology” — PAHO (2019).....	151
Figura 68: Rappresentazione schematica del significato di attualizzazione di un beneficio o di un costo nell'ACB. Fonte: "Valutazioni di Impatto Ambientale" - Giulio Mondini, Marta Carla Bottero	153

Figura 69: Tabella che riassume l'indicatore VAN Economico e la relazione con la convenienza ad effettuare o meno un progetto. Fonte: "Valutazioni di Impatto Ambientale" - Giulio Mondini, Marta Carla Bottero.....	155
Figura 70: Rappresentazione dell'andamento del VAN di un progetto in base alla variazione del tasso di sconto (r). Fonte: "La Valutazione Dei Progetti Secondo Il Metodo Dell'analisi Costi Benefici" — Matteo Zanetti	156
Figura 71: Andamento del Valore Attuale Netto degli scenari analizzati nelle due tipologie di ACB.....	166
Figura 72: Andamento del Valore Attuale Netto Annuo degli scenari analizzati nelle due tipologie di ACB.	167
Figura 73: Andamento del Tasso Interno di Rendimento degli scenari analizzati nelle due tipologie di ACB.	168
Figura 74: Andamento del rapporto tra Benefici e Costi (B/C) degli scenari analizzati nelle due tipologie di ACB.	168
Figura 75: Analisi di Sensitività del B/C sullo Scenario Combinato 1	171
Figura 76: Analisi di Sensitività del B/C sullo Scenario Combinato 2	172
Figura 77: Analisi di Sensitività del B/C sullo Scenario Combinato 3	172
Figura 78: Analisi di Sensitività del B/C sullo Scenario Combinato 4.....	173
Figura 79: Analisi di Sensitività del B/C sullo Scenario REF-FUT	173
Figura 80: Analisi di Sensitività del TIR sullo Scenario Combinato 2	174
Figura 81: Analisi di Sensitività del VAN sullo Scenario Combinato 1	175
Figura 82: Analisi di Sensitività del VAN sullo Scenario Combinato 2.....	175
Figura 83: Analisi di Sensitività del VAN sullo Scenario Combinato 3.....	176
Figura 84: Analisi di Sensitività del VAN sullo Scenario Combinato 4.....	176
Figura 85: Analisi di Sensitività del VAN sullo Scenario REF-FUT	177
Figura 86: Analisi di Sensitività del VAN sullo Scenario REF-INT	177

Indice delle Tabelle

Tabella 1: Classificazione domini Hard/Soft secondo influenza ICT. Fonte: "Current Trends in Smart City initiatives: Some stylised facts" (2014)	28
Tabella 2: Logica di classificazione per domini e sotto-domini	30
Tabella 3: Classificazione delle Variabili di Contesto	32
Tabella 4: Prospetto circa le ipotesi effettuate per ogni coppia di variabili. Il segno + indica che si immagina una correlazione positiva, il segno - indica una correlazione negativa, mentre NC indica che non si immagina nessuna correlazione.	33
Tabella 5: Veicoli Ibridi Presenti sul mercato, aggiornata a Novembre 2019	109
Tabella 6: Dati di partenza riguardanti le automobili e i camion, riferiti al 2008. Fonte: "Quartieri urbani sostenibili: Un processo di valutazione supportato dall'analisi COSIMA: Il caso del quartiere di San Salvario".....	117
Tabella 7: Dati riguardanti la città di Torino che serviranno per costruire lo scenario di riferimento del quartiere di San Salvario	117
Tabella 8: Dati usati per lo scenario di riferimento riguardanti le auto	117
Tabella 9: Dati usati per lo scenario di riferimento riguardanti i mezzi pesanti	118
Tabella 10: Dati riguardanti gli autobus passanti nel quartiere, divisi per Linee.....	123
Tabella 11: Dati usati per lo scenario di riferimento, riguardanti gli autobus.....	124
Tabella 12: Costi di investimento per la sostituzione della flotta di mezzi pubblici appartenenti alla GTT. Per quanto riguarda i veicoli elettrici, sono inclusi i costi relativi alla realizzazione di stazioni di ricarica rapida.	130
Tabella 13: Situazione dei costi di investimento per la sostituzione degli autobus presenti e per l'acquisto di nuovi autobus, in base alla percorrenza chilometrica dello scenario interessato.	131
Tabella 14: Suddivisione delle automobili in base alla normativa antinquinamento e calcolo delle emissioni di CO2.....	133
Tabella 15: Suddivisione delle automobili in base all'alimentazione e calcolo della CO2 emessa in un anno da ogni tipologia	134
Tabella 16: Suddivisione delle automobili in base alle normative antinquinamento e calcolo degli inquinanti primari divisi per normativa e per scenario da considerare	135
Tabella 17: Suddivisione degli heavy-duty in base all'alimentazione e calcolo delle emissioni di CO2 in base ai loro consumi	136
Tabella 18: Suddivisione degli heavy-duty in base alla normativa antinquinamento e allo scenario da considerare	137

Tabella 19: Suddivisione degli heavy-duty in base alla normativa antinquinamento e calcolo delle emissioni di inquinanti primari in base alla normativa e allo scenario da considerare	138
Tabella 20: Dettaglio dei km annui percorsi da ogni linea passante nel quartiere, suddivisi per i 4 scenari considerati	140
Tabella 21: Sintesi dei risultati ottenuti dal calcolo delle emissioni degli autobus.....	142
Tabella 22: Sintesi dei risultati ottenuti dal calcolo delle emissioni delle automobili	144
Tabella 23: Sintesi dei risultati ottenuti dal calcolo delle emissioni degli heavy-duty	146
Tabella 24: Riassunto dei costi e dei ricavi da considerare nell'analisi costi-benefici, diviso per tipologia di mezzo di trasporto. Fonte: "Handbook on the external costs of transport"	159
Tabella 25: Riassunto dei costi provocati dall'emissione di inquinanti primari e secondari, divisi per tipologia di mezzo di trasporto e per scenario considerato.	160
Tabella 26: Confronto tra gli scenari sulla riduzione delle emissioni delle tre tipologie di mezzo di trasporto.....	161
Tabella 27: Riassunto degli altri costi e dei ricavi considerati nell'ACB, divisi per tipologia di mezzo di trasporto e per scenario considerato.....	162
Tabella 28: Confronto tra gli scenari sui costi e sui ricavi da considerare per le tre tipologie di mezzo di trasporto.	163
Tabella 29: Ripartizione modale dei trasporti nel quartiere di San Salvario, con relative fonti da cui sono stati presi, prima di essere rielaborati per il quartiere	164
Tabella 30: Risultati relativi agli indicatori dell'Analisi Costi-Benefici finanziaria ed economica	166
Tabella 31: Risultati dell'ACB finanziaria ed economica per gli scenari migliori.....	180