POLITECNICO DI TORINO

Dipertimento di Ingegneria Gestionale e della Produzione (DIGEP)

Tesi di Laurea Magistrale

Vehicle-to-Grid: analisi della tecnologia e del business model. Il progetto pilota FCA.

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

Relatore
Anna Corinna Cagliano

Candidata
Asia Iosue

Tutor Aziendale
Franco Anzioso

ANNO ACCADEMICO 2019-2020

All'amore della mia vita.

In continuo aggiornamento.

Indice

Introduzione **1**

1 Il mercato della mobilità elettrica **5**

1.1 Definizioni 6

1.1.1 Segmenti di mercato 6

1.1.2 Tecnologie 7

1.2 Trends 9

1.2.1 Volumi di vendita e fuel trend: storico e previsioni 11

1.2.2 Sostenibilità ambientale del settore automobilistico: regolamentazione europea ed incentivi 14

1.2.3 Analisi del cliente 17

1.3 Analisi della letteratura 19

2 Infrastruttura di ricarica **21**

2.1 Tecnologie di ricarica 22

2.2 Panoramica attuale dell'infrastrutture di ricarica 25

2.3 Evoluzione dell'infrastruttura di ricarica 29

2.4 Richiesta energetica: fabbisogno attuale e previsioni future 32

3 Integrazione del veicolo con la rete elettrica: V2G e progetto pilota FCA **36**

3.1 Struttura fisica e funzionale del sistema elettrico italiano 37

3.2 Servizi ancillari e V2G 40

3.2.1 Domanda energetica e regolazione della frequenza 40
3.2.2 Integrazione del veicolo con la rete: V2X e V2G 43
3.2.3 Vehicle-to-Grid 45
3.3 V2G: Progetto Pilota FCA 56

4 Conclusioni **80**

Conclusioni **80**

4.1 Considerazioni finali sui benefici per l'azienda 81
4.2 Limitazioni del lavoro di tesi 83
4.3 Possibili prospettive future per l'azienda sul tema V2G 84

Riferimenti **92**

Indice delle figure

1.1 Andamento del costo e delle emissioni di CO_2 nelle diverse tecnologie di xEV 9
1.2 Panoramica dell'ecosistema della mobilità elettrica [1] 11
1.3 Impatto COVID-19 sull'industria automobilistica 13
1.4 Fuel trend - Europa 2014—2026 14
1.5 Limitazioni annunciate per i veicoli a combustione tradizionale - *Oliver Wyman consulting analysis* 16
1.6 Schema di incentivi all'acquisto di un veicolo elettrico - *FCA internal study* 17

2.1 Caratteristiche e costi - AC, *Navigant Research [2]* 23
2.2 Caratteristiche e costi - DC, *Navigant Research [2]* 23
2.3 Caratteristiche e costi - Wireless, *Navigant Research [2]* 24
2.4 Evoluzione infrastruttura di ricarica pubblica in Europa - *EAFO, European Alternative Fuels Observatory* 27
2.5 Evoluzione infrastruttura di ricarica privata in Europa - *Navigant, [2]* 27
2.6 Rapporto in Europa tra il parco auto attualmente in circolazione e i punti di ricarica - *EAFO, EV Volumes* 28
2.7 Rapporto nei principali stati tra il parco auto attualmente in circolazione e i punti di ricarica - *EAFO, EV Volumes* 29
2.8 Panoramica dell'ecosistema dell'infrastruttura di ricarica - [3] 31

2.9 Evoluzione infrastruttura di ricarica privata in Europa - *EAFO, Navigant, IHS Markit, Bloomberg* 32
2.10 Andamento della domanda di energia elettrica nel mondo - [4] 33
2.11 Andamento della domanda di energia elettrica suddivisa per tipologia di veicolo, tipo di ricarica e regione - [4] 34

3.1 Struttura tecnica del sistema elettrico [5] 37
3.2 Panoramica della rete elettrica - *Terna* [6] 38
3.3 Discrepanze tra le previsioni e la domanda di energia elettrica, primo Marzo 2019, Italia - [7] [6] 41
3.4 Interventi di regolazione delle frequenze - [7] [6] 42
3.5 Produzione energetica dei pannelli fotovoltaici e domanda elettrica domestica - [8] 45
3.6 Tecnologia V2G: alternativa AC e DC - FCA 46
3.7 Risultati analisi statistica sull'utilizzo dei veicoli elettrici - [9] 50
3.8 Percentuale di degradazione della batteria: caso base e V2G [10] . . . 53
3.9 Ciclo vita della batteria - FCA Internal Study 55
3.10 Struttura funzionale del progetto pilota V2G - FCA Internal Study . 59
3.11 Installazione delle vetture della prima fase, render - FCA Internal Study 60
3.12 Numero di richieste di intervento per la regolazione dei casi R: caso 1 ed R1: caso 2 - FCA Internal Study 64
3.13 Impatto sullo State of Health della batteria - FCA Internal Study . . 65
3.14 Business model del mercato della mobilità elettrica [11] 66
3.15 Andamento del prezzo delle batterie 2010—2030 - Bloomberg NEF, Navigant, Commissione europea 72
3.16 Panoramica dei progetti legati alla tematica del V2G - UK Power Networks e Innovate UK 74
3.17 Benchmarking V2G - *FCA Internal Study and Carmakers Press Release* 78

Introduzione

Il continuo progresso economico auspicato da ogni società moderna necessita del supporto di uno sviluppo tecnologico che proceda ad un passo altrettanto veloce. Insieme al panorama che li circonda, mutano i bisogni e i desideri delle persone così come la loro concezione della vita nelle città. Prende forma una coscienza ambientale collettiva che si unisce alle richieste istituzionali nell'esigere azioni concrete alle industrie affinché queste possano allinearsi a più stringenti obiettivi di sostenibilità in materia di emissioni nocive.

In quest'ottica è imprescindibile considerare il rinnovato rapporto del cittadino con la sua auto, che diventa sempre più connessa, sempre più condivisa e sostenibile, e può rappresenta perfettamente una sintesi dei cambiamenti tecnologici quanto sociali di questo periodo. Gli avanzamenti in ricerca e sviluppo, collezionati negli ultimi anni dalle molteplici aziende che gravitano attorno all'industria dell'automotive, possono finalmente indurre a considerare l'elettrificazione una risposta adeguata. Risposta, per altro, fortemente incoraggiata dalle continue normative governative che fissano standard per le emissioni inquinanti sempre più restringenti per le case automobilistiche. Parte così il necessario processo di sostituzione progressiva dell'offerta di modelli a carburanti fossili con le nuove proposte elettriche. Sono decine all'anno, infatti, le nuove uscite previste dai differenti gruppi dell'automotive nell'ambito elettrico, e una prima analisi di questo dato può permettere già delle considerazioni. Per prima cosa ciò sottolinea come il cambiamento dell'intera industria non sia più solo un'ipotesi futura ma stia già avvenendo rapidamente e che la partita tra i brand del settore si giocherà presto sull'elettrificazione. In seconda battuta, anche se

l'industria, fornendo nuovi modelli, sta certamente indirizzando il mercato, i clienti iniziano a reagire positivamente al cambio di direzione richiedendo loro stessi una scelta sempre maggiore e facendo raggiungere alla domanda dell'elettrico una quota parte degli acquisti totali importante negli ultimi anni.

La ricarica stessa rappresenta uno dei punti di discussione principali quando si affronta l'argomento dell'elettrificazione. La necessità d'intensificare l'infrastruttura di ricarica apre, infatti, nuove sfide per il soddisfacimento adeguato del fabbisogno di energia elettrica e, sono molteplici le tecnologie che si propongono di offrire una soluzione per sostenere la stabilità della rete elettrica che mettono al centro proprio i veicoli stessi. Le auto elettriche, infatti, sono dotate di batterie che se da un lato richiedono ovviamente un apporto di energia elettrica, dall'altro possono fungere da immagazzinatori della stessa, contribuendo a gestirne in maniera ottimizzata la produzione e la distribuzione. L'utilizzo effettivamente in moto di un veicolo elettrico è notevolmente inferiore rispetto al tempo che questo è fermo o in ricarica e nasce così l'idea di connetterlo alla rete, pubblica o domestica, permettendo all'utente di ricavare benefici entrando nel mercato della fornitura di servizi ancillari. Su queste basi si sviluppa la tecnologia del Vehicle-to-Grid, che richiedono l'introduzione della possibilità per i veicoli di avere la ricarica bidirezionale, permette il ritorno alla rete dell'energia elettrica strategicamente accumulata. Questo rappresenta un tema di studio centrale per la maggior parte delle case automobilistiche che, negli ultimi anni, stanno avviando diversi progetti pilota per verificare la fattibilità della soluzione.

L'obiettivo del lavoro qui proposto è, quindi, delineare una trattazione che in maniera organica possa analizzare il trend in ascesa della mobilità elettrica, il mercato dei servizi ancillari e la soluzione del Vehicle to Grid utilizzando, a supporto, la presentazione di un progetto pilota, primo in Europa, realizzato dal gruppo automobilistico FCA che introduce le opportunità di commercializzazione della tecnologia. Gli studi presentati sull'analisi del panorama energetico, sulle abitudini di ricarica del proprietario del veicolo elettrificato, sui limiti tecnici e sul monitoraggio delle attività svolte dai competitors sono mirate ad avvalorare l'interesse del gruppo FCA

sulla tematica ed ad aprire la strada verso le ipotesi di commercializzazione. Rispetto agli studi già presenti sulla tematica in letteratura, il seguente lavoro di tesi analizza le opportunità legate al sistema Vehicle-to-Grid nell'ottica del carmaker, suggerendo un business model per la vendita del servizio inglobandolo in un più amplio pacchetto energetico per il cliente finale.

La prima parte del lavoro svolto è necessaria per contestualizzare meglio l'ambito del tema affrontato e presenta nel primo capitolo una descrizione delle differenti tecnologie ad oggi presenti sulle auto elettriche, un'analisi della tipologia di cliente che si desidera per l'acquisto, un'evoluzione dei dati di vendita del mercato elettrico e l'esposizione delle legislazioni vigenti a livello europeo in materia di sostenibilità ambientale nell'industria automobilistica.

Nella seconda sezione si affronta l'analisi dell'infrastruttura di ricarica elettrica europea con un focus sui principali paesi - Francia, Germania, Italia, Spagna, UK, Olanda - in cui è possibile ricontrare una maggiore diffusione dei veicoli elettrici. Si delinea lo sviluppo dell'infrastruttura negli ultimi anni e si presentano le proiezioni per il futuro considerando , in maniera differenziate, le forme di ricarica pubblica e privata. Contestualmente, individuando un trend di crescita della rete, si sottolinea il conseguente impatto dei veicoli elettrici sul fabbisogno energetico.

Nel terzo capitolo è introdotta la struttura fisica e funzionale della rete elettrica evidenziandone le necessità di stabilità e assorbimento dei picchi di domanda e, successivamente, la tecnologia Vehicle-to-Grid, accompagnata ad un'analisi del profilo di ricarica di un tipico utente e alle valutazioni circa i limiti legati all'impatto del sistema sulla batteria del veicolo. A conclusione del capitolo è definito il progetto pilota nato dalla collaborazione tra i gruppi FCA, il partner tecnico ENGIE e quello energetico Terna. Completa lo studio un'analisi di benchmarking volta a delineare il panorama competitivo sulla tematica e la proposta di un business model che suggerisce la vendita del V2G all'interno di un più ampio bundle di prodotti e servizi.

Procedendo in questa direzione, l'auto elettrica può rappresentare, quindi, uno dei primi passi concreti verso un nuovo e più sostenibile modo di concepire la mobilità

e l'interconnessione tra singolo utente e rete energetica.

Capitolo 1

Il mercato della mobilità elettrica

Sommario

La prima sezione di questa tesi ha come obiettivo quello di offrire una visione il più chiara possibile sull'intero panorama della mobilità elettrica. I concetti qui presentati servono, quindi, ad individuare le tecnologie ad oggi disponibili, a quantificare le dimensioni dei volumi di vendita passati ed identificare trend per le previsioni future, di ottenere un quadro normativo generale in materia ambientale e di delineare necessità e desideri del cliente.

1.1 Definizioni

Di seguito vengono riportate alcune defizinioni e sigle corrispondenti utillizzate per descrivere i segmenti di mercato e le tecnologie che è possibile incontrare all'interno del capitolo.

1.1.1 Segmenti di mercato

Le analisi circa i trend di vendita proposte nella trattazione fanno riferimento a specifiche segmentazioni del mercato elettrico per consentire di trarre conclusioni più contestualizzare. FCA, l'azienda oggetto del caso di studio presentato in questa tesi, opera una classificazione dei veicoli in base alla loro grandezza (A, B, C, D, E, G, H) e al tipo di carrozzeria (auto, SUV, MPV, van) ottendendo la seguente segmentazione:

- **Segmento A** : auto mini e city cars (Fiat Panda, Volkswagen UP)
- **Segmento B** : auto piccole (Fiat Punto, Volkswagen Polo)
- **Segmento C** : auto compatte (Alfa Romeo Giulietta, Volkswagen Golf)
- **Segmento D** : auto di media grandezza (Alfa Romeo Giulia, Audi A4)
- **Segmento E** : auto grandi (Mercedes E-Class, Audi A6)
- **Segmento G** : grandi auto lussuose (Audi A8, Mercedes S-Class)
- **Segmento H** : auto ad alte prestazioni (Mercedes AMG GT, BMW Z4)
- **Segmento I0** : piccoli SUVs (Fiat 500X, Jeep Renegade)
- **Segmento I1** : SUVs compatti (Jeep Compass, Volkswagen Tiguan)
- **Segmento I2** : SUVs di media grandezza (Alfa Romeo Stelvio, Jeep Cherokee)

1.1.2 Tecnologie

È possibile definire come veicolo elettrificato ogni tipo di veicolo che possieda una batteria al litio e uno o più motori elettrici, siano questi in sosituzione di un tradizionale motore a combustione interna (ICE) oppure in semplice addizione. Ad oggi, nel mercato delle auto elettriche, si presentano molteplici alternative che si differenziano principalmente in base al livello di elettrificazione sul totale complessivo di forza motrice richiesta dal veicolo. Infatti, oltre una prima macro distinzione tra i modelli che presentano un motore ICE e quelli che sono esclusivamente dotati del solo elettrico, è possibile individuare diverse tecnologie che puntano alla combinazione più o meno equilibrata delle due possibilità di motore. Ad oggi le principali tecnologie sono le seguenti:

- ***Battery Electric Vehicles*** **(BEV)**: auto puramente elettriche che si ricaricano direttamente attraverso una presa. Il motore a combustione è assente.
- ***Range Extender Electric Vehicles*** **(REEV)**: le ruote dell'auto sono messe in movimento dal motore elettrico utilizzando l'energia prodotta dalla batteria. È previsto anche un motore ICE che, però, è utilizzato solamente per ricaricare la batteria.
- ***Plug-in Hybrid Electric Vehicles*** **(PHEV)**: i modelli di auto PHEV possiedono sia un motore ICE che un motore elettrico e possono essere mantenute in movimento da entrambi sfruttandoli separatamente o in maniera simultanea.
- ***Hybrid Electric Vehicles*** **(HEV)**: in questi modelli il motore a combustione è accoppiato ad uno elettrico che permette di ridurre i consumi e aumentare la potenza. In base alla dimensione del motore elettrico e della batteria questi possono essere classificati come *"Full-Hybrid" (HEV)* , *"Mild Hibryd" (MHEV)* e *"Micro-Hybrid" (mHEV).*

La scelta di adottare una tecnologia piuttosto che un'altra dipende da più aspetti diversi. Indipendentemente dal grado di maturità tecnologica che può variare da un'azienda automobilistica ad un'altra, c'è da tener conto del fatto che, ad oggi, all'aumento della quota parte di apporto elettrico corrisponde un aumento del costo complessivo del veicolo: un veicolo alimentato con il solo motore elettrico avrà un prezzo più elevato di quello che mantiene il motore ICE come motore principale. Questo avviene, però, perchè quello della mobilità elettrica è un terreno relativamente giovane, sul quale è necessario ancora investire per ottimizzare la componentistica e abbassare i costi. Ad oggi, infatti, i veicoli elettrificati hanno un costo maggiore rispetto a quelli a trazione tradizionale [12]. Nonostante ciò, è comunque da considerare che il prezzo delle batterie al litio, che rappresenta uno dei costi più importanti, stia progressivamente scendendo negli anni. In base agli studi raccolti dalla Commisione Europea, se nel 2010 il prezzo era di circa 870 euro/kWh e nel 2017 il range era tra i 170 e i 2015 euro/kWh, le previsioni indicano con buona ragionevolezza che raggiungerà il prezzo decisamente inferiore di 40 euro/kWh a lungo termine, con un orizzonte temporale prossimo al 2035-2040 [13]. Svolgendo questo tipo di analisi dei costi è importante però tenere presente che nella scelta che si opera entra in gioco anche il grado di emissioni di CO_2 che diminuisce sensibilmente nei veicoli che sfruttano in maniera prioritaria il motore elettrico.

Nell'immagine 1.1 si riporta una panoramica che riassume l'andamento del costo e delle emissioni di CO_2 al variare del livello di elettrificazione del veicolo.

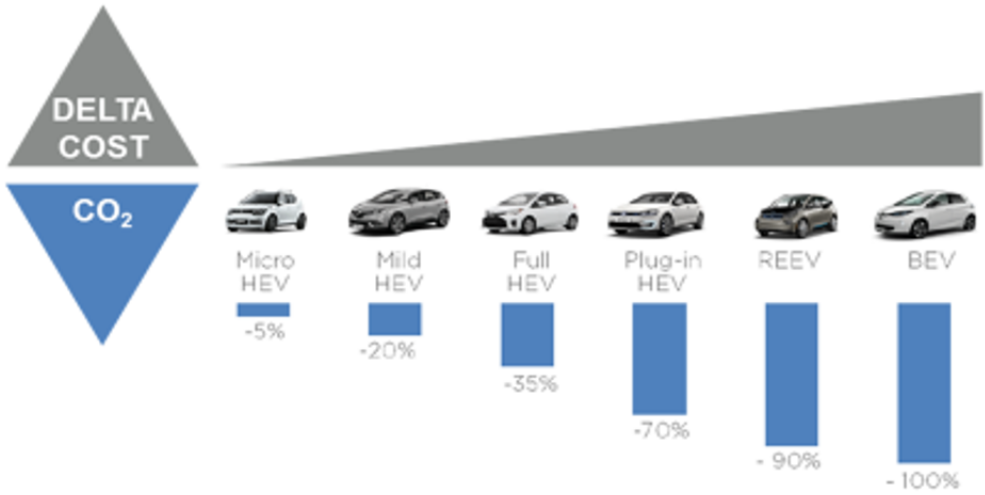

Figura 1.1: Andamento del costo e delle emissioni di CO_2 nelle diverse tecnologie di xEV

1.2 Trends

Quella della mobilità elettrica è una dimensione che si sviluppa all'interno di un complesso ecosistema in cui coesistono fattori ambientali, socio-economici e tecnologici. Tre, a riassumere tutti quelli che ne derivano, possono essere considerati i macro drivers che supportano la progressiva diffusione dei veicoli elettrici tra i nuovi e i vecchi consumatori: l'insieme di politiche ed incentivi stabiliti dai governi, l'impatto di Tesla sull'industria automobilistica e la diminuzione del costo delle batterie [1] . Ogni legge restrittiva rispetto alle emissioni dei comuni motori a combustione così come ogni incentivo all'acquisto di un veicolo elettrico è rappresentazione dell'impegno, più o meno deciso, da parte dei diversi governi di spingere verso una mobilità sostenibile a livello ambientale. Tesla, intanto, propone, prima ancora di un auto, un vero e proprio nuovo approccio alla mobilità basandosi su un un forte triangolo concettuale: funzionalità, status symbol, impatto sociale. Su questa triplice base, infatti, costruisce un'immagine che punta al virtuosismo di performance e tecnologia *(funzionalità)*, alla rappresentazione del futuro, dell'innovazione e del successo *(status symbol)* e che strizza contemporaneamente l'occhio alle sfide ambientali *(impatto sociale)* [14] . Tesla assume quindi un ruolo chiave nel migliorare

la percezione e nell'aumentare l'appeal della nascente industria elettrica. Infine la diminuzione del costo delle batterie al litio - la chimica più diffusa nei veicoli elettrici - è un elemento essenziale per ridimensionare il costo totale che rappresenta oggi sicuramente un'importante barriera all'ingresso del mercato elettrico. Il costo tendenzialmente elevato rientra infatti a pieno tra le diverse motivazioni che contrastano la pressione invece positiva dei drivers appena elencati, ma non è il solo. Un'infrastruttura di ricarica ancora in piena evoluzione, il range di autonomia non competitivo con l'alternativa a combusione tradizionale, la mancanza di una diffusa conoscenza tecnologica e l'ovvia reticenza delle compagnie petrolifere così come quella di molte aziende automobilistiche, completano il quadro delle sfide ancora in atto all'interno del panorama elettrico. Negli ultimi anni l'obiettivo maturato diventa allora il raggiungimento di un equilibrio sostenibilie proprio per tutti i diversi drivers, cercando in maniera combinata soluzioni che possano poi adattarsi al meglio al consumatore finale e rendere realmente accessibile la scelta elettrica. Nell'immagine 1.2 allegata di seguito si può avere un'idea dell'ecosistema della mobilità elettrica in cui, ponendo al centro i veicoli elettrificati stessi, coesistono diversi attori: dai carmakers fino al cliente finale, passando per gli operatori del settore energetico, dell'infrastruttura di ricarica e delle batterie e considerando i legislatori e coloro i quali sono interessati all'impatto ambientale dei mezzi di trasporto.

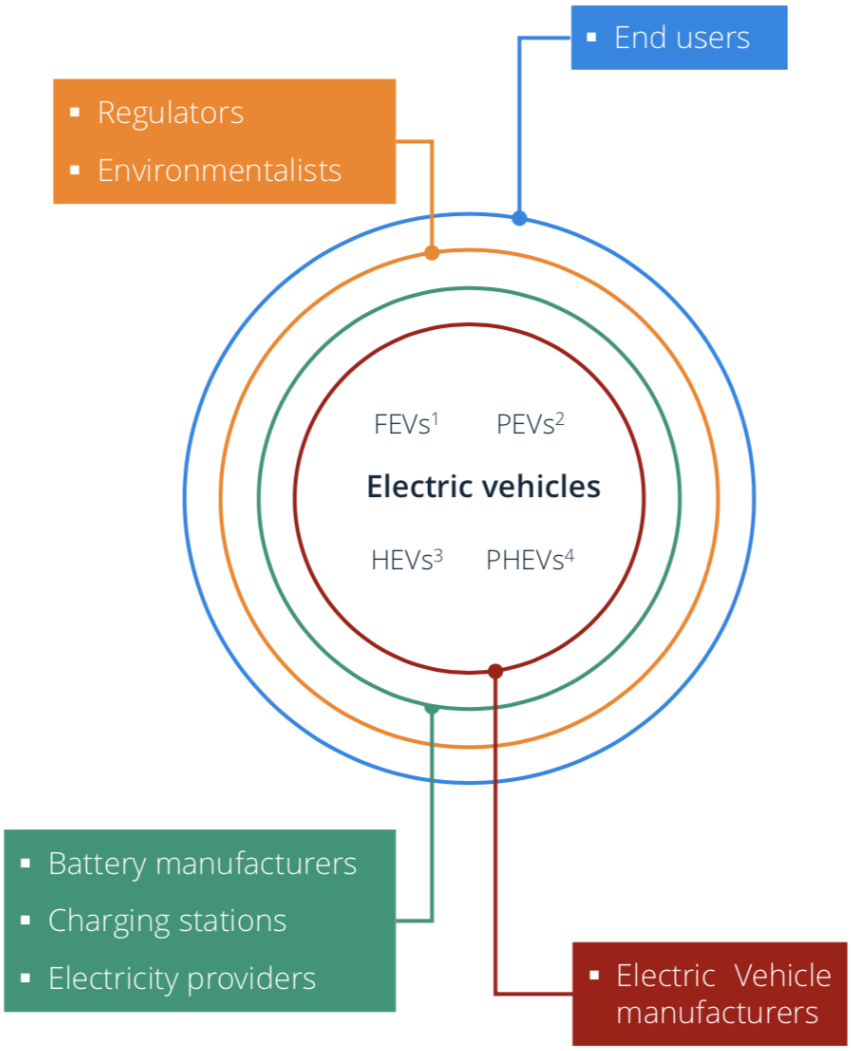

Figura 1.2: Panoramica dell'ecosistema della mobilità elettrica [1]

1.2.1 Volumi di vendita e fuel trend: storico e previsioni

Nonostante i limiti evidenziati l'industria della mobilità elettrica può vantare un andamento sempre positivo in termini di vendite, registrando negli ultimi anni un aumento ancora più considerevole indubbiamente grazie ad una collettiva presa di coscienza rispetto al tema della sostenibilità.

Nel 2018 il parco auto elettrico ha superato i 5.1 milioni di unità, quasi dupli-

cando il numero di immatricolazioni registrato nel 2017; a guidare il mercato elettrico è la Cina che, con 2.3 milioni di veicoli, resta saldamente in testa seguita da USA ed Europa [15] . Su quest'ultima regione sarà focalizzata questa e le successive analisi. In Europa nel 2019 i veicoli elettrici nell'insieme delle diverse tecnologie disponibili conquistano un market share del 7.5 percento nelle vendite annuali erodendo la quota parte dei motori ICE in declino. Tra gli stati europei più virtuosi spicca la Norvegia che si conferma leader mondiale nel market share raggiungendo nel 2018 il 46 percento di preferenze elettriche tra gli acquirenti di una nuova vettura. L'Europa chiude il 2019 con un parco auto vicino ad 1.7 milioni di unità tra motorizzazioni BEV e PHEV.

Prima di considerare le previsioni circa l'evoluzione del mercato elettrico è interessante soffermarsi sui dati del 2020 che, oltre a rappresentare un indiscutibile spartiacque tra i dati consuntivi e quelli predittivi, incorporano inevitabilmente gli effetti del lockdown dovuto al COVID-19. Quello che è importante sottolineare è come, nonostante l'industria automobilistica abbia subito perdite considerevoli nei mesi maggiormente interessati dalle restrizioni, le vendite dei veicoli elettrici non hanno registrato complessivamente andamento negativo. A Maggio 2020, mese che ha segnato una lenta ripresa delle vendite, nei 10 maggiori mercati europei (Belgio, Francia, Germania, Italia, Olanda, Norvegia, Spagna, Svezia, Svizzera e UK) si è registrato un calo di vendite pari al -57 percento rispetto ai dati dello stesso mese nel 2019 mentre, per i veicoli a motorizzazione BEV e PHEV si è comunque mantenuto un valore positivo pari al 24 percento. Questo avviene principalmente perchè in generale l'andamento positivo del market share dei veicoli elettrici è così pronunciato da avere margini di erosione più alti prima di cadere nel negativo e, in seguito, bisogna tener conto che gli obiettivi di emissioni di CO_2 restano una priorità. Inoltre il cliente tipico di una vettura elettrica, come analizzeremo in seguito, è meno esposto a contratture economiche simili. Nella tabella in figura 1.3 sono riportati tre differenti scenari circa le vendite per l'anno 2020 e, nonostante una diminuzione delle vendite rispetto a quelle previste, in ogni scenario ci si aspetta che queste siano

comunque superiori all'anno precedente [16] .

Europe		Recovery Scenarios		
2020 Totals	BAU	Best	Base	Worst
LV Volume ('000s)	17 079	14 625	13 683	11 942
Var % vs BAU	19% of Global Vol.	-14,4%	-19,9%	-30,1%
EV Volume ('000s)	**1022**	**1 078**	**975**	**812**
Var % vs BAU	31% of Global Vol.	5,5%	-4,6%	-20,5%
Var % vs 2019	**74%**	**84%**	**66%**	**38%**

Figura 1.3: Impatto COVID-19 sull'industria automobilistica

Il dato riguardante l'impatto del COVID sull'industria automobilistica è importante per l'introduzione dei dati previsionali sulle vendite dei veicoli elettrici perchè ci fornisce una prova della stabilità della crescita del settore. Fino al 2026 ci si aspetta, infatti, un market share nelle vendite del 37 percento percento e, nel 2030 il numero di veicoli BEV è atteso con un rapporto di 5 a 1 rispetto a quelli a tecnologia PHEV. Quest'ultima considerazione testimonia un'aspettativa ancor più ottimista perchè indica il delinearsi di un consumature più fiducioso nei confronti di un veicolo solo elettrico e quindi anche rispetto all'intera infrastruttura di ricarica e servizi affiliati.

Il grafico qui allegato in figura 1.4 permette una panoramica più chiara dell'evoluzione positiva in Europa delle vendite dei veicoli elettrici a discapito di quelli a combustione tradizionale, tracciando il fuel trend dal 2014 al 2026.

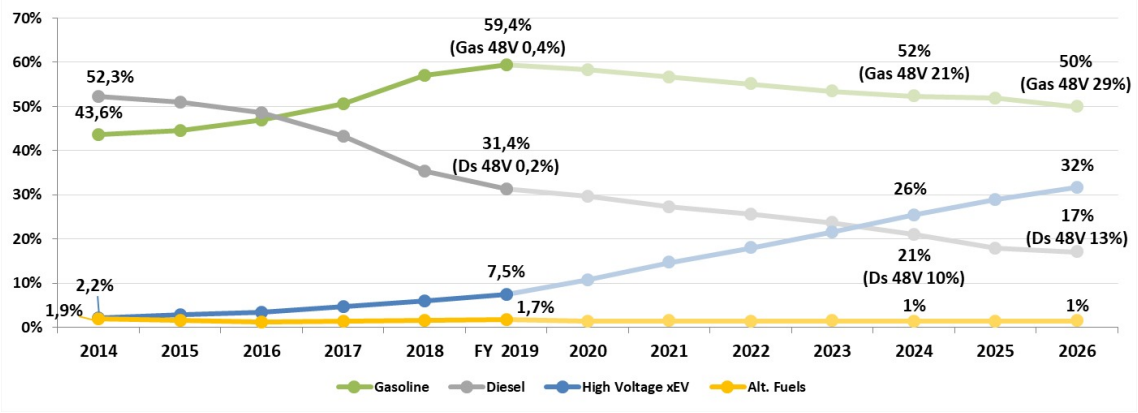

Figura 1.4: Fuel trend - Europa 2014—2026

1.2.2 Sostenibilità ambientale del settore automobilistico: regolamentazione europea ed incentivi

Negli ultimi anni è evidente l'emergere di una collettiva presa di coscienza attorno al tema della salvaguardia ambientale e di come sia imprescindibile ragionare concretamente sulla reale sostenibilità della società così com'è strutturata attualmente. Questa ricerca comune di soluzioni che, in ogni ambito, riducano l'impatto ambientale è guidata dualmente da un lato dalle restrizioni e dalle politiche governative in *tema green* e dall'altro dagli stessi singoli cittadini che esigono un'attenzione maggiore in merito. Le industrie, al centro, non possono di certo esimersi quindi dal rivedere in ottica sostenibile tutte le loro attività, strette dalle normative e dalla domanda del cliente finale. Rispetto a quest'ultimo aspetto, infatti, uno studio condotto da Unilever nel 2017 - preannunciando un trend evidentemente ad oggi in crescita - ha portato alla luce come, per un terzo dei consumatori, la scelta di acquisto di un brand è dettata dal suo impatto sociale ed ambientale. Un apporccio più sostenibile rappresenta quindi una vera e propria opportunità soprattutto per chi fa adesso il proprio ingresso nel mercato: in base alle stime attuali le imprese che inseriscono all'interno dei loro piani di sviluppo delle azioni in linea con gli *UN's Sustainable Development Goals* hanno potenzialmente accesso a 12 trilioni di dollari tra risparmi e ricavi e la creazione di 380 milioni di posti di lavoro con un orizzonte

temporale fino al 2030 [17]. L'industria automobilistica, come ogni altro settore, non rappresenta un'eccezione nella volontà di incontrare le richieste dei clienti ma, in ogni caso, è particolarmente soggetta ad importanti restrizioni governative. La lotta alle emissioni di CO_2 è un aspetto chiave nell'agenda della Commissione Europea che ha fissato come obiettivo quello di ridurre le emissioni di un valore pari ad almeno il 40 percento rispetto al livello segnato nel 1990 entro il 2030 come indicato all'interno del *Paris Agreement*. La quota parte di emissioni di CO_2 in Europa attribuibile al trasporto è del 30 percento e di questa, quella delle auto è stimata pari al 12 percento. Questo dato significativo introduce chiaramente la necessità di una rivoluzione che abbia come uno degli attori principali quindi l'industria automobilistica. Mantenendo il focus sull'Europa, il target di emissioni richiesto alle nuove auto ha subito una riduzione da quello precedente di 130g di CO_2 / km ad un valore attuale per il 2020 di 95g di CO_2 / km, da calcolare come valore medio sull'intera flotta di veicoli venduti. Questo vincolo diventa stringente per i diversi autocostruttori perchè le multe per chi eccede i valori stabiliti graverebbero pesantemente sui bilanci (95 euro per ogni grammo in eccesso sulla media dell'intero parco auto venduto nell'anno moltiplicato per il totale del parco auto stesso). Le penalizzazioni vigenti hanno fornito un'ulteriore spinta all'aumento dell'offerta di veicoli totalmente o in parte elettrici che, con emissioni notevolmente inferiori rispetto ai veicoli a combustione tradizionale, contribuiscono ad abbassare la media di emissioni di una casa costruttrice. Le restrizioni non riguardano però solo direttamente l'industria automobilista ma anche i singoli guidatori ne sono sempre più interessanti. Sempre più città europee negli ultimi anni, infatti, hanno circostritto nel centro aree con condizioni di traffico limitate in base ai valori di emissione dei veicoli e alla loro categoria di immatricolazione. Le ZTL delimitate possono impedire totalmente l'attraversamento a veicoli non idonei agli standar settati oppure richiedere una tassa di ingresso. In entrambi i casi i veicoli elettrici ed ibridi sono spesso esentati dal divieto di circolazione oppure godono di tariffe privilegiate. L'immagine 1.5 seguente ci fornisce una panoramica rispetto alle limitazioni annunciate per i veicoli

a combustione tradizionale

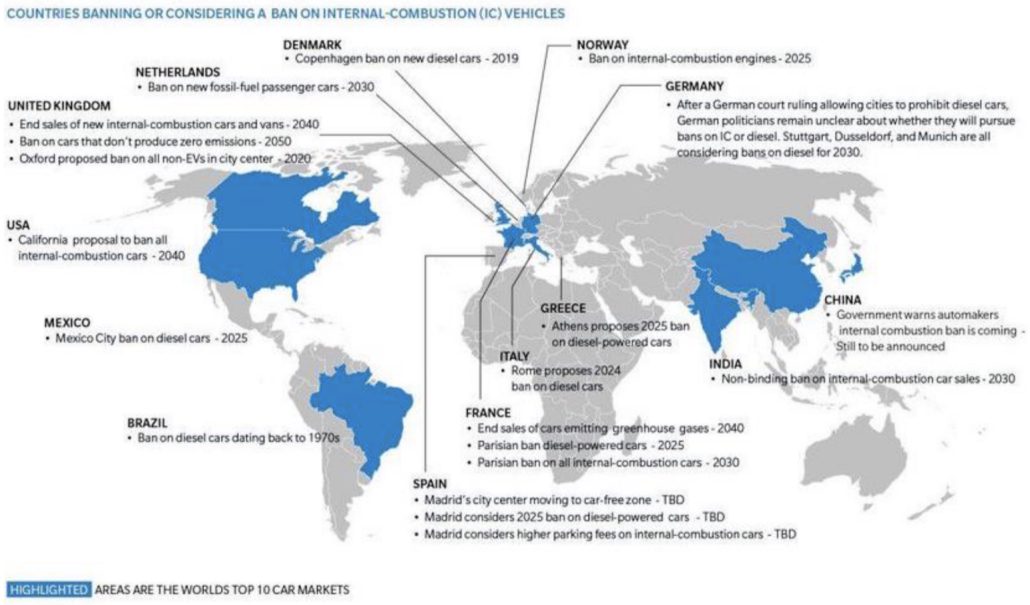

Figura 1.5: Limitazioni annunciate per i veicoli a combustione tradizionale - *Oliver Wyman consulting analysis*

Questo è un esempio di come le amministrazioni cittadine così come quelle nazionali stiano incentivando il passaggio a vetture più sostenibili. In tal senso l'aiuto più concreto all'aumento delle vendite dei veicoli elettrici così come di conseguenza al raggiungimento dei target per i costruttori è sicuramente rappresentato dall'intenso sistema di incentivi promosso dai singoli stati e dall'UE. L'introduzione di una nuova tecnologia, così com'è quella legata ai veicoli elettrici, comporta spesso dei costi iniziali non competitivi con alternative già in vendita; considerato, però, l'oggettività del beneficio comune che deriva dall'ampliamento della base di acquirenti legati alla mobilità elettrica, i governi sono propensi ad assorbire parte delle spese concedendo detassazioni o sconti sull'acquisto. Di seguito è riportata una tabella in figura 1.6 che riassume per i principali paesi europei gli incentivi all'acquisto di un veicolo elettrico (BEV o PHEV). È importante notare come alcune di queste nazioni, anticipando quello che sarà il trend comune futuro, impongono dei vincoli legati alle reali emissioni di CO_2 e non solo alla tecnologia del veicolo. Le emissioni sono calco-

late attraverso diversi cicli di test in laboratorio (WLTP, NEDC, EAER) che hanno l'obiettivo di simulare realisticamente i tragitti delle vettura su strade urbane ed extraurbane. Questo di conseguenza rappresenta per le case costruttrici un'ulteriore restrizione nella progettazione dei veicoli PHEV o ibridi perchè, per renderle più accessibili economicamente, devono tener conto dei requisiti per ottenere gli incentivi.

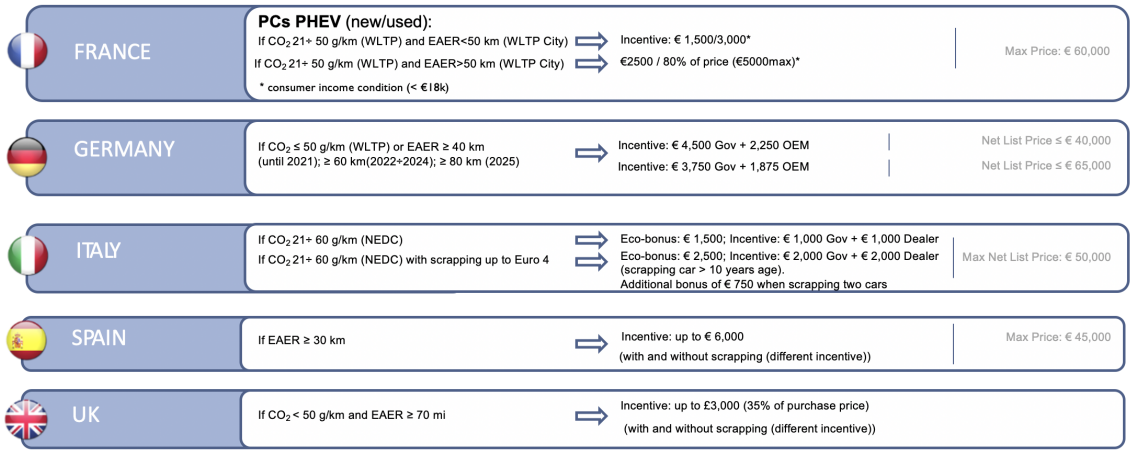

Figura 1.6: Schema di incentivi all'acquisto di un veicolo elettrico - *FCA internal study*

1.2.3 Analisi del cliente

Per avere una panoramica completa del mercato della mobilità elettrica è imprescindibile, come per ogni altro settore di vendita, puntare a delineare le caratteristiche del cliente che si desidera attrarre e ciò ha ancora più valore nel momento in cui quello che si vuole si vuole proporre è una tecnologia relativamente recente rispetto alle alternative diffuse. La mancanza di conoscenza rispetto al funzionamente dei veicoli elettrici, infatti, rappresenta una delle più importanti barriere quando un cliente vaglia tra le diverse proposte l'opportunità di spostare la propria scelta sulla mobilità elettrica. Discorso analogo vale per quanto riguarda i dubbi dei consumatori circa i costi operativi di ricarica e di manutenzione del veicolo, che si aggiungono a quelli già tendenzialmente elevati del veicolo in sè.

A ciò si aggiunge che l'autonomia disponibile degli EVs è inferiore per la maggior parte dei modelli proposti a quella possibile con un pieno di combustibile con le alternative ICE. Questo rappresenta un'altra criticità centrale per l'acquisto e nasce così il concetto di range anxiety, un termine coniato per riassumere per l'appunto l'ansia del guidatore nel non essere in grado di raggiungere la destinazione con la batteria residua del veicolo e contestualmente la difficoltà nel rintracciare un luogo in cui sia possibile effettuare la ricarica. Ciò è valido nonostante è bene tener conto che l'utilizzo quotidiano medio di una vettura è inferiore ai 50 km e che quindi l'auto resta ferma e disponibile per la ricarica senza impegno per il 95 percento del tempo [18].

Una ricerca promossa internamente al gruppo automobilistico FCA suddivide in tre macrocategorie i clienti di autovetture distinguendoli in *early adopters*, *missing buyers* e *potential customers*. I primi sono quei guidatori che hanno acquistato effettivamente un veicolo elettrico e hanno superato i dubbi verso l'eMobility, ai missing buyers invece appartengono tutti coloro i quali hanno tentennato sulla scelta elettrica per poi ricadere sull'acquisto di un veicolo a comustione tradizionale e gli ultimi sono potenziali consumatori che ancora non hanno acquistato un'auto e hanno diverse opinioni e livelli di conoscenza in merito alla mobilità elettrica. Mentre con l'analisi dei missing buyers e dei potential customers riemergono gli ostacoli ora descritti legati al range e alla scarsa esperienza in materia, quella degli early adopters permette di stilare un quadro degli aspetti principali di un cliente di un veicolo elettrico. Gli early adopters hanno un livello di istruzione più alto *(75 percento tra chi sceglie un PEV (BEV + PHEV) contro il 55 percento tra chi sceglie una vettura a benzina)*, un lavoro con uno stipendio maggiore *(25 percento managers o professionisti tra chi sceglie un PEV (BEV + PHEV) contro il 15 percento tra chi sceglie una vettura a benzina)*, possidono più di un'auto *(75 percento tra chi sceglie un PEV (BEV + PHEV) contro il 55 percento tra chi sceglie una vettura a benzina)* e vivono lontani dal centro città. Queste sono le caratteristiche che hanno permesso a questa tipologia di cliente di superare le barriere prima descritte:

essendo più coscienti dei reali inferiori costi operativi ritengono che questi possano compensare quelli più alti di acquisto, possedendo un'altra vettura non subiscono la range anxiety rispetto ai lunghi viaggi utilizzando in quel caso l'alternativa ICE e più dell'80 percento ha possibilità di ricaricare l'auto all'interno del proprio garage. Rispetto ai valori ricercati, i clienti intervistati oltre ad una sensibilità ambientale spiccata, hanno reso noto un bisogno di sentirsi in un certo senso unici e speciali attraverso l'acquisto di una tipologia di auto innovativa. Ciò che si viene a delineare è un profilo che è possibile definire su diversi aspetti privilegiato e questo sottolinea ancora di più come quella del veicolo elettrico appaia ai più come una rivedicazione di un vero e proprio status symbol.

1.3 Analisi della letteratura

Quello della mobilità elettrica è un ecosistema che comprende molteplici aree - tecnologiche, commerciali, legate ai servizi, legislative - e che, di conseguenza, richiama l'attenzione di altrettante aree di studio. Per ogni aspetto preso in analisi, infatti, è possibile ritrovare in letteratura decine di documenti che riportano ogni punto di vista in merito. Al centro della dimensione della mobilità elettrica c'è, indubbiamente, il veicolo stesso a cui sono dedicati tutti gli studi connessi alla ricerca di soluzioni innovative per quanto riguarda il funzionamento o le performance del motore elettrico [19] [20] [21] e ancora quelli legati all'analisi delle metodologie e connessioni di ricarica [22] [23] [24]. Un'altra considerevole quota della letteratura è poi dedicata allo studio della batteria, tra gli altri [25] [26]. Questa trattazione, però, per quanto comprenda gli aspetti tecnici essenziali del veicolo, è focalizzata sull'integrazione dello stesso con l'infrastruttura della rete elettrica attraverso il sistema del Vehicle-to-Grid, V2G. Il V2G, come la mobilità elettrica stessa, è affrontato in letteratura come un'ecosistema che coinvolge diversi aspetti. Ci sono, quindi, studi concentrati sull'impatto della tecnologia sulla rete e sull'integrazione dell'energia rinnovabile [27] [28] mentre altri sono incentrati sulla degradazione della

batteria durante le fasi di contribuzione al sostegno dell'infrastruttura [10] [29] [30] e, ancora, è possibile consulare analisi focalizzate sulle abitudini dei possessori dei veicoli [9] [31] [32] e sui relativi benefici economici ricavabili [33] [34] [35]. Se gli aspetti appena elencati sono opportunemente analizzati in letteratura, decisamente inferiori sono ad oggi le analisi dedicate al relativo business model e alle ipotesi di commercializzazione considerando soprattutto il coinvolgimento diretto del carmaker. Questo documento si pone l'obiettivo di ampliare la letteratura in merito [36], [37], [38], [3] attualmente focalizzata maggiormente sull'individuazione degli stakeholeders. Considerando la natura innovativa della tecnologia V2G è d'altronde normale che non ci sia una ricca documentazione relativa alle sue ipotesi di vendita e quindi all'interesse che il settore automobilistico può riversarvi. Il progetto pilota del gruppo FCA presentato in questa trattazione vuole offrire uno spunto di analisi rispetto al centrale ruolo del carmaker nella dimensione del V2G, riportandone benefici e partnership, e vuole fornire una visione di insieme del panorama delle varie sperimentazioni portate avanti dai diversi competitors.

Capitolo 2

Infrastruttura di ricarica

Sommario

La *range anxiety* è uno dei principali ostacoli all'acquisto di un veicolo elettrico ed esprime la preoccupazione del guidatore rispetto al reperire un punto di ricarica dispobile; ciò sottolinea l'imprescindibile connessione vigente tra lo sviluppo della capillarità della rete di ricarica e la propensione all'acquisto di un'auto a trazione elettrica. Questa sezione comprende una panoramica sull'evoluzione dell'infrastruttura di ricarica elettrica, offrendo una visione d'insieme dell'aumento, negli ultimi anni, del numero di punti di ricarica pubblici disponibili in Europa. Ai dati storici sono affiancate delle previsioni con un orizzonte temporale che si spinge fino al 2030 che aiutano a confermare il trend positivo riguardante l'impatto nel mercato automobilistico della mobilità elettrica. A completare l'analisi vi è un'introduzione sulle tecnologie ad oggi offerte per le diverse possibilità di ricarica e una necessaria considerazione sulla relazione vigente tra l'aumento dei veicoli circolanti e la richiesta di fabbisogno energetico.

2.1 Tecnologie di ricarica

Sono molteplici i modi in cui l'elettricità può essere fornita alla batteria di un veicolo e, se da un lato questo rappresenta un limite nella standardizzazione dell'infrastruttura di ricarica, dall'altro evidenzia quanto quello della mobilità elettrica sia una dimensione in continua ricerca ed evoluzione tecnologica. Ogni tecnologia può differenziarsi dall'altra per capacità in termini di kW, tempistiche di ricarica, efficienza sulle perdite di potenza, modalità di somministrazione, costi e standard di connessione. È possibile per semplicità dividere le diverse opportunità di ricarica in quattro macro categorie: ricarica in corrente alternata (AC), ricarica in corrente continua (DC), ricarica wireless e tutte le restanti [2].

- **AC *Alternative Current***: la modalità AC è la forma più comune di ricarica del veicolo perchè comporta costi inferiori. I caricatori AC trasferiscono l'elettricità attraverso la presa presente sul veicolo che converte la corrente da alternata a continua per ricaricare la batteria. Generalmente le prese di corrente hanno un range di capacità che varia tra i 2 kW fino ai 22 kW mentre la maggior parte dei veicoli elettrici (BEV + PHEV) sono dotati di prese a bordo abilitate a correnti tra i 6.6 kW e i 7.2 kW. Ciò implica che tendenzialmente i punti di ricarica presenti sul mercato sono fissati ad una capacità di circa 7 kW. Tra le eccezioni presenti, Tesla ha fornito i propri veicoli di prese onboard fino a 20 kW mentre Renault arriva fino a 44 kW per la ricarica del modello ZOE. Anche escludendo Tesla e Renault che offrono l'opportunità della cosiddetta *AC fast charge*, per quanto sia un metodo di ricarica relativamente lento rispetto al DC non è definibile come inaccettabile. Tipicamente l'inefficienza dei caricatori AC riporta perdite di potenza di circa il 10 percento, dovute principalemente alla conversione a bordo da AC a DC.

  Di seguito l'immagine 2.1 riassuntiva di alcune caratteristiche della metodologia di ricarica AC [2].

	Level 1	Level 2	Level 3
Power	Up to 3.7 kW	3.7 kW to 22 kW	22 kW to 43 kW
Wallbox Cost	Up to $300	$400-$1,000	Not Available
Pedestal Cost	Not Available	$3,000-$5,000	$10,000-$25,000

Figura 2.1: Caratteristiche e costi - AC, *Navigant Research [2]*

- **DC *Direct Current***: la modalità DC è la forma invece preferita per i servizi che forniscono ricarica pubblica e per tutti quelli che richiedono la ricarica bidirezionale. I caricatori DC non sono limitati dalla presa onboard ma direttamente dal sistema di gestione della batteria che controllano la capacità di ricarica per proteggere la batteria dal rischio di degradazione. Attualmente la tecnologia emergente è interessata allo sviluppo di caricatori DC con capacità compresa tra i 150 kW e i 350 kW, conosciuti come *ultra-fast charging*, ma fino al secondo quadrimestre del 2019 la maggior parte dei punti di ricarica DC installati rientravano nella definizione di DCFC *DC fast charge* arrivando ad un massimo di 150 kW. Di nuovo di seguito l'immagine 2.2 riassuntiva di alcune caratteristiche della metodologia di ricarica DC.

	Low Power	DCFC	UFC
Power	Up to 25 kW	50 kW to 150 kW	150 kW to 350 kW
Wallbox Cost	Up to $10,000	Not Available	Not Available
Pedestal Cost	Up to $15,000	$25,000-$50,000	$50,000-$75,000
Storage Cost ($/kWh)	Currently ~$200, falling to ~$75 by 2030		

Figura 2.2: Caratteristiche e costi - DC, *Navigant Research [2]*

- **Wireless charging**: è una tipologia di ricarica che non utilizza alcun cavo per effettuare il rifornimento di energia ma una piattaforma magnetica che ricarica il veicolo una volta che questo vi sosta sopra. Attualmente è disponibile sui veicoli PHEV e BEV solo attraverso azioni di "retroffittaggio" dopo l'acquisto dell'auto e questo perchè è un sistema ad oggi ancora allo stadio embrionale. Un'evoluzione di questa tecnlogia, ancor più interessante, riguarda poi la possibilità di ricaricare il veicolo anche mentre è in corsa, sfruttando strade appositamente attrezzate. La ricarica wireless può svilupparsi in AC come in DC ed è soggetta a perdite di potenza di circa il 10 percento. Di nuovo di seguito l'immagine 2.3 riassuntiva di alcune caratteristiche della metodologia di ricarica wireless.

	WPT-1	WPT-2	WPT-3	WPT-4	Dynamic
Power	Up to 3.7 kW	3.7 kW to 7.7 kW	7.7 kW to 11 kW	11 kW to 22 kW	Up to 200 kW
Cost	Up to $3,000	Up to $13,000			$2 Million

Figura 2.3: Caratteristiche e costi - Wireless, *Navigant Research [2]*

Per quanto non rientri nei tradizionali metodi di ricarica perchè, nell'effettivo, non avviene alcun tipo di rifornimento di elettricità nel veicoli, è interessante citare l'alternativa del *battery swapping*. Con questa modalità i possessori di un veicolo elettrico ricevono di volta in volta una batteria completamente carica in cambio dell'ormai esausta in loro possesso. Questo tipo di ricarica è legata ad un'infrastruttura decisamente differente da quella analizzata in questo documento, che si basa su stazione dotate di un gran numero di batterie per i diversi modelli e di contratti tra il guidatore e quest'ultime. Valutandone l'impatto con la rete è da sottolineare come le batterie fornite devono essere a loro volta sempre ricaricate in un'unica stazione. Complessivamente questa infrastruttura richiede meno energia di quella fast charging ma ogni stazione richiede una forte connessione alla rete [39].

2.2 Panoramica attuale dell'infrastrutture di ricarica

Il rapporto tra la vendita di veicoli elettrici e lo sviluppo dell'infrastruttura di ricarica è di centrale attenzione per la tematica della mobilità elettrica e la relazione che intercorre tra i due trend è descrivibile come una stretta codipendenza. Riemerge così il concetto di Range Anxiety presentato in precedenza. Se l'infrastruttura di pubblica ricarica non è articolata in maniera ragionevole rispetto alle distanze da percorre, anche i consumatori generalemnte interessati all'acquisto di veicolo elettrico potrebbero temere di scaricare le batterie durante un viaggio senza alcuna prospettiva di ricarica nelle vicinanze e questo inibisce le potenziali vendite. Secondo uno studio portato avanti tra clienti EV e non, la distanza desiderata tra due differenti punti di ricarica dovrebbe essere la stessa esistente ad oggi tra la maggior parte delle stazioni di rifornimento tradizionali e, volendo misurare quantitativamente la range anxiety, la distanza massima accettata tra due punti di ricarica, infatti, è di soli 7 km [40]. L'intensificazione della rete quindi potrebbe essere cruciale per la diffusione dei veicoli elettrici, ma non è l'unica modalità possibile di ricarica. Uno dei grandi vantaggi esclusivi delle auto elettriche ed ibride è rappresentato infatti dall'opportunità di ricaricare il veicolo a casa o in ufficio. Si ricordi - come è stato riportato nella sezione di analisi del cliente - che l'utilizzo giornaliero dell'auto (ICE o elettrica che sia) è largamente inferiore rispetto al suo periodo di sosta e ciò ci fa comprendere come la ricarica privata o quella semipubblica siano due opzioni che possono potenzialmente coprire la maggior parte dei bisogni di ricarica. In una suddivione delle metodologie tra pubblica, semi-pubblica (uffici, ristoranti, hotel...) e privata, è giusto quindi ragionare su come la rete pubblica sia di particolare interesse per chi intende intraprendere distanze più importanti o chi non ha la possibilità di installare le cosidette *Wallbox*, colonnine private di ricarica che possono essere facilmente collocate a casa. Infatti la ricarica pubblica comporta un vantaggio soprattutto in aree densamente urbano dove sono comuni i complessi abitativi come

affollati condomini ed è la scelta primaria per la ricarica delle cosidette *flotte* come taxi oppure veicoli destinati alle consegne.

Prima di procedere con lo stato dell'arte dell'infrastruttura è bene fare due osservazioni: sulla suddivisione delle metodologie di ricarica e su quella delle tecnologie di veicoli elettrici. Per fornire una precisazione si noti quindi che per ricarica pubblica si intende l'insieme di punti di ricarica potenzialmente accessibili e utilizzabili da chiunque; ciò vuol dire che è considerato punto di ricarica pubblico anche quello gestito da instituti privati o da singoli, quando è localizzato su una proprietà privata o quando la possibilità di ricarica potrebbe richiedere la registrazione o il pagamento. La ricarica semi-pubblica può essere invece gratuita perchè ad esempio fornita per da aziende ed uffici ai propri dipendenti oppure offerta da supermercati, ristoranti o alberghi ai propri clienti per un tornaconto di immagine e pubblicità. In seconda battuta, anche se in questa stesura non verrà estesa l'analisi di questa osservazione, è bene per completezza mezionare che le differenti tecnologie tra i veicoli elettrici possono determinare un impatto diverso sulla richiesta di un'infrastruttura potenziata. I proprietari di veicoli PHEV sono interessati ad utilizzare in maniera più efficiente possibile l'autonomia in elettrico a loro disposizione, ma in ogni caso possono utilizzare il motore a combustione come seconda opzione. Questo fa si che siano i clienti di auto BEV a trazione esclusivamente elettrica quelli a subire di più la range anxiety e di conseguenza ad essere più dipendenti dalla presenza di colonnine di ricarica soprattutto durante viaggi più lunghi [41].

È importante sottolineare poi che, come per il trend riguardante i veicoli elettrici, anche la costante crescita dei punti di ricarica osservata è in larga parte dovuta ai finanziamenti e agli incentivi che i singoli stati hanno siglato per l'installazione di colonnine, pubbliche e private. Ogni nazione ha diversi tipi di sussidi ma, tendenzialmente, si riassumono in agevolazioni sulla percentuale di costi sostenuti oppure sulla detassazione dell'acquisto.

Si può notare, nello schema che segue in figura 2.4, l'andamento dello sviluppo dell'infrastruttura pubblica in Europa dal 2016 ad oggi, con un dettaglio rispetto

alla divisone tra ricarica Normal e Fast individuato dal limite dei 22kW.

EUROPE

PUBLIC CHARGING PORTS	2016	2017	2018	2019	2020
Normal Charge (<=22kW)	70.000	93.300	107.400	148.900	235.000
Fast Charge (>22kW)	5.200	8.700	11.100	15.100	36.000
Total	75.200	106.000	118.500	164.000	271.000

Figura 2.4: Evoluzione infrastruttura di ricarica pubblica in Europa - *EAFO, European Alternative Fuels Observatory*

È delineato uno stesso trend di crescita anche dall'andamento dell'infrastruttura privata in Europa come espresso dallo schema di seguito.

EUROPE

Thousands of units	2016	2017	2018	2019	2020
HOME CHARGING PORTS	400	620	920	1.300	1.900

Figura 2.5: Evoluzione infrastruttura di ricarica privata in Europa - *Navigant, [2]*

Prima di osservare nel prossimo paragrafo quali siano ad oggi le previsioni di crescita della rete è giusto chiedersi se attualmente, ragionando sulla relazione tra vendita di veicoli e disponibilità di punti di ricarica, esista un collo di bottiglia nella diffusione dell'adozione della mobilità elettrica. Ad oggi, il rapporto raccomandato dalla IEA (International Energy Association) è di 10 veicoli elettrici per ogni punto di ricarica e di seguito nelle figure 2.6 2.7 è riportata una panoramica della situazione vigente nei maggiori mercati europei valutando il parco auto attualmente in circolazione e le colonnine elettriche [4].

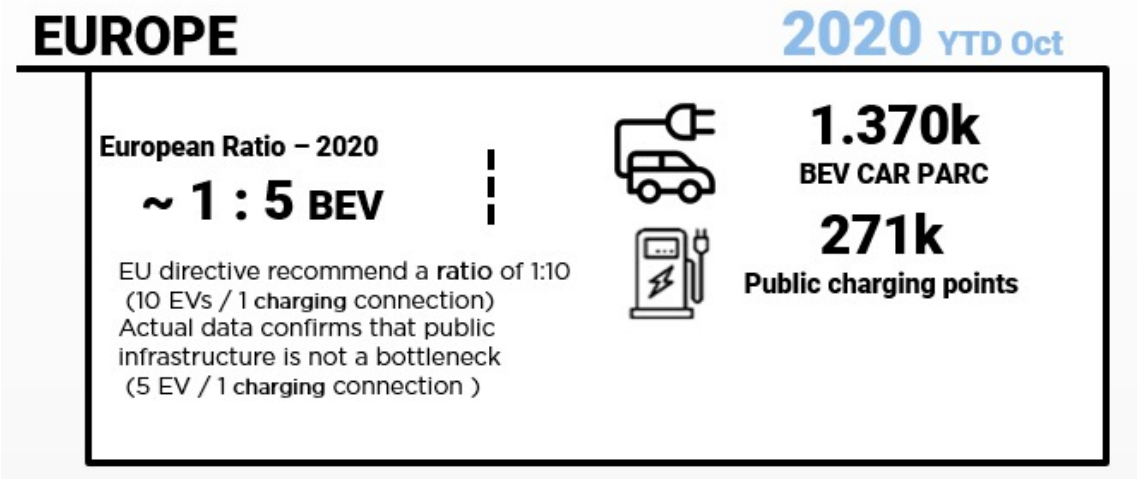

Figura 2.6: Rapporto in Europa tra il parco auto attualmente in circolazione e i punti di ricarica - *EAFO, EV Volumes*

Come è evidenziato, tendenzialmente non è possibile imputare interamente alla mancanza di infrastruttura la reticenza dei guidatori rispetto alla scelta elettrica a testimonianza che, come è stato già sottolineato in precedenza, questa è determinata da molteplici fattori diversi. La progressiva diffusione di veicoli elettrici e plug-in hybrid ha certamente determinato la richiesta crescente di un'infrastruttura di ricarica adeguata ma, ciò che non è assodato, è il peso che l'aumentare della presenza di punti di ricarica abbia effettivamente nella scelta dei nuovi acquirenti verso auto a trazione elettrica permettendone l'aumento della vendita. Un altro aspetto importante da sottolineare è come la ricarica di un veicolo elettrico si differenzi in maniera sostanziale dal rifornimento di un auto ICE; ciò avviene per via

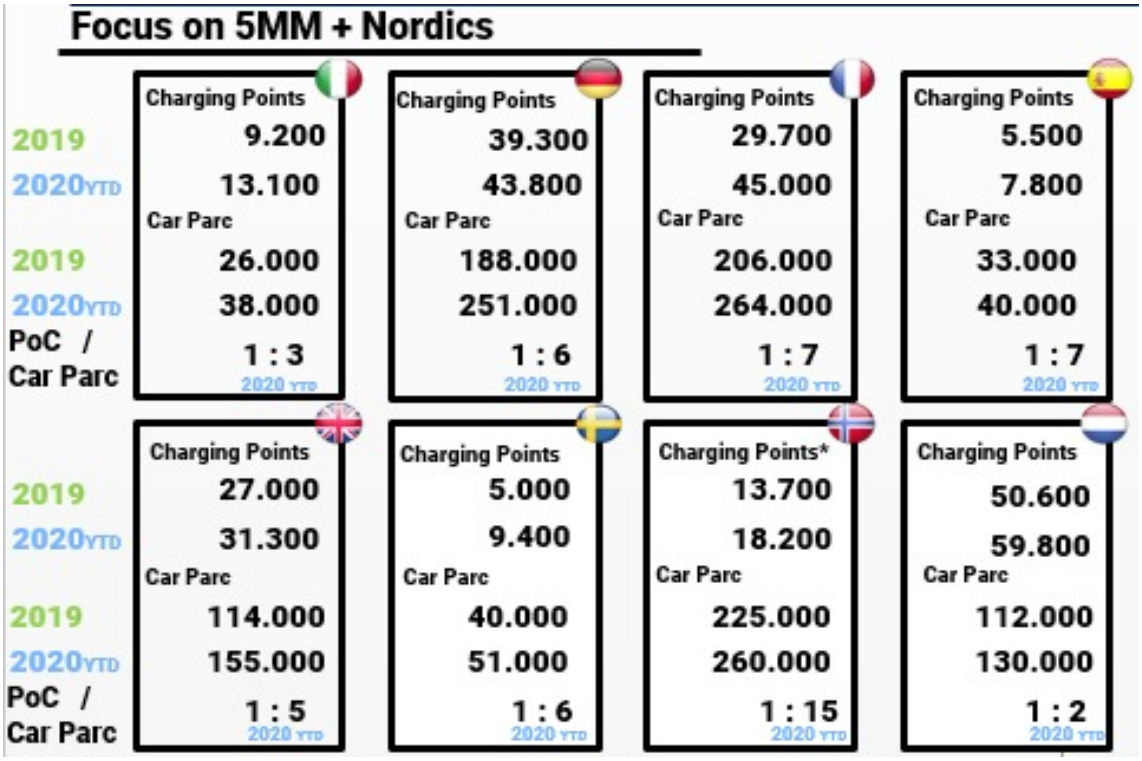

Figura 2.7: Rapporto nei principali stati tra il parco auto attualmente in circolazione e i punti di ricarica - *EAFO, EV Volumes*

delle tempistiche, della frequenza e dell'accessibilità o meno dei punti di ricarica spesso legata ad abbonamenti o modalità di pagamento telematica. Questo tipo di osservazioni diventano essenziali se si vuole porre l'attenzione sul fatto che, nonostante ad oggi esista una relazione forte tra veicoli elettrici e infrastruttura pubblica, i progressi tecnologici rispetto all'autonomia in termini di chilometraggio dei veicoli, alle tempistiche di ricarica e all'accessibilità, possono sicuramente ancora cambiare drasticamente le abitudini di ricarica e il bisogno stesso di un certo tipo di infrastruttura.

2.3 Evoluzione dell'infrastruttura di ricarica

Parlando di un settore industriale fondamentalmente agli arbori, è bene osservare lo stato dell'arte dell'infrastruttura di ricarica appena delineato senza necessaria-

mente dare per certo che in futuro le prospettive sul tema siano solo in riferimento all'estensione della rete pubblica.

Se nel primo capitolo è stato presentato l'ecosistema della mobilità elettrica, qui è importante analizzare quello della ricarica elettrica. L'ecosistema della ricarica elettrica, come è possibile osservare nella figura 2.8 riportata, è composto da 4 aree principali nelle quali gli stakeholders possono operare: l'area politica, quella di ricerca tecnologica e consulenza, il mercato dell'energia e lo stesso mercato dell'infrastruttura elettrica. All'interno di quest'ultimo si delineano poi quattro attori principali. I *charging point operators* sono quelli che vendono nell'effettivo l'energia ai possessori di veicoli elettrici e che sono responsabili delle quotidiane attività delle stazioni di ricarica: queste sono a loro volta fornite dai produttori (*manufactures*). Il cliente finale però, può utilizzare il punto di ricarica scelto solo attraverso un fornitore del servizio di ricarica (*service provider*) che permette l'accesso a stazioni differenti *operators*. Infine anche i produttori di veicoli cooperano all'interno del mercato dell'infrastruttura di ricarica per assicurare ai loro clienti che questa sia sufficiente per le loro esigenze [3].

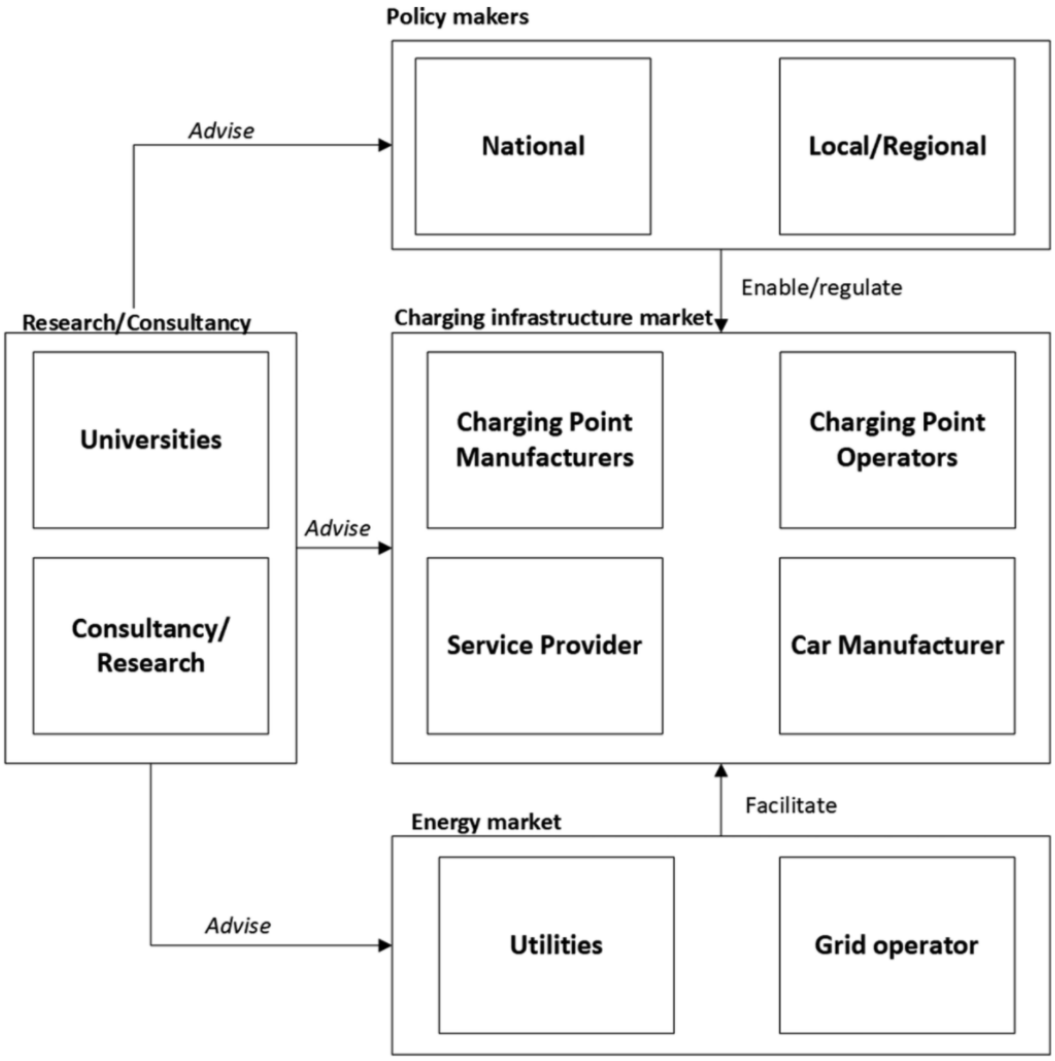

Figura 2.8: Panoramica dell'ecosistema dell'infrastruttura di ricarica - [3]

Il gran numero di stakeholders che vogliono guidarne lo sviluppo rende complesso il tema dell'evoluzione dell'infrastruttura di ricarica perchè il servizio pubblico, gli operatori di rete, i costruttori di auto, governi e compagnie di petrolio intendono tutti investire nel settore. Nonostante il comune interesse però, questi differiscono su diverse tematiche, come la reale importanza dell'estensione della rete pubblica, gli standard da fissare per quella wireless, il livello di interferenza dei finanziamenti pubblici nel settore. Il periodo di ritorno di questi investimenti però, come quello di ogni finanziamento a tecnologie emergenti, è relativamente lungo quindi l'obiettivo

è ricercare un obiettivo comune per la direzione da intraprendere.

Senza affrontare in questo documento le molteplici nuove tecnologie ed opzioni di ricarica - restando sulla distinzione tra ricarica pubblica, semi-pubblica e privata - se il settore automobilistico procede verso la volontà di diminuzione dei tempi di sosta per il collegamento dell'auto oppure verso l'aumento dell'autonomia è ragionevole pensare che non sia più realmente necessario mantenere i ritmi di crescita dell'espansione della rete che si sono osservati negli ultimi anni. La diminuzione nel tempo del prezzo delle sopracitate *wallbox* e in generale la loro utilità nelle dinamiche quotidiane di ricarica spinge il consumatore verso la scelta di ricarica domestica sottolineando fortemente il rapporto tra la richiesta di ricarica pubblica e quella privata in favore di quest'ultima. Questo divario è esplicitato dal grafico di seguito in figura 2.9.

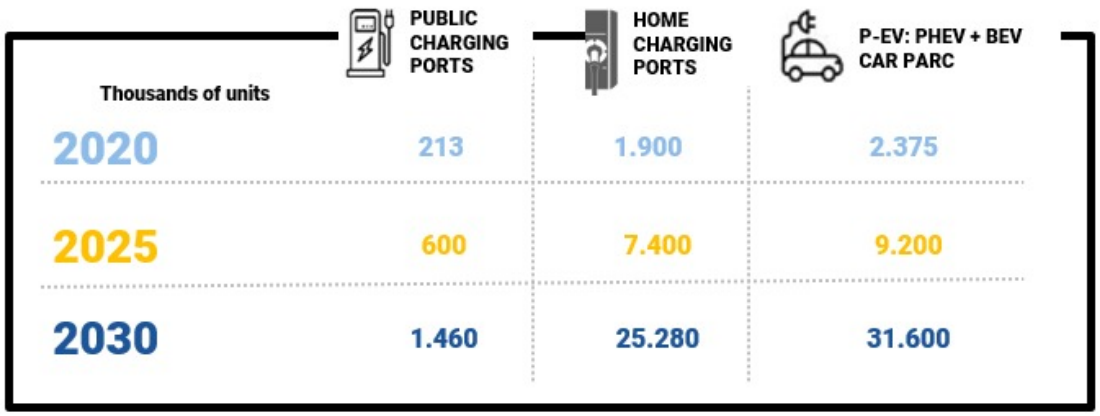

Figura 2.9: Evoluzione infrastruttura di ricarica privata in Europa - *EAFO, Navigant, IHS Markit, Bloomberg*

2.4 Richiesta energetica: fabbisogno attuale e previsioni future

Quando si analizza l'infrastruttura di ricarica non si può non considerare ovviamente il sostegno della rete elettrica che c'è alle sue spalle: all'aumento del parco circolante

di veicoli elettrici deve necessariamente corrispondere un aumento di domanda di energia elettrica. Ciò che è da valutare però è il reale impatto che i veicoli elettrici hanno e come questo possa variare anche in base alle. modalità di ricarica prima descritte. La panoramica circa la domanda di energia elettrica attuale e futura qui riportata è ripresa da un'analisi della IEA *(International Energy Agency)* ed è particolarmente interessante perchè considera due scenari differenti con una orizzonte temporale fino al 2030 [4]. Il primo scenario, lo *Stated Policies Scenario*, considera le attuali politiche governative, mentre il secondo, il - *Sustainable Development Scenario* - è totalmente compatibile con gli obiettivi fissati dal Paris Agreement citato nel capitolo uno in riferimento alle aspettative di riduzione delle emissioni di CO_2 . Nel 2030, in base allo Stated Policies Scenario, la domanda globale di elettricità derivante dai veicoli elettrici (includendo quelli a due e tre ruote in rapida crescita) raggiungerà 550 TWh, circa sei volte il livello segnato nel 2019 e la quota parte di domanda rispetto al consumo totale si attesterà quasi al 4 percento in Europa. Nel Sustainable Development Scenario, che ovviamente prevede un aumento più consistende di veicoli elettrici, la richiesta raggiungerà quasi i 1000 TWh e la quota parte in Europa il 6 percento. Di seguito è riportata una tabella 2.10 che illustra per i due scenari la domanda di elettricità nei maggiori mercati del mondo.

Country/region	2019	Stated Policies Scenario, 2030	Sustainable Development Scenario, 2030
China	1.2%	3%	3%
Europe	0.2%	4%	6%
India	0.0%	2%	3%
Japan	0.0%	1%	2%
United States	0.1%	1%	4%

Figura 2.10: Andamento della domanda di energia elettrica nel mondo - [4]

Queste proiezioni suggeriscono come i veicoli elettrici indubbiamente avranno un ruolo importante nel sistema di fornitura energetica nel relativamente breve termine. È bene però considerare come gli impatti sulla stabilità di rete siano dovuti essenzialmente a pratiche di ricarica non adeguatamente schedulata. [42]. Inoltre, nelle economie più eterogeneamente avanzate come Europa e Stati Uniti, la quota di domanda di elettricità da parte del settore della mobilità elettrica è più considerevole perchè non ci si aspettano picchi dovuti ad altre industrie, ma piuttosto una diminuzione della richiesta generale grazie ai miglioramenti sull'efficienza energetica. Nelle economie emergenti, invece, l'aumento legato ai veicoli rientra in un contesto di generale crescita del fabbisogno elettrico.

Capire quando i veicoli necessitano di essere ricaricati e a quale potenza è essenziale nel tentativo di bilanciare coerentemente l'impatto sulla rete elettrica. Nella figura 2.11 in basso è presenta una panoramica della domanda di energia elettrica suddivisa per tipologia di veicolo, tipo di ricarica e regione.

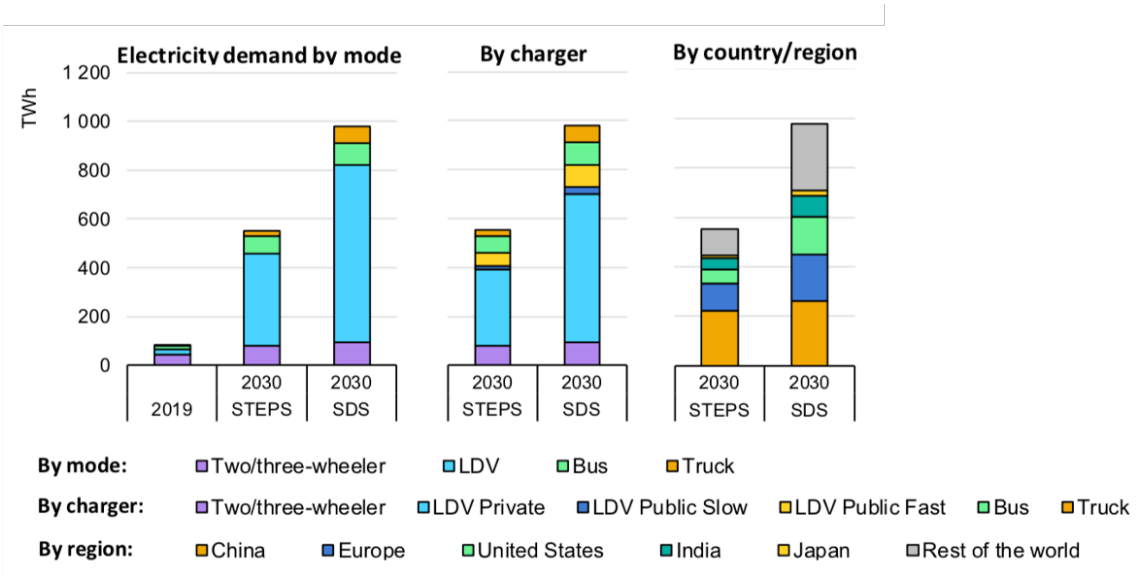

Figura 2.11: Andamento della domanda di energia elettrica suddivisa per tipologia di veicolo, tipo di ricarica e regione - [4]

In entrambi gli scenari, la domanda di elettricità da parte della ricarica a bassa velocità, la *slow charge*, rappresenta la maggior parte della richiesta e questo per via

della predominanza della ricarica privata su quella pubblica. Per la stabilità della rete, questo è un aspetto particolarmente critico nei casi in cui i veicoli elettrici sono concentrati in un'area specifica, come i quartieri residenziali. Infatti la ricarica domestica rappresenta un aumento significativo sul consumo a casa di elettricità e potrebbe dover richiedere un upgrade dell'intero sistema elettrico. Se non opportunamente gestito, infatti, questa richiesta potrebbe eccedere il massimo fissato di potenza distribuibile, soprattutto nelle fasce orarie di picco di domanda.

Per alleviare l'impatto dei veicoli elettrici sulla rete e supportarne la stabilità sono diverse le possibilità attuabili. Se da una parte sono gli stessi fornitori ad incentivare con le tariffe agevolate l'utilizzo di fasce orarie meno sovraccaricate, dall'altra si affacciano sul mercato più tecnologie che mettono al centro il veicolo stesso come soluzione al crescente fabbisogno elettrico. Si introduce così l'opzione di connettere i veicoli elettrici alla rete per sfruttarne le batterie come sistema di accumulo di energia da ridistribuire alla rete. Il veicolo e il guidatore, com'è presentato nel prossimo capitolo di questa stesura, entrano all'interno dell'ecosistema della ricarica elettrica nel mercato dei servizi ancillari, al fianco dei fornitori di energia.

Capitolo 3

Integrazione del veicolo con la rete elettrica: V2G e progetto pilota FCA

Sommario

La diffusione sempre maggiore dei veicoli elettrici ed ibridi comporta un impatto sul fabbisogno di energia elettrica e ciò si trasforma in una sfida importante nell'ottica del mantenimento della stabilità della rete. I veicoli elettrificati però, oltre a richiedere il supporto dell'infrastruttura di ricarica, possono rappresentare anche un'opportunità per il sostegno alla stessa, se adeguatamente sfruttati. In questo capitolo è offerta una panoramica del funzionamento della rete elettrica, articolata nelle fasi di produzione, trasmissione e distribuzione, un'analisi del mercato dei servizi ancillari e la proposta della tecnologia del *V2G Vehicle-to-Grid* come soluzione all'instabilità della domanda di elettricità, introducendone benefici per il cliente e per la rete e limiti tecnologici. In conclusione è presentata l'opportunità di commercializzazione del servizio attraverso l'esposizione del progetto pilota sul tema V2G portato avanti da FCA in collaborazione con i partner tecnici ed energetici, ENGIE e Terna.

3.1 Struttura fisica e funzionale del sistema elettrico italiano

La struttura del sistema elettrico è articolata in quattro aree distinte: produzione, trasmissione, distribuzione ed utenze e comprende, partendo a monte, le centrali di produzione, la rete di elettrodotti di alta tensione, le stazioni di trasformazione, le reti a tensione inferiore, sino alle cabine di trasformazione e alle linee in bassa tensione alle quali è affidata l'alimentazione elettrica della maggior parte degli utenti finali. L'uso di diversi livelli di tensione è determinato dalla necessità di limitare le perdite e le cadute di tensione nel caso di verifichino ingenti flussi di potenza trasportata. I livelli di tensione sono classificati, quindi, in base all'entità dell'energia veicolata e, comunemente, si individuano i sistemi in Alta Tensione (AT) per valori superiori a 30 kV, Media Tensione (MT) per valori compresi tra 1 kV e 30 kV e Bassa Tensione (BT) per valori inferiori a 1 kV. Esistono, inoltre, sistemi con tensione nominale nell'ordine di centinaia di kV, che costituiscono i sistemi ad Altissima Tensione (AAT). Osservando lo schema in figura 3.1 è possibile avere una più chiara visione della struttura tecnica.

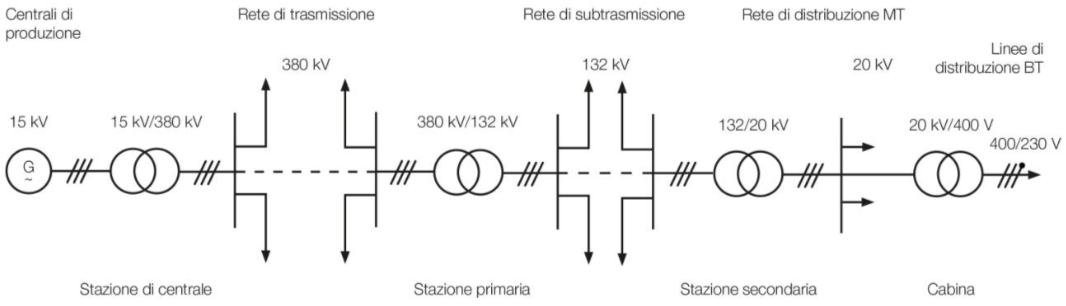

Figura 3.1: Struttura tecnica del sistema elettrico [5]

Ritornando alla macro distinzioni in fasi, nel suo stadio iniziale la produzione di elettricità è realizzata sfruttando fonti fossili oppure fonti rinnovabili, in un regime di libero mercato. A valle, invece, le società predisposte si occupano di distribuire

l'elettricità gestendo le reti locali e di venderla successivamente agli utenti finali. La posizione centrale, invece, è occupata dai responsabili della trasmissione, che si occupano della gestione, del mantenimento, dello sviluppo della rete elettrica ad alta tensione e del suo successivo dispacciamento, attività che consiste nel calibrare i flussi di elettricità sulla rete in qualsiasi momento.

Nell'immagine sottostante divulgata da Terna, gestore della rete di trasmissione italiana in alta tensione, si può osservare graficamente la struttura appena descritta.

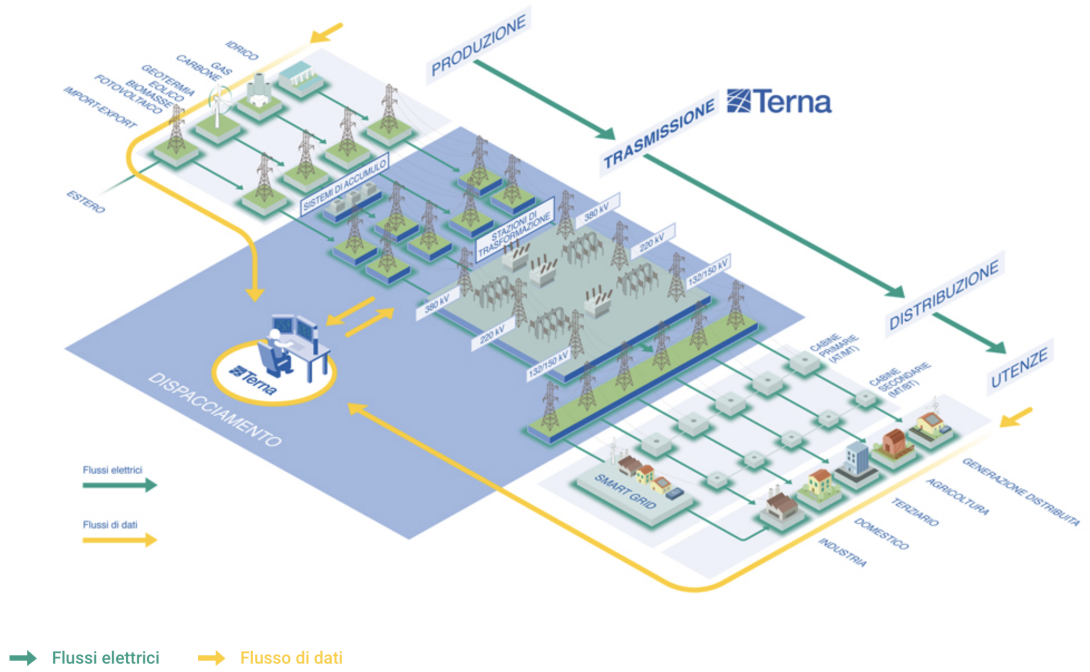

Figura 3.2: Panoramica della rete elettrica - *Terna* [6]

Una volta ottenuta una visione di insieme del funzionamento del sistema elettrico, si può focalizzare l'attenzione sulle necessità di risposta energetica cui la rete stessa è chiamata a rispondere. La domanda energetica da soddisfare infatti rappresenta l'obiettivo da tenere in considerazione per il dimensionamento della rete elettrica stessa in tutti i suoi stadi e, per questo, sono necessarie opportune analisi statistiche che forniscano, rispetto a diversi orizzonti temporali, i dati sui quali basare la distribuzione energetica. Ciò avviene perchè, data la difficoltà nell'accumulare l'energia elettrica in quantità significative, la rete elettrica è costretta ad operare

ad *inseguimento di carico*, cercando di produrre l'energia contestualmente alla sua richiesta. Quello che si deve ottenere dimensionando a monte la generazione è la soddisfazione in tempo reale della potenza assorbita dalle varie utenze al netto delle perdite di rete e al saldo import/export.

Per quanto l'analisi strutturale della rete elettrica appena descritta resti valida generalmente, per contestualizzare al meglio la successiva introduzione dei servizi ancillari e la tecnologia V2G, particolare attenzione è data al panorama italiano e alla sua struttura di mercato.

In Italia il prezzo dell'energia tiene conto delle curve aggregate di domanda ed offerta e viene stabilito lungo una contrattazione che attraversa diverse fasi e coinvolge tre differenti mercati che, nel loro insieme, compongono il mercato dell'energia elettrica. Quella che rappresenta una vera e propria *borsa energetica* può essere suddivisa in tre grandi categorie di mercati: il *day-ahead market* (DAM), l' *intra-day market* (IDM) e il *balancing energy market* (BEM) che è a sua volta diviso nel *market of the dispatching services* (MSD ex-ante) e nel *real time balancing market* (BM) [43] . Ogni mercato è caratterizzato da differenti funzioni, tempistiche di apertura e chiusura delle offerte e regole di prezzo ma, tentando una semplificazione, all'interno del DAM il *Gestore del Mercato Energetico* (GME) accetta le offerte proveniente da tutti gli operatori elettrici e fissa il prezzo equilibrandolo tra domanda e offerta e tenendo conto di una tariffazione diversa per ogni ora del giorno. Nel DAM è stabilita un'iniziale schedulazione statistica del fabbisogno per il giorno dopo e nell'IDM avvengono nuove negoziazioni per il giorno corrente. Successivamente, Terna opera nel mercato MSD attraverso il quale si approvvigiona delle risorse per i servizi di dispacciamento per la risoluzione delle congestioni, la costituzione degli adeguati margini di riserva ed il mantenimento dell'equilibrio tra immissioni e prelievi [6]. In quest'ultima dimensione si collocano i servizi ancillari, quindi, di approvigginamento e supporto alla rete in cui rientra la tecnologia V2G.

3.2 Servizi ancillari e V2G

3.2.1 Domanda energetica e regolazione della frequenza

Assicurare la stabilità della rete è un problema cruciale e trova soluzione nel bilanciamento continuo della generazione di energia con la domanda della stessa. Per quanto aggiustamenti al bilanciamento avvengano costantemente anche in tempo reale, la richiesta di domanda giornaliera è comunque ipotizzata stocasticamente tenendo conto di numerose variabili, che possono riguardare le fasce orarie, la differenza tra giorni feriali e festivi, la stagionalità, eventi socio-politici. Ovviamente esistono delle discrepanze tra le previsioni e la richiesta effettiva.

Per esempio in Italia la domanda totale è stata di 191.73 TWh da Gennaio 2019 a Dicembre 2019 e, lungo quel periodo, le previsioni hanno sovrastimato e sottostimato la domanda reale rispettivamente per un valore cumulato di 3.95 TWh e 0.85 TWh. Nell'immagine 3.3 è riportato come esempio il prospetto delle discrepanze nelle stime in un giorno specifico, il primo Marzo 2019 [7].

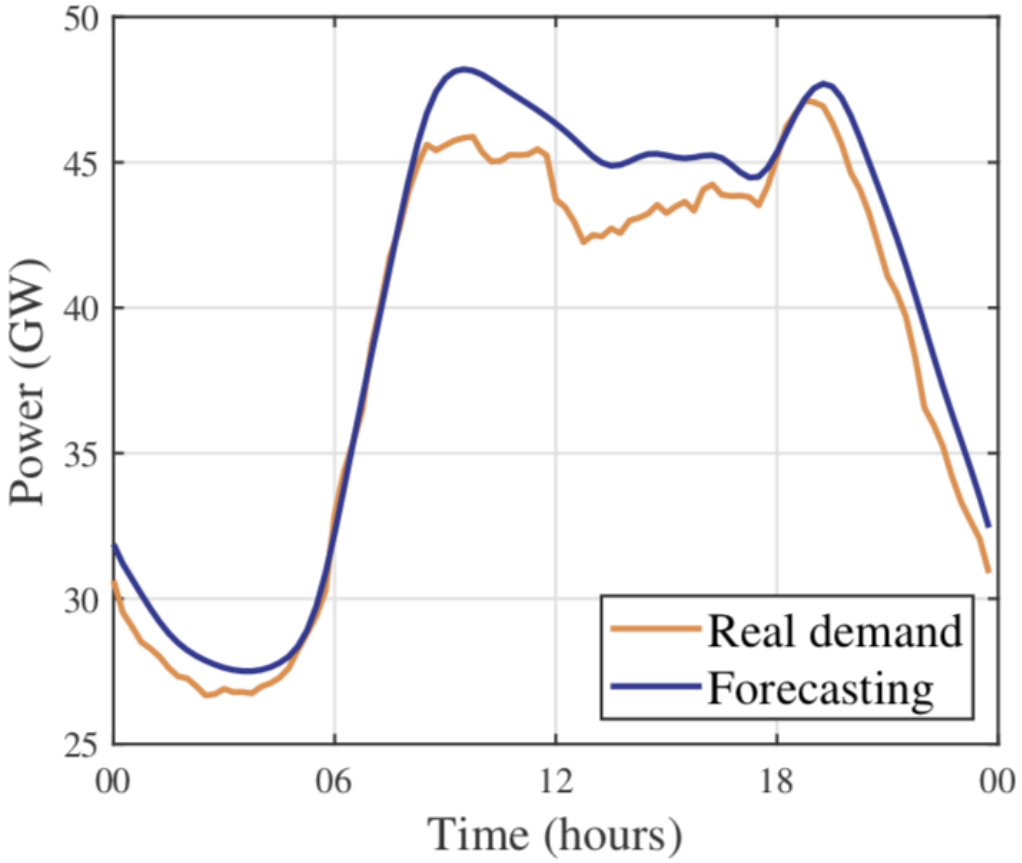

Figura 3.3: Discrepanze tra le previsioni e la domanda di energia elettrica, primo Marzo 2019, Italia - [7] [6]

Per sopperire alle discrepanze nelle previsioni, la stabilità della rete è raggiunta attraverso una serie consequenziale di diverse azioni di regolazione delle frequenze, divise in regolazione primaria (PFR), secondaria (SFR) e terziaria (TFR). Queste si distinguono principalmente per aree e tempistiche di intervento [44] [7].

- **Regolazione Primaria**: rappresenta la prima risposta allo squilibrio tra potenze e generate e assorbite ed è basata su azione automatiche che intervengono già nei primi secondi successivi alla variazione osservata causata da un evento inatteso. Non hanno come obiettivo quello di ripristinare la frequenza al suo valore nominale.

- **Regolazione Secondaria**: interviene con tempistiche più lente ma sempre

nell'ordine massimo di decine di secondi e ha come obiettivo quello di riportare la frequenza al suo valore nominale.

- **Regolazione Terziaria**: a differenza delle prime due, è eseguita solo su richiesta del regolatore della rete di trasmissione (nel caso italiano, Terna) ed è utilizzata per il ripristino delle riserve e richiede un tempo che si aggira attorno ai 15 minuti.

Nello schema in figura 3.4 è riportata la spiegazione della regolazione di frequenza in funzione del tempo di intervento in seguito ad un evento perturbativo.

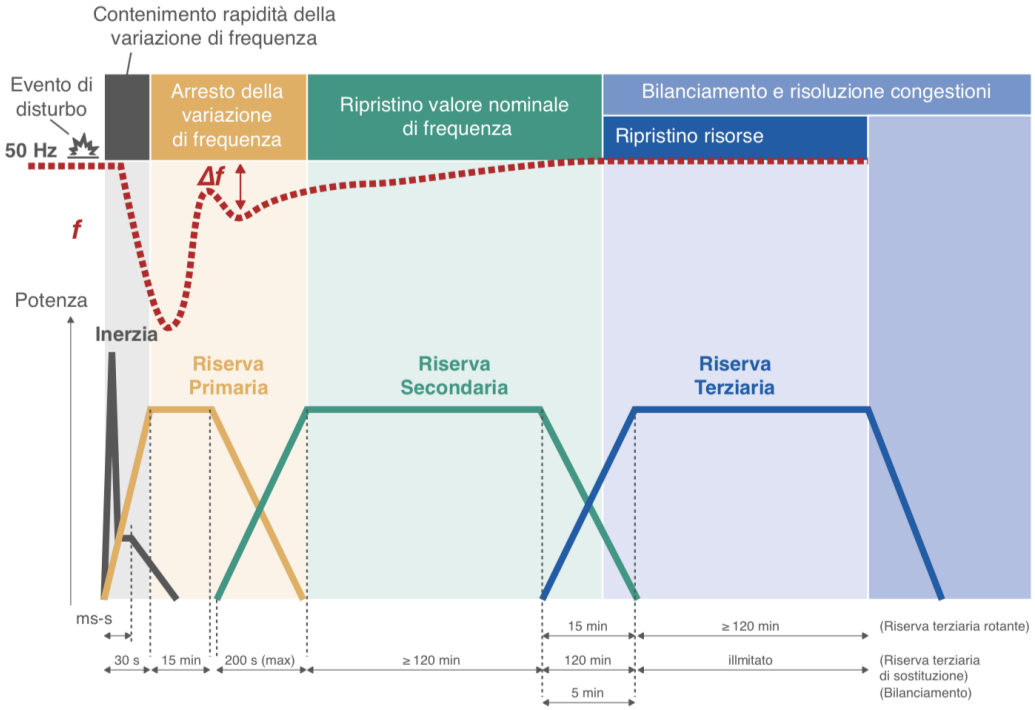

Figura 3.4: Interventi di regolazione delle frequenze - [7] [6]

3.2.2 Integrazione del veicolo con la rete: V2X e V2G

La diffusione dei veicoli elettrici ed ibridi su larga scala potrebbe potenzialmente comportare una differenza significativa nella domanda totale di energia. Questa motivazione è quella che ha spinto, quindi, la richiesta di una soluzione e l'ideazione di strategie che potessero coordinare le dinamiche di caricamento e scaricamento delle batterie delle auto e incentivarne i possessori a ricaricarle lontano dai picchi di richiesta e, soprattutto, participare al mercato dei servizi ancillari [45]. La connessione tra il veicolo e la rete dipende principalmente dalla modalità di ricarica scelta - ricarica unidirezionale e ricarica bidirezionale - e dal tipo di schedulazione che si sceglie di adottare [46].

La ricarica unidirezionale si riferisce ad un singolo flusso di energia che parte dalla rete per ricaricare le batterie dei veicoli e si differenzia, come già analizzato nel secondo capitolo, in base alle potenze scelte (AC, DC). La ricarica in questo caso può avvenire in maniera incontrollata o schedulata. La prima scelta prevede che la ricarica avvenga dal momento in cui il veicolo è connesso a quello in cui questo raggiunga il 100 percento di batteria oppure a quello in cui è scollegato in caso l'orario di partenzia sia previsto prima della fine della ricarica completa. Questa tipologia di rifornimento energetico è, però, quella che comporta il reale impatto sulla rete in termini di accumulo di domanda nelle ore più sovraccaricate. L'unico vantaggio che può presentare è quello di non dover essere sostenuta da alcun tipo di costo in termini di sviluppo ed implementazione per via della sua semplicità di esecuzione ma, oltre questo, così come per la rete, non rappresenta alcun beneficio neppure per il cliente stesso visto che è accompagnato dall'imprevedibilità del pagamento del ciclo di ricarica. La modalità schedulata invece, più comunemente conosciuta come *smart charging*, risponde all'esigenza di tener conto delle necessità della rete creando modelli di ricarica che aggregano diversi indicatori interni ed esterni al veicolo. Questo apre la possibilità allo sviluppo di molteplici business model, potendo contare sulle diverse fasce di prezzi dell'energia, e all'ottimizzazione dei servizi ancillari, potendo sostenere la rete attraverso la scelta di orari meno utilizzati.

La ricarica bidirezionale, invece, interessa due differenti flussi di energia: il primo analogo all'unidirezionale fornisce solamente elettricità al veicolo mentre il secondo è in grado di fornire la stessa ad una differente destinazione (V2X), sia questa un'abitazione (*Vehicle-to-Home, V2H*) oppure l'intera rete (*Vehicle-to-Grid, V2G*).

La ricarica domestica rappresenta una larga fetta dell'intera infrastruttura di ricarica e questo permette ai veicoli elettrici ed ibridi di contribuire in maniera significativa alla gestione energetica delle abitazioni. La tecnologia V2H, infatti, sfrutta l'energia raccolta all'interno delle batterie delle auto per reimmetterla nella rete domestica durante i periodi di prezzo più alto ottimizzando consumi e costi [47][48]. Il modello del Vehicle-to-Home combina quindi tecnologie di produzione energetica e la capacità di accumulo elettrico delle batterie dei veicoli per stabilizzare la curva di domanda. Ovviamente anche l'utilizzo del sistema durante delle emergenze che impediscano il normale fruire della corrente all'interno dell'abitazione - i cosidetti blackouts - rappresenta un ulteriore vantaggio della tecnologia V2H. All'interno di questo sistema, un ruolo centrale è occupato dalle fonti di energia rinnovabili che, per loro natura, non sono sempre prevedibili in termini di mole di energia generata e, soprattutto, necessitano di continue destinazioni di storaggio disponibili nel caso in cui producano più elettricità di quella richiesta. Un tipico esempio di sistema completo di V2H è quello che prevede l'interazione del veicolo, della rete domestica e dei pannelli fotovoltaici privati. Come esempio, uno studio condotto in UK riporta, infatti, i vantaggi di un simile utilizzo del V2H analizzando l'opportunità di utilizzare la batteria dell'auto come destinazione dell'energia raccolta dai pannelli solari installati nell'abitazione. Osservando in figura 3.5 il grafico che sovrappone la produzione di energia rinnovabile con la domanda di elettricità domestica, si tenga conto che il modello adottato per l'analisi da priorità di ricarica al veicolo ogni volta che la prima eccede la seconda [8].

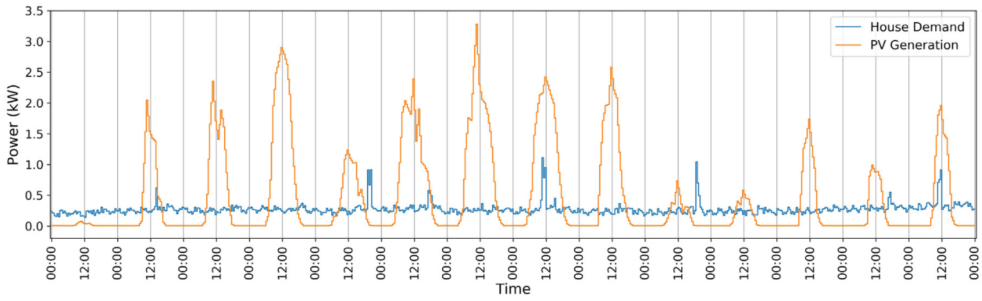

Figura 3.5: Produzione energetica dei pannelli fotovoltaici e domanda elettrica domestica - [8]

Il risultato dello studio, includendo lo sfruttamento ottimale delle tariffazioni orarie per l'elettricità consumata, riporta un risparmio fino all'85 percento sui costi da affrontare nel periodo invernale utilizzando il sistema V2H. Un risultato notevolte che spinge il guidatore ad adottare soluzioni intelligenti di ricarica per la sua abitazione e che getta le basi per un'utilizzo più generale della connessione del veicolo con la rete, il V2G.

3.2.3 Vehicle-to-Grid

Con l'aumentare del parco delle auto elettriche ed ibride si è rapidamente preso coscienza del conseguente aumento di potenziale energia immagazzinabile da fornire alla rete e, l'idea del V2G nella sua forma più basilare, prende già forma in un primo studio del 1997 [8]. I veicoli elettrificati sono già naturalemnte connessi alla rete ma, quello che manca, è una tecnologia che permetta loro di rinviare alla stessa l'eventuale energia accumulata. Nasce così la necessità di dotare tecnicamente i veicoli di connessioni bidirezionali per poter operare cooperativamente con l'infrastruttura elettrica. Per costituire un sistema V2G sono tre i requisiti chiavi necessari: un caricabatterie adatto sul veicolo, una corrente bidirezionale e un sistema di comunicazione che possa controllare le modalità di carico e scarico delle batterie [49]. Come è stato descritto nel primo capitolo, le metodologie di ricarica che implicano il collegamento fisico di un veicolo elettrico possono distinguersi per

semplicità in due macro categorie: la ricarica AC e quella DC. Si tenga però conto che le batterie tecnicamente necessitano di energia DC per essere ricaricate quindi le metodologie più diffuse di ricarica AC in ogni caso utilizzano un invertitore di corrente presente a bordo del veicolo elettrico e, inoltre, che la corrente inviata e ricevuta dalla rete è AC. La tecnologia V2G implica uno scambio tra rete e veicolo ed è quindi necessaria l'installazione di un caricatore bidirezionale: questo può essere posizionato a monte e convertire la corrente AC della rete per immetterla direttamente come DC nelle batterie oppure a valle direttamente sul veicolo che utilizzerà quindi un caricatore AC.
La figura 3.6 descrive operativamente le due alternative possibili.

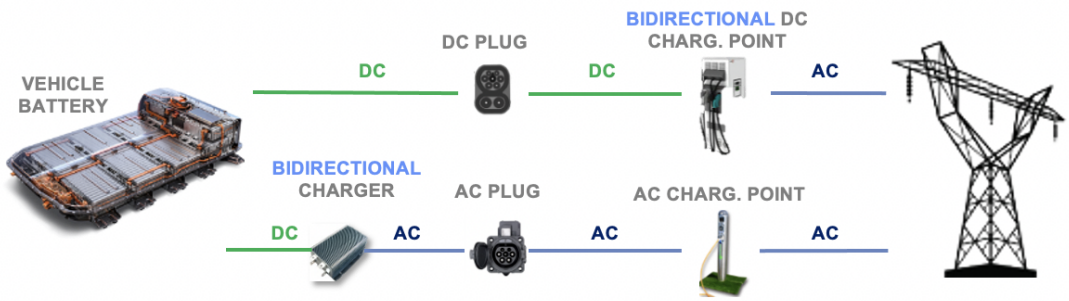

Figura 3.6: Tecnologia V2G: alternativa AC e DC - FCA

Seppur entrambe le opportunità di ricarica sono tecnicamente sfruttabili per il V2G, si ritiene ragionevolmente che almeno negli studi iniziali la direzione privilegiata sia quella della corrente AC che permette il giusto bilanciamento tra una sufficiente capacità energetica cosiderata e costi ridotti per la connessione attribuibili al singolo guidatore. La possibilità DC, invece, è quella preferita dai progetti pilota che comprendono importanti flotte di vetture [49].

Una volta che il veicolo è stato in grado di stabilire una connessione bidirezionale per lo scambio di energia, il passo successivo è quello di riuscire a far si che il veicolo riceva le istruzioni rispetto all'energia che la rete può richiedere. Per fare ciò esistono ad oggi diverse modalità che coinvolgono quasi altrettanti standard di implementazione. Quella della mobilità elettrica è, infatti, una dimensione relativamente

giovane e per questo molti standard sia a livello tecnologico che commerciale sono ancora in via di formalizzazione. Il principale standard che riguarda l'integrazione dei veicoli con la rete è quello ISO 15118; questo stabilisce i fondamentali principi di controllo dell'auto. Anche conosciuto come PlugCharge, punta ad automatizzare il processo in base al quale i proprietari dei veicoli accedono alla rete pubblica di ricarica. Standardizza inoltre la comunicazione ai vari provider di energia dello stato di batteria del veicolo, (SOC, *State Of Charge*) e ciò lo rende imprescindibile per il sistema V2G. Senza, infatti, chi riceve la disponibilità alla fornitura del servizio ancillare non è in grado di verificare se il veicolo abbia o meno energia sufficiente [50].

Ma cosa determina l'invio o meno del segnale dalla rete? All'inizio di questo capitolo è stata definita la regolazione delle frequenze come il più importante servizio fornito dal gestore della rete per stabilizzare l'infrastruttura energetica. L'obiettivo principale è quello di mantenere l'equilibrio tra l'elettricità consumata e quella prodotta quindi, in caso di sovrapproduzione, la frequenza aumenta ed è richiesta una regolazione che la abbassi così come, quando il consumo è eccessivo, la frequenza diminuisce e la regolazione deve intervenire in senso opposto. Gli impianti energetici e i generatori hanno tradizionalemente sempre fornito questo tipo di servizio di bilanciamento ma, attualmente, sono diverse le fonti che possono contribuire ai servizi ancillari e rientrano tra queste i veicoli elettrici. Per partecipare al mercato della regolamentazione, le auto possono assumere il ruolo di produttori o consumatori di energia, caricando o scaricando le loro batterie in base ai segnali di frequenza ricevuti. Quindi, quando la frequenza è negativa, l'auto scarica la propria batteria fornendo energia mentre, se la frequenza è positiva, la batteria può assorbire elettricità per ricaricarsi. Tutto ciò sempre fermo renstando che, quando il V2G è un servizio fornito da privati proprietari, la ricarica del veicolo ad un livello ritenuto sufficiente rappresenta una priorità.

La comunicazione con la rete può richiedere poi la figura di un aggregatore nel processo di fornitura del servizio ancillare che coordina le partecipazioni dei

veicoli. In una fase ancora sperimentale dell'intera tecnologia V2G, infatti, diventa complesso per un singolo veicolo stabilire un contatto efficiente con l'operatore di rete. L'aggregatore, invece, riceve da quest'ultimo un unico segnale della necessità del contributo al V2G dei veicoli che coordina ai quali singolarmente inoltra poi l'invito a partecipare.
Sono due gli aspetti e i vantaggi importanti da considerare sul ruolo potenziale dell'aggregatore.

Il primo riguarda il minimo contributo energetico che spesso viene fissato per la partecipazione ai servizi ancillari da 100 kW fino ad arrivare ad 1 MW e che quindi rende infattibile l'integrazione del singolo veicolo al sistema [49]. Il secondo riguarda la possibilità di creare algoritmi di ottimizzazione del servizio del V2G: non tutti i veicoli che acconsentono alla fornitura di servizi ancillari sono sempre fisicamente connessi alla rete e questo fa sì che sia necessario spesso stimare il numero di auto disponibile e sopratutto l'energia che la rete potrebbe ricevere nelle varie fasce orarie. Questi algoritmi possono ovviamente lavorare in maniera predittiva sfruttando il machine learning per migliorare continuamente le statistiche circa le abitudini dei proprietari e l'esigenze di rete.

Ricarica di un veicolo elettrico: profilo d'uso, abitudini e benefici del guidatore

Fino a questo momento sono stati esposti i vantaggi per la rete e, in generale, gli aspetti significativi riguardanti l'auto. È importante però focalizzare l'attenzione sull'evidenza che per ogni veicolo considerato esista almeno un guidatore associato, i cui input sono necessariamente da considerare nel processo di schedulazione delle ricariche. Un modello che non tiene conto delle preferenze del guidatore non può, infatti, essere efficiente come uno che riesce ad adattarvisi.

Uno studio [9] condotto su 693 proprietari di veicoli elettrici ha riportato - come primo risultato interessante tra gli altri che verranno descritti in seguito - una percentuale pari al 69 percento di guidatori che non sono coinvolti in alcun tipo di attività che comprenda la connessione della loro auto alla rete. Un metodo per in-

coraggiare la partecipazione dei proprietari all'integrazione del veicolo con la rete è quello di bilanciare, nei modelli di ricarica, il beneficio per la rete con le loro preferenze in termini di massimizzazione dei ricavi. Un'altra motivazione che può alimentare la diffidenza verso gli schemi V2X è il fatto che questi possano imporre dei vincoli alla flessibilità dei guidatori. Per evitare ciò i servizi ancillari offerti ai singoli clienti sono da assumersi sempre come richieste di partecipazione su base volontaria e senza la necessità di una conferma con largo anticipo. La flessibilità è una dei requisti considerati imprescindibili per il singolo cliente finale e, per assicurarsene la collaborazione, alla base dei modelli di schedulazione c'è quindi la richiesta di indicare l'orario in cui l'auto deve poter essere scollegata con una ricarica completa e, in caso di emergenza, il livello minimo di batteria che deve essere sempre disponibile [32]. È pur vero che alcuni proprietari possono interpretare la necessità di pianificare sempre il "viaggio successivo" come una complicazione delle loro abitudini di ricarica [31] ma, l'alternativa ipotizzata dalle attuali soluzioni di machine learning è quella di un veicolo che riesca il più possibile a prevedere determinate preferenze.

Nel primo capitolo è stato anticipato come il veicolo trascorra la quasi totalità del tempo senza essere utilizzato e, adesso, con l'aiuto dei grafici seguenti, è possibile ampliare la finestra sulle abitudini standard di guidatori di veicoli elettrici. Nell'immagine 3.7 che segue, infatti, sono riassunte per il campione di 693 proprietari prima citato, le principali caratteristiche d'uso del proprio veicolo. Ciò è essenziale per ottenere la disponibilità di partecipazione all'integrazione con la rete.

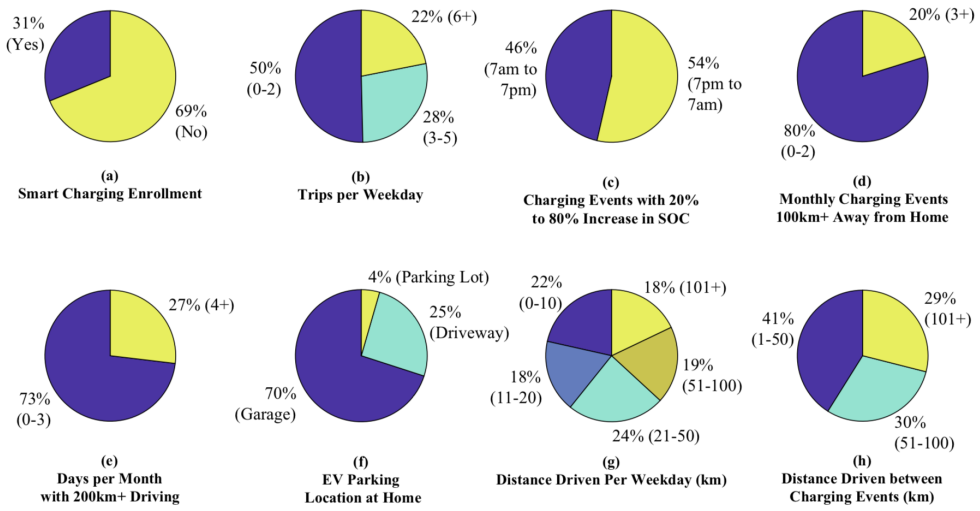

Figura 3.7: Risultati analisi statistica sull'utilizzo dei veicoli elettrici - [9]

È possibile fare alcune osservazioni sui dati raccolti. Dalla figura (b) si evince che il 50 percento dei proprietari utilizza il veicolo per un numero di viaggi pari a 2 o meno e ciò sta indicare che con buone probabilità questo sia l'entità dei viaggi considerati generalmente come essenziali, mentre gli altri potrebbero essere segnati come opzionali nell'ottica di una schedulazione che punti ad ottimizzare i profitti per il guidatore. Questa opportunità trova fondamento nella successiva torta statistica che riporta come il quasi la metà degli utenti intervistati ricarichi dal 20 all'80 percento della loro batteria in fasce orarie che rientrano in quelle categorizzate come on-peak o mid-peak (ad esempio dalle 7 di mattina alle 7 di pomeriggio). È un'osservazione interessante che suggerisce come il 50 percento dei guidatori che hanno indicato precedentemente un utilizzo dell'auto basso in termini di numeri di viaggi, possono schedulare le loro ricariche durante periodi off-peak per aumentare il profitto in termini di energia venduta a chi utilizza l'auto nelle fasce più sconvienti. In generale poi le analisi successive avvalorano la tesi secondo la quale le abitudini tipiche di un possessore di un veicolo elettrico permettono la partecipazione al mercato dei servizi ancillari. Nello studio [51] sono stimate ad esempio come 13 le ore al giorno in cui teoricamente con un intervallo di confidenza del 99 percento i veicoli elettrici sono disponibili all'offerta di servizi ancillari. Altri sono gli studi che, invece,

sono focalizzati sul tentativo di quantificare a livello monetario gli effettivi profitti della partecipazione al V2G e quindi dei potenziali ricavi per i possessori dei veicoli elettrici ed ibridi. Guardando alla Corea del Sud la stima per il massimo profitto degli aderenti al servizio V2G è di circa 112 milioni di dollari [33] e, analogamente, per la Danimarca, ciò che una penetrazione del 75 percento del V2G porterebbe fino al 2030 nelle tasche degli interessati è un ammontare di 34 miliardi di dollari in termini di beneficio per la società (considerando anche tutto ciò che è correlato alla diminuzione dell'inquinamento). Operando, invece, un'analisi rapportata al singolo veicoli, utilizzando come input i dati del mercato statunitense il vantaggio per il supporto ai servizi di regolazione ammonta ad un valore che va dai 318 dollari ai 454 per automobile [34]. D'altra parte, però, vi sono anche molteplici studi che, cambiando le metodologie e le unita sotto osservazione nelle analisi, propongono benefici notevolmente inferiori. Le proiezioni per la Svezia e la Germania, ad esempio, suggeriscono un valore dei ricavi così basso da avvicinarsi allo zero: in Germania in particolare il beneficio mensile ammonterebbe a meno di 5 dollari per veicolo [35]. Analoghe perplessità sono evidenziate in studi portati avanti in Australia, Irlanda e Singapore dove, gli analisti, in maniera pressocchè comune concordano sull'entità eccessiva dello sforzo economico di adeguamento delle auto e dell'infrastruttura per il V2G rispetto a quelli che potrebbero essere sulla bilancia i relativi guadagni. Il carattere innovativo della tecnologia, quindi, evidenzia di conseguenza come siano molti anche i dubbi circa la sua profittabilità e quindi come ancora, diverse sperimentazioni hanno conducano a risultati altrettanto diversi.

Impatto del V2G sulla batteria del veicolo: possibilità di degradazione e Second Life Battery

Fino a questo momento si è evidenziato quanto l'enorme ammontare di ore in sosta possa rappresentare potenzialmente un grande vantaggio per la rete in termini di sostegno al bilanciamento della frequenza e per il proprietario del veicolo elettrico per la remunerazione ricevuta. Se da un lato, però, ci sono i benefici precedentemente presentati, dall'altro è importante analizzare se e in che misura la partecipazione ai

servizi ancillari possa impattare sull'aspettativa di vita e le performances della batteria del veicolo utilizzato. Una delle misure più comuni per avere un riferimento dello stato della batteria è quella dei cicli di vita, cioè il numero di cicli completi di caricamento e scaricamento che una batteria può avere prima che la sua capacità raggiunga una determinata percentuale considerata come critica della sua capacità iniziale. La temperatura, la velocità di ricarica, il punto massimo di livello di batteria mediamente raggiunto in carica e quello minimo durante l'utilizzo del veicolo sono i parametri più importanti che possono impattare il ciclo di vita. Lo stato della batteria oltre a fornire un'istantanea delle performance serve ad identificare ovviamente anche il punto di fine vita del prodotto. Ad oggi non è realmente standardizzato un valore oltre il quale si reputa la batteria inutilizzabile per un veicolo ma, diversi studi riportano come 20-30 percento sia il massimo valore accettabile di riduzione della capacità [52]. In generale le batterie al litio utilizzate all'interno dei veicoli a trazione elettrica hanno dai 5 ai 10 anni di vita e supportano dai 1000 ai 2000 cicli di ricarica [53]. L'irreversibile degradazione delle batterie dipende quindi da due fattore fondamentali: l'invecchiamento causato dalla durata della vita della batteria (*calendar aging*) e quello dovuto ai cicli di uso (*cycling aging*). Con un uso normale del veicolo il *calendar aging* è l'effetto naturalmente più impattante tra i due se si ricorda quanto tempo il veicolo trascorre in sosta.

Il rischio di accelerare la degradazione della batteria del veicolo è spesso citato come motivo di diffidenza in riferimento al sistema del V2G; in ogni caso bisogna considerare però che ad oggi non esistono ancora in letteratura sufficienti studi che facciano scegliere definitivamente l'idea di rifiutare o supportare questa preoccupazione rispetto ai vantaggi della tecnologia nel suo complesso. Quello che si può analizzare, però, è una stima dell'impatto dell'integrazione del veicolo con la rete rispetto alla sua batteria paragonato a quello che si avrebbe in caso di non partecipazione ai servizi ancillari [10]. Il caso base (*Baseline*), infatti, prevede che il veicolo sia utilizzato esclusivamente per la guida e che possa essere ricaricato immediatamente quando si rientra a casa o sul lavoro fin quando la batteria è completamente

carica oppure fino all'utilizzo successivo. L'alternativa è, invece, la partecipazione ai servizi ancillari durante differenti fasce orarie. Si considera uno scenario estremo che assume sia l'utilizzo del veicolo sia la cooperazione alla rete come un'azione giornaliera per di lasso di tempo di dieci anni. Di seguito un grafico in figura 3.8 che riporta il confronto.

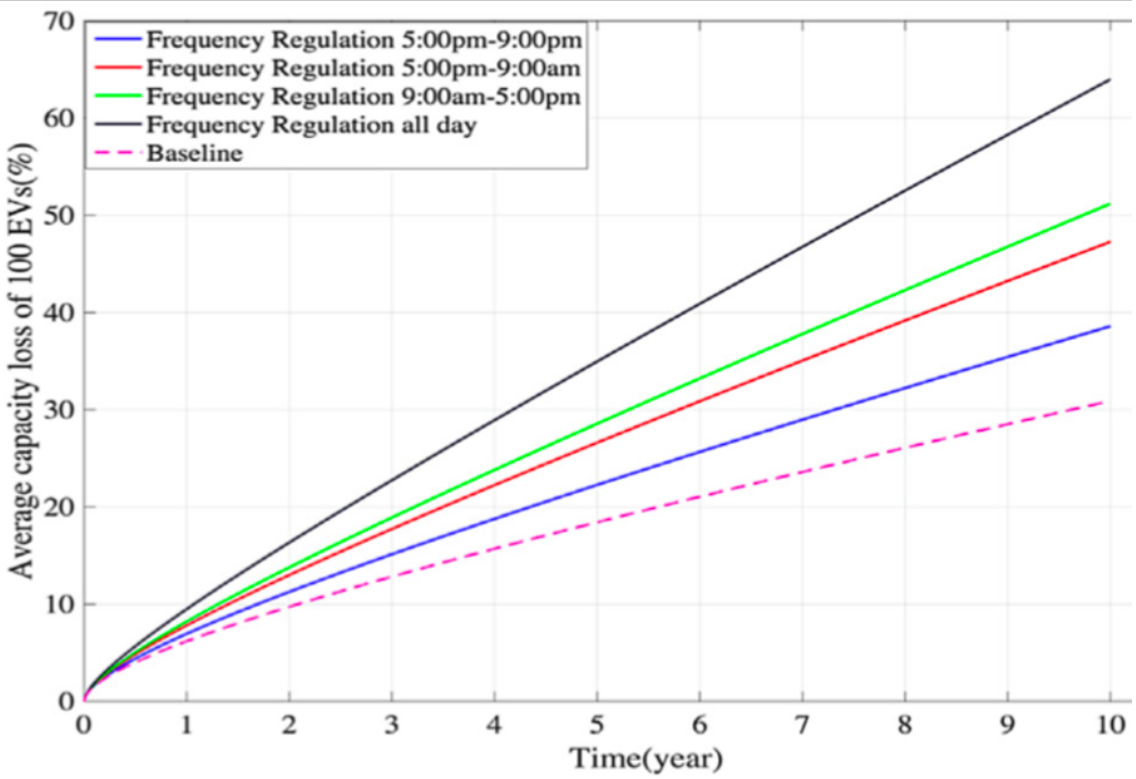

Figura 3.8: Percentuale di degradazione della batteria: caso base e V2G [10]

L'impatto atteso del normale utilizzo di un veicolo elettrico dopo dieci anni è pari a circa il 30 percento di degradazione stimando una media su un campione di 100 vetture. I casi in cui avviene la partecipazione al servizio ancillare e quindi l'assistenza alla regolazione delle frequenze primarie comportano invece una degradazione media all'interno di un intervallo che va dal 38 percento ad oltre il 60 percento. Ovviamente è da sottolineare come impossibile per prima cosa l'eventualità di un supporto al V2G giornaliero e poi anche quella di una disponibilità oraria così ampia.

Considerando già il più plausibile caso di contributo al servizio nella sola fascia oraria dalle 19:00 alle 21:00 il livello di degradazione scende al 35 percento, avvicinandosi di molto, nonostante l'estremo scenario di una partecipazione quotidiana, al caso in cui ci sia la disponibilità al V2G. Ragionevole è, quindi, la conclusione in base alla quale non si possa imputare al V2G un reale impatto sulla degradazione della batteria sottostando all'ipotesi di una partecipazione al servizio ancillare sporadica.

La batteria del veicolo, considerando o meno il caso di partecipazione ai servizi ancillari, ha in media un tempo di utilizzo che termina una volta giunta a circa l'80 percento di capacità residua con una durata di otto anni sul veicolo. Ma, una volta disconnessa dall'auto, come è possibile utilizzare le batterie? Nasce così il Second Life Battery, un nome che indica tutta la dimensione di utilizzo delle batterie dismesse perchè ormai inefficienti per gli standard richiesti dalle vetture, ma che possiedono ancora una notevole capacità residua. Con il passare degli anni, quindi, con l'aumentare della diffusione dei veicoli elettrici aumenta di pari passo la disponibilità di un grande ammontare di potenzale spazio di storaggio. Alle flotte di veicoli che partecipano all'interconnessione con la rete si accompagnano allora altrettanti dispositivi che a fine vita possono contribuire in egual modo al supporto alla stabilità dell'infrastruttura energetica.

Di seguito in figura 3.9 si può osservare il ciclo vita di una batteria, dal suo utilizzo sul veicolo, al tempo residuo della *Second Life*, notando come in questo modo raddoppia il tempo complessivo di utilità.

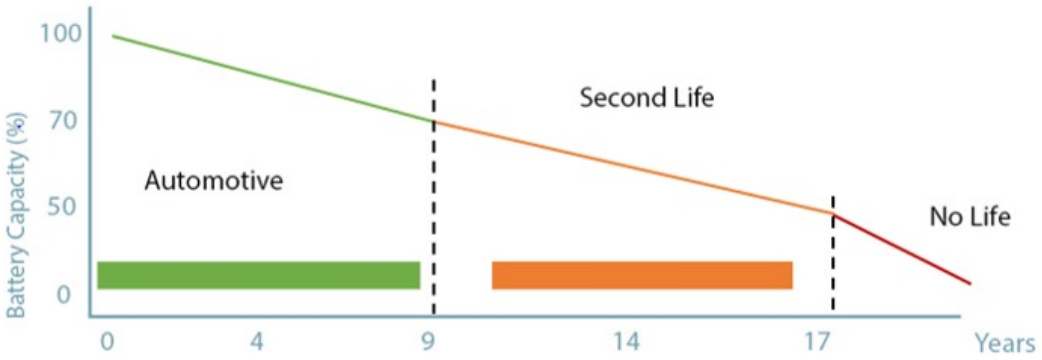

Figura 3.9: Ciclo vita della batteria - FCA Internal Study

V2G ed energia rinnovabile

Per motivazioni ambientali, per altre legate all'esaurimento progressivo delle restanti risorse, per altre ancora di carattere economico, ci si aspetta che il 21esimo secolo sia quello in cui si scandisce il passaggio alle risorse energetiche rinnovabili. Ciò che però rappresenta ancora una grande barriera verso un così significativo progresso energetico è una delle principali caratteristiche che purtroppo contraddistingue diverse fonti rinnovabili: l'impossibilità di schedularne la produzione. Prendendo come esempio gli impianti eolici e fotovoltaici è imprescindibile dover fare i conti con la non programmabilità dei profili di produzione. Questi infatti sono in grado di generare energia in stretta dipendenza con la disponibilità delle fonti naturali di vento e sole a cui attingono, in maniera quindi indipendente dall'ammontare di domanda elettrica o in generale dal fabbisogno stimato della rete. L'unico aggiustamento che è possibile adottare, quindi, rispetto agli impianti rinnovabili è quello di ridurne l'energia fornita nei casi in cui questa ecceda la domanda effettiva, andando di fatto a rinunciare ad elettricità pulita e potenzialmente utile in momenti successivi. Se rispetto all'intermittenza naturale delle fonti rinnovabili è possibile per ora solamente integrarle con impianti tradizionali programmabili con i combustibili fossili, non così remissive sono le soluzioni per sfruttare i casi di produzione eccessiva di *energia green*.

Le tecnologie che permettono lo storaggio, come quella del *Second Life Battery*,

stanno infatti progressivamente emergendo come una figura chiave all'interno del panorama energetico per bilanciare l'andamento non programmabile del rinnovabile e permetterne di conseguenza l'adozione sempre più diffusa. Le batterie elettriche in questa dinamica rappresentano una grande risorsa e sono già attualmente utilizzate in diverse applicazioni, soprattutto nei sistemi energetici domestici in cui fanno da supporto ai pannelli fotovoltaici [27]. I veicoli elettrici ed ibridi sono in grando, infatti, di assorbire e conservare l'energia prodotta in eccesso dagli impianti rinnovabili per poi ridistribuirla, grazie all'implementazione bidirezionale descritta in precedenza, alla rete nei momenti in cui, invece, questi non riescano a raggiungere la domanda in arrivo. Tutto ciò non fa che suggerire come la tecnologia V2G possa integrarsi all'interno delle soluzioni per supportare la rete e per bilanciare il profilo di erogazione dell'energia rinnovabile. Il sistema di accumulo delle batterie dei veicoli elettrici può, infatti, essere il pezzo mancante per contribuire ad una rete più stabile e sostenibile senza la necessità di incorrere in aggiuntivi costi di sviluppo per lo storaggio [28].

3.3 V2G: Progetto Pilota FCA

Nel descrivere la tecnologia del V2G sono molteplici gli attori che emergono durante le diverse fasi di implementazione ed utilizzo del sistema. Se per ora sono stati presentati quelli che rappresentano i veri fruitori finali del servizio e quindi il proprietario del veicolo e la rete elettrica, adesso è importante portare l'attenzione sul principale mezzo senza il quale non potrebbe esistere alcun scambio di energia e successivi benefici connessi: il veicolo elettrico.

La centralità dell'auto nella dimensione del V2G prevede ovviamente la conseguente attenzione rispetto alla tematica di ogni carmaker che, da più o meno tempo, ha fatto l'ingresso nel mercato elettrico ed ibrido.

A conclusione dell'analisi appena svolta sulla tecnologia del V2G, sui benefici per la rete e sulle abitudini dei clienti, è presentato il progetto pilota condotto da

FCA in collaborazione con i partner energetici e tecnici: Terna ed ENGIE.

Prima ancora di avanzare un'ipotesi di commercializzazione è, infatti, testato il funzionamento effettivo del servizio di integrazione del veicolo con la rete. Affinchè ciò funzioni, in questa fase preliminare i tre principali attori sono chiamati a convergere interessi e capacità all'interno di un progetto prototipale ed è quindi necessario il coinvolgimento dell'azienda costruttrice delle vetture, di una società che coordini a livello tecnico la comunicazione e gestisca le batterie e, infine, del gestore della rete elettrica. Di seguito una rapida presentazione delle parti coinvolte:

- **FCA**: gruppo automobilistico mondiale nato dall'alleanza stretta nel 2014 tra Fiat S.p.A. e la controparte americana Chrysler che comprende i brand Abarth, Alfa Romeo, Chrysler, Dodge, Fiat, Fiat Professional, Jeep®, Lancia, Ram e Maserati. All'interno della dimensione FCA prende vita la divisione eMobility che, lavorando in maniera trasversale tra i diversi marchi, coordina la nascente produzione dei veicoli elettrici ed ibridi del gruppo così come l'intera gamma di servizi offerta al cliente per fornire un'esperienza nella mobilità elettrica a 360 gradi. Con un focus sull'innovazione, tra le diverse tecnologie seguite, c'è quella del V2G.

- **ENGIE EPS**: rappresenta la divisione industriale del gruppo ENGIE, incentrata sullo sviluppo di tecnologie volte a rivoluzionare i sistemi energetici per come sono adesso conosciuti e ad implementare soluzioni legate alle energie rinnovabili e alla mobilità elettrica. Le conoscenze tecniche di ENGIE EPS in materia di reti energetiche e sistemi di storaggio sono essenziali all'interno di un progetto ambizioso come può essere quello del V2G su larga scala.

- **Terna**: come già anticipato in precedenza Terna è uno dei più grandi gestori europei di trasmissione elettrica e coordina la rete ad alto voltaggio italiana con oltre 74000km di linea. Il suo ruolo è quello di assicurare la sicurezza, la qualità e l'efficienza del sistema elettrico nazionale e permettere il libero accesso a tutti

gli operatori all'interno del mercato in eguali condizioni. Rappresenta l'altro capo, rispetto al veicolo, della tecnologia V2G.

Progetto Pilota: numeri e dimensioni

Il progetto pilota del V2G è espressione al 100 percento *Made in Italy* della volontà comune dei tre grandi partner di impegnarsi in una soluzione tanto innovativa quanto ambiziosa nelle sue dimensioni, concretizzando l'occasione per il sistema industriale italiano di assumere un ruolo centrale nello sviluppo del futuro della mobilità sostenibile. Per la scelta della locazione è FCA a giocare in casa offrendo il suo spazio logistico del Drosso, all'interno degli stabilimenti di Mirafiori, nella città di Torino, per un totale di 3000 metri quadrati di superficie interessata. L'intero progetto può essere suddiviso in tre macro aree, ognuna delle quali riconducibile ad uno dei tre partner coinvolti.

Lo schema di seguito in figura 3.10 permette una visione d'insieme della struttura operativa che linearmente segue la tecnologia stessa del V2G articolandosi nelle funzioni di storaggio, in quelle di comunicazione e conversione dell'elettricità e infine quelle di distribuzione alla rete. Si tenga conto che, mantenendo il focus sul sistema V2G e quindi sull'integrazione del veicolo con la rete, in questa trattazione non sono approfonditi operativamente i blocchi dello schema facenti riferimento al Second Life Battery e ai pannelli fotovoltaici.

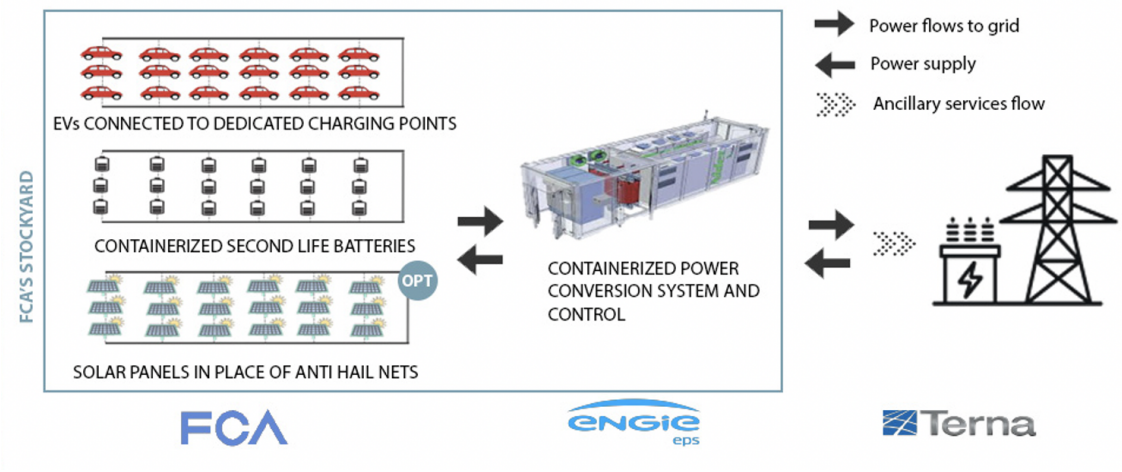

Figura 3.10: Struttura funzionale del progetto pilota V2G - FCA Internal Study

Come si può osservare, FCA mette a disposizione della rete gestita da Terna una flotta di veicoli elettrificati utilizzando un impianto di conversione e controllo della corrente scambiata implementato dal partner tecnico ENGIE EPS.

Progetto Pilota: Fasi

L'intero progetto può essere suddiviso in due fasi, in un'ordine di crescente espansione del sito e conseguentemente di obiettivi da raggiungere.

Il primo step è stato segnato dall'inaugurazione avvenuta il 14 Settembre 2020 negli stabilimenti di Mirafiori e ha visto l'installazione della prima parte di colonnine di ricarica bidirezionali e delle prime vetture elettrificate connesse. Nella fase iniziale sono 32 le stazioni di ricarica che provvedono alla connessione di 64 vetture Fiat 500 elettriche, rappresentando potenzialmente una capacità energetica di circa 2,5 MW. Ogni 500 elettrica, infatti, è dotata di una batteria di 42 kW e, in questo modo, si supera l'obiettivo di 1MW di energia, cioè quello che nel breve futuro si reputa essere il minimo fissato per la partecipazione ai servizi ancillari. Nella figura 3.11 è illustrato tramite un render l'installazione delle vetture 500 nella prima fase del progetto pilota all'interno degli stabilimenti torinesi.

Figura 3.11: Installazione delle vetture della prima fase, render - FCA Internal Study

È da questo momento in poi che inizia, quindi, la vera e propria fase di analisi della fattibilità del progetto. Sono diversi i fattori da osservare che corrispondono ad altrettanti obiettivi prefissati per i primi mesi di funzionamento dell'impianto. Suppure esistano diversi esempi di stime e casi studio in letteratura, il requisito minimo che si desidera ottenere da questa sperimentazione è una validazione della tecnologia Vehicle-to-Grid su una flotta notevole di vetture. In quest'ottica la partnership con Terna diviene centrale in quanto è possibile in questo modo ottenere la realizzazione di un modello reale che segua un andamento effettivo di richiesta energetica da parte della rete. Il numero di segnali inviati dalla rete per chiedere la disponibilità delle auto al servizio è essenziale, infatti, per il conseguimento di almeno due importanti analisi. La prima riguarda la compatibilità effettiva delle richieste della rete con le abitudini di utilizzo e ricarica stimate per i singoli proprietari delle vetture. Nonostante le auto 500 elettriche siano collegate per l'intera durata della fase di sperimentazione alla rete, non sempre, infatti, queste risulteranno disponibili, in modo tale da simulare il più possibile le abitudini reali dell'utente standard. Ogni vettura offre la partecipazione ai servizi ancillari e quindi di conseguenza accetta il segnale inviato dalla rete in base ad una schedulazione che in maniera realistica consideri in maniera

ciclica le necessità di ricarica del veicolo e quelle di moto, scaricando e ricaricando di conseguenza la batteria. Sempre sfruttando i dati in ingresso provenienti da Terna, è possibile poi ottenere la seconda importante analisi che insiste sulla valutazione della reale degradazione della batteria del veicolo durante l'esercizio in diverse condizioni del servizio di V2G. Una volta ottenute queste valutazioni si raggiunge così l'obiettivo finale del primo step del progetto pilota che prevede la creazione di un business model che, partendo dall'impanto al Drosso, possa essere replicabile.

Questo rappresenta un risultato fondamentale per poter ragionare sulla concretizzazione di una futura offerta commerciale che rappresenta invece il punto finale della seconda fase. Entro il 2021 il progetto sarà esteso per consentire l'integrazione di fino a 700 vetture alla rete elettrica, risultando ad oggi la prima infrastruttura al mondo in termini di numero di veicoli connessi e capacità di energia relativa. Nella sua configurazione finale la flotta di 500 elettriche può fornire fino a 25MW di capacità e, a questi, vanno aggiunti i benefici derivanti dall'implementazione dei pannelli fotovoltaici installati. La partenership con ENGIE contribuisce. anche, infatti, alla realizzazione di una larga copertura delle vetture composta da circa 12mila pannelli fotovoltaici che forniscono l'alimentazione di *energia green* ai locali aziendali di produzione e logistica. L'intero impianto prevede di produrre su base annua oltre 6500 MWh di elettricatà, permettendo il risparmio ogni anno di oltre 2100 tonnellate di CO_2 per l'ambiente e il taglio considerevole del costo dell'elettricità per FCA. Se il primo step segue un approccio tecnico di analisi della fattibilità del sistema V2G, la gestione della seconda fase è principalmente dettata da logiche di economicità. Diventa, infatti, centrale la fornitura effettiva dell'energia elettrica alla rete gestita da Terna per ottenere in cambio la remunerazione prevista all'interno del mercato elettrico e assicurare un risultato economico positivo per FCA ed ENGIE EPS.
Entrambe le fasi, anche se focalizzate l'una più sulla fattibilità tecnologia e l'altra più su quella economica, si pongono come obiettivo quello di fornire delle stime il più possibile realistiche dell'impatto che il Vehicle-to-Grid ha sul veicolo e sulle abitudini di ricarica della flotta.

Progetto Pilota: Impatto sulla batteria

Nel paragrafo precedente di questo capitolo dedicato alla valutazione dell'impatto del V2G sulla batteria, sono state esposte delle valutazioni preliminari sul tema condotte da alcuni studi presenti in letteratura. L'opportunità che un progetto su larga scala come quello promosso da FCA offre, è quella di poter portare avanti delle reali sperimentazioni con un'intera flotta di veicoli dedicati esclusivamente all'interconnessione con la rete. Una simile prova, una volta terminate le fasi di sperimentazione del progetto, permetterà quindi di fornire dati importanti per ottenere un quadro realistico della tecnologia.

L'obiettivo principale del gestore della rete elettrica è quello di bilanciare la generazione e il consumo di energia, ma possono accadere degli eventi all'interno dell'infrastruttura che creano delle discrepanze tra le previsioni e la richiesta effettiva. In questi casi, per mantenere il valore della frequenza attoro al valore di 50 Hz (valido per l'Europa), la rete interviene nella regolazione della frequenza che può essere, in base alle tempistiche ed entità crescenti di intervento, primaria, secondaria e terziaria. L'analisi dettagliata della regolazione è stata precedentemente esposta nei precedenti paragrafi di questo capitolo. Ad oggi, nell'attesa dei risultati finali, anche il gruppo FCA assieme ai suoi partner tecnologici Terna ed ENGIE EPS, ha effettuato delle stime dell'impatto che ritiene la fornitura di servizi ancillari possa avere sulle batterie del proprio veicolo, la 500 a trazione completamente elettrica. La tipologia di regolamentazione maggiormente interessata dall'intervento dei veicoli elettrici per il bilanciamento è quella primaria e, l'analisi che segue, punta a metterla in correlazione con lo stato di salute della batteria dell'auto coinvolta nel V2G per supportarne la stabilità. Per ottenere una simulazione sullo stato di salute della batteria (*Battery State-Of-Charge, SOH*, il profilo della regolazione primaria (R1) è basato su un'analisi di sensitività rispetto ai segnali di richiesta condivisi da Terna per l'anno 2016, considerandolo come quello dall'andamento più idoneo. Ogni volta che la frequenza si discosta dal valore nominale, infatti, è inoltrato un segnale di richiesta di partecipazione alla vettura e, in base al numero di quest'ultime, si valuta l'impatto

sulla batteria. Soffermandosi sulla regolamentazione primaria sono quattro i diversi scenari ipotizzati per la simulazione che si differenziano per i valori soglia che fanno scattare la richiesta della collaborazione ai servizi ancillari e per il livello di *Deep Of Discharge, DOD*. Il Deep Of Discharge indica la quantità in percentuale di capacità residua prelevata da una batteria completamente carica in relazione alla sua capacità massima. I casi presi in analisi sono:

- **R1 - caso 1A**: il profilo di regolazione primaria è basato su valori di soglia S1: 50mHz, S2: 200mHz e valori di DOD: 15percento - 80percento
- **R1 - caso 1B**: il profilo di regolazione primaria è basato su valori di soglia S1: 50mHz, S2: 200mHz e valori di DOD: 15percento - 50percento
- **R1 - caso 2A**: il profilo di regolazione primaria è basato su valori di soglia S1: 40mHz, S2: 160mHz e valori di DOD: 15percento - 50percento
- **R1 - caso 2B**: il profilo di regolazione primaria è basato su valori di soglia S1: 40mHz, S2: 160mHz e valori di DOD: 15percento - 80percento

Quando il segnale eccede il valore soglia S1, inizia la richiesta per il bilanciamento della rete; quando supera il valore S2 è applicata la massima potenza possibile. In questo modo è stato possibile ottenere il numero di richieste di intervento per la regolazione per i casi R1: caso 1 e R1: caso 2 analizzati così come riportato in figura 3.12. Il numero di interventi fa riferimento al profilo di richiesta di 19 ore condiviso da Terna dell'anno 2016.

Figura 3.12: Numero di richieste di intervento per la regolazione dei casi R: caso 1 ed R1: caso 2 - FCA Internal Study

Per ottenere una preliminare idea dell'impatto sulla batteria dei casi considerati, il profilo di richiesta è stato replicato lungo un orizzonte temporale di 150 giorni considerato sufficientemente ampio e simulato sulla batteria di una vettura 500 elettrica, installata nel progetto pilota. L'analisi così ricavata, però, considera la disponibilità continuativa al servizio V2G durante tutta la simulazione sovrastimando notevolmente la reale partecipazione ai servizi ancillari. Quello che è possibile determinare, ad oggi, prima di effettuare le sperimentazioni con le reali richieste energetiche della rete durante le attività del progetto pilota, è una valutazione dell'impatto sulla batteria dei differenti casi presi in considerazione. Nella figura 3.13 è riportato un grafico che mette in relazione la degradazione della batteria rispetto al tipo di regolazione primaria adottata.

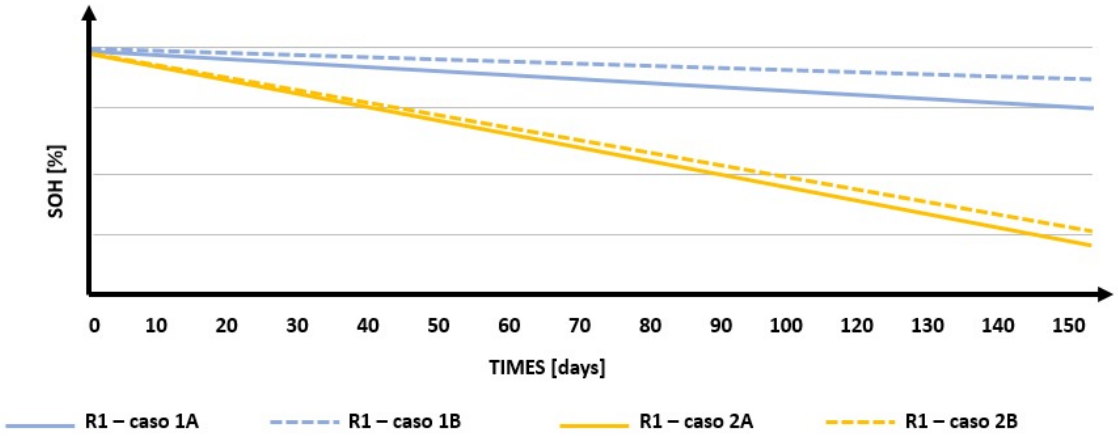

Figura 3.13: Impatto sullo State of Health della batteria - FCA Internal Study

Quello che si può notare è come, riducendo dal caso 1 al caso 2 la soglia S1 di richiesta, prevedibilmente aumenta l'impatto sulla batteria della vettura. Non si assiste però ad un grande scarto andando a variare all'interno dei casi stessi il livello di *Deep Of Discharge*. Questo elemento rappresenta un'utile assunzione preliminare da considerare al momento in cui, durante l'effettivo funzionamento dell'impianto del Drosso, saranno implementate le ottimali schedulazioni di cicli di carica e scarica nella partecipazione ai servizi ancillari.

Progetto Pilota: Business Model

Così come ogni progetto portato avanti da un'azienda, anche quello sperimentale sul tema V2G necessita di essere supportato da un business model solido, che ne sostega l'utilità finale per i partener coinvolti. Ovviamente i vantaggi che supportano l'intenzione di intraprendere oppure successivamente portare avanti un'attività non devono necessariamente essere di carattere espressamente monetario ma, devono comunque avere una valenza in termini economici o sociali. Sintetizzandone la spiegazione, infatti, un business model esplica come una società, un'azienda, un negozio così come anche un attore pubblico, riesca a generare o catturare benefici attraverso una serie di attività che portano valore aggiunto ad un oggetto iniziale [54].

Se riflessi sul mercato della mobilità elettrica sono due i risultati attesi per il cliente finale: l'acquisto del veicolo elettrico e attività correlate quali finanziamenti, assicurazione, manutenzione (*product oriented*) oppure l'acquisto del servizio sottoforma di taxi o car sharing (*service oriented*) che a sua volta, come si può osservare nello schema sottostante in figura 3.14, si può suddividere in ambiti differenti considerando tenendo in mente l'utilizzo del veicolo oppure obiettivo.

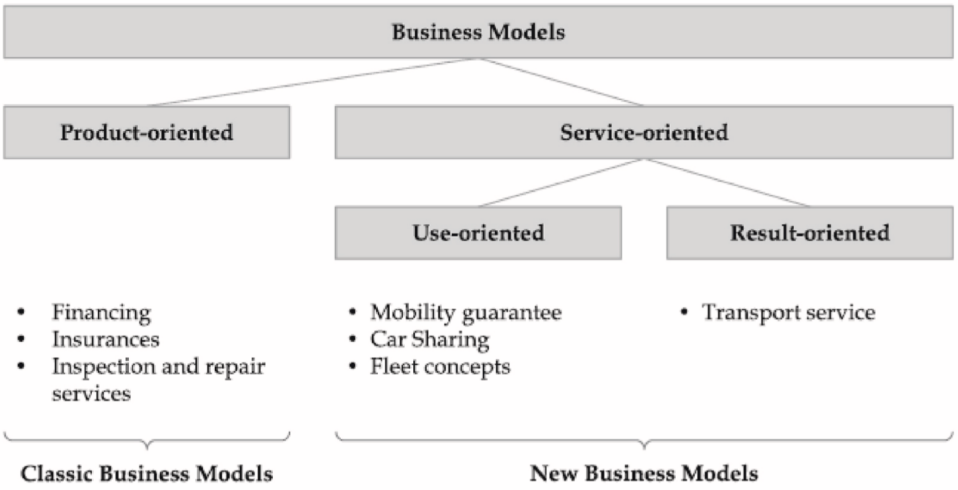

Figura 3.14: Business model del mercato della mobilità elettrica [11]

Anche alla base dell'interesse nei confronti della tecnologia del V2G ci sono, quindi, delle analisi di carattere economico o sociale e in prima battuta è necessario chiedersi quali sia l'insieme di stakeholder coinvolti nella tematica e quindi, chi siano gli attori sui quali valutare costi e benefici. È possibile ragionare sul numero di stakeholders coinvolti considerando business model via via crescenti in complessità, che variano ampliando gli interessi osservati oppure ponendo l'attenzione su differenti aspetti della tecnologia. L'analisi più banale è quella che riconduce il sistema del V2G a due macro mercati e comprende esclusivamente le figure dell'operatore della rete elettrica e il proprietario del veicolo [36]. Questo tipo di sintesi indirizza la tecnologia verso due distinte strade di ipotesi di commercializzazione, quella B2B e quella B2C. Il modello B2B, *Business-to-Business*, si fonda come esplicitato dal nome stesso su un rapporto diretto tra aziende e vede all'altro capo dell'accordo l'impresa a gestione della trasmissione di rete; quello B2C,*Business-to-Customer*, invece, instaura una relazione con il singolo utente finale, in questo caso rappresentato dal guidatore.

Focalizzando invece l'attenzione sull'importanza dello storaggio all'interno della tecnologia V2G, i mercati identificati e quindi i relativi stakeholders cambiano ed è possibile individuare tre differenti business model: uno incentrato sulla vendita di capacità di storaggio, un altro sulla vendita di batterie in disuso (*Second Life Battery* e l'ultimo sull'utilizzo in generale di batterie nuove per il solo uso di accumulo di energia in maniera stazionaria [37]. In alternativa, immedesimandosi nel ruolo di una società che lavora esclusivamente sul V2G, gli attori a cui ci si rivolge sono essenzialmente cinque: il produttore di autovetture che ambisce a vendere più veicoli, i proprietari degli stessi oppure il manager di flotte che desiderano ridurre i costi di utilizzo, il gestore del sistema di trasmissione dell'energia e quello deputato alla distribuzione del servizio interessati entrambi alla stabilità dei servizi offerti e infine, gli attori del governo, focalizzati su obiettivi di carattere ambientale oppure orientanti alla possibilità di nuovi posti di lavoro [38]. A questa analisi, volendo

allargare ancora di più il confine preso in cosiderazione all'interno del mercato della mobilità elettrica e quello energetico, se ne possono aggiungere ancora altri includendo gli aggregatori, i fornitori indipendenti di risorse rinnovabili e gli operatori del mercato di seconda mano [3].
Quello che allora emerge è come, nonostante si possa creare una lista il più possibile inclusiva di ogni stakeholders, ogni attività presa in cosiderazione determina un business model specifico fissando altrettanto specifici confini di attori ed interessi coinvolti.

In maniera analoga anche il progetto pilota FCA delinea la prima fase di sperimentazione e analisi della fattibilità che rientra in un più ampio progetto di business a breve/medio termine. Se le parti coinvolte sono state già in precedenza presentate, è importante in prima battuta restringere le caratteristiche del profilo di cliente a cui ci si rivolge. La flotta composta dalle 500 elettriche che prende parte al progetto simula le abitudini di ricarica e di disponibilità alla partecipazione al servizio ancillare e questo con l'obiettivo di replicare le condizioni tipiche di una flotta commerciale. Attualmente, infatti, dato il carattere innovativo del servizio e della sua tecnologia, è difficile per un proprietario di un singolo veicolo elettrificato contribuire in maniera significativa alla sostenibilità della rete e di conseguenza ricevere una retribuzione adeguata. Il cliente che ad oggi risulta più in linea con le esigenze richieste dal V2G stesso è, quindi, il titolare di una flotta di veicoli che si comportano in maniera analoga a quella operativa negli impianti di Mirafiori.
Le flotte commerciali - vetture ad uso interno aziendale, car sharing, veicoli per le consegne, etc. - oltre la semplificazione del rapporto commerciale tra aziende, presentano numerosi vantaggi rispetto all'ipotesi della vendita del servizio per il singolo cliente. Per prima cosa una flotta può agirare la necessità del ruolo di un aggregatore che, come detto, ha la duplice funzione di agire come tramite verso l'operatore di rete e di assicurare che la fornitura disponibile di energia totale dei veicoli che gestisce sia superiore al minimo fissato per il mercato dei servizi ancillari. Un'impresa che usufruisce di una flotta, non possedendo un solo veicolo ha la possibilità di offrire

quantità di energia alla rete maggiore e, essendo un ente commerciale, si rapporta più facilmente con la rete. Inoltre le flotte nonostante mantengano macrocaratteriste di utilizzo simili a quelle delineate per gli utenti di auto elettriche, hanno meno imprevedibilità connesse alle tempistiche di corsa e sosta, visto che queste sono legate agli orari lavorativi. A questo si aggiunge che il possesso di più vetture offre maggiori opportunità di schedulazione delle ricariche e dei periodi di offerta del V2G, permettendo di organizzare l'alternanza dei collegamenti alla rete sfruttando le migliori fasce di tariffazione. Esclusi i benefici definibili come "pratici", un rapporto commerciale istituito tra aziende rafforzato da comprovate opportunità di efficienza e remunerazione, comporta meno dubbi e perplessità di quelli che normalmente sono riscontrati da un cliente singolo di fronte ad una tecnologia nascente che ritiene possa interferire con le sue abitutidini giornaliere.

Una volta delineate le parti interessate da ambo i lati della trattativa (fruitori del servizio e providers dello stesso), resta da identificare la modalità con la quale il V2G possa venire offerto e, soprattutto, venduto. La complessità del serivizio, l'innovazione insita nella sua tecnologia e, in generale, la generale perplessità che ancora risiede attorno all'interno panorama della mobilità elettrica e in particolare delle modalità di ricarica e di autonomia hanno indebolito l'opportunità di una vendita cosidetta *stand-alone* del Vehicle-to-Grid. L'alternativa che si palesa come la più vantaggiosa per ogni stakeholders è, quindi, quella dell'offerta del V2G all'interno di un più amplio pacchetto energetico. L'idea di integrare tra loro prodotti e/o servizi diversi - *bundling products o bundling services* - non è un concetto nuovo all'interno dei business model ed è una metodologia di vendita frequentemente utilizzata per aumentare di base l'accettazione da parte del cliente finale e la diffusione nel mercato di prodotti e servizi sottoutilizzati. Il *bundling* è comunemente creato tra prodotti complementari sottoforma di una proposta che offra valore aggiunto al consumatore ad un prezzo competitivo [55]. Quando poi, come in questo caso, il servizio da supportare è pressocchè sconosciuto, il fatto che venga associato ad un altro più

familiare permette al cliente di valutarle in maniera più positiva, diminuendo di conseguenza il rischio legato all'acquisto di una novità [56].

Seguendo lo stesso ragionamento, quindi, il business model che più facilmente può veicolare la diffusione del V2G è quello che può legare la partecipazione al V2G secondo una schedulazione pre-determinata alla fornitura energetica stimata per la ricarica, alla vettura e alla tecnologia bi-direzionale stessa. In questo modo, il proprietario della flotta che stipula un contratto di acquisto delle vetture elettrificate può contestualmente siglare un accordo che gli permetta, attraverso il pagamento di una rata unica, di assicurarsi anche l'ammontare necessario di energia e l'opportunità di remunerazione ottenuta dal V2G.

Il progetto pilota FCA, come si è detto, vede il coinvolgimento di tre partner principali (ENGIE EPS e Terna oltre la società carmaker) che ne rapprentano i soggetti interessati e in virtù dei quali devono essere valutati i benefici che possono o meno convergere.

I vantaggi della rete, e quindi del partner energetico Terna, sono stati a lungo evidenziati nei paragrafi precedenti sottolineando l'importanza del supporto alla stabilità dell'infrastruttura elettrica da parte dei fornitori dei servizi ancillari che, nel caso specifico del Vehicle-to-Grid, coincidono con le vetture elettriche. Analogamente sono state precedentemente esposte abitudini e benefici dei proprietari dei veicoli coinvolti. Restano quindi da considerare gli obiettivi che hanno giustificato lo sforzo congiunto di FCA e di ENGIE EPS all'interno del progetto e quindi ricercare nel *bundling* i vantaggi per le parti.

Dal punto di vista della diffusione della tecnologia del V2G e di chi lavora con essa - ENGIE - l'accostamento del sistema ad un prodotto o ad un servizio più comuni, come possono esserlo la vettura e la ricarica, è la metodologia più facile per affermarsi. D'altro canto, per il carmaker, l'ingresso all'interno del mercato elettrico può essere facilitata attraverso l'offerta di servizi aggiuntivi, che aumentano l'attratività del proprio prodotto, in questo caso il veicolo. Guardando poi a lungo raggio, il futuro dei carmakers all'interno dell'ecosistema della mobilità elettrica può

essere ampliato all'integrazione e alla gestione dei diversi prodotti e servizi che vi sono inclusi.

In quest'ottica il rapporto vigente tra le due società sulla tematica del V2G può essere, quindi, esteso all'ambito di comune interesse riguardante il cosidetto *Battery Management*, la gestione quindi di ogni aspetto legato alla batteria del veicolo. La batteria elettrica, dal punto di vista economico e non, è infatti un tema centrale sia per chi produce e vende veicoli elettrici ed ibridi come FCA che per chi lavora all'interno del mercato dell'energia pulita e dello storaggio come ENGIE EPS. Ad oggi una delle grandi barriere che vincolano la scelta dell'acquisto di un veicolo elettrificato è rappresentata dal prezzo dello stesso; su questo il peso del solo pacco batterie pesa per circa il 30 percento del totale. Considerato il notevole prezzo delle batterie e che la loro scadenza è fissata attorno all'80 percento della capacità residua è, quindi, evidente come esistano potenzialità economiche legate allo sfruttamento del restante 70 percento di vita utile del prodotto. Quello del *Second Life Battery* diventa allora un mercato incredibilmente attraente per FCA nel caso in cui, da carmaker, riesca a creare un business model che preveda un ritorno economico in ogni fase della vita della batteria, dalla vendita assieme al veicolo al suo utilizzo nei servizi di storaggio una volta raggiunto il livello minimo di efficienza per il mezzo di trasporto. Per avere una stima del valore effettivo del potenziale residuo della batteria è necessario avere una proiezione del suo prezzo a fine ciclo vita. Sono diversi gli studi condotti in merito che hanno l'obiettivo di tracciare l'andamento del costo per kWh partendo da un'analisi dello storico dei prezzi per giungere a dati predittivi. Per ottenere informazioni rilevanti, nelle ricerche sono presi in considerazioni diversi aspetti: il calcolo del valore delle materie prime alla base della composizione della batteria, l'applicazione delle osservazioni empiriche circa l'impatto del tasso di apprendimento su una nuova tecnologia rispetto alla diminuzione del suo prezzo di vendita e infine l'analisi di dati raccolti direttamente dai produttori ragionando sulla loro stessa roadmap di processo. Seppure in letteratura si concordi su un trend di

diminuzione progressiva del costo per kWh, con un orizzonte a medio-lungo termine è inverosimile sperare in un uguale risultato puntuale. In questa documentazione si utilizzano per i calcoli successivi le stime puntuali promosse da Bloomberg NEF, che rappresenta una risorsa aziendale FCA per le ricerche. Nel grafico riportato nella figura 3.15 sono inserite per completezza anche le previsioni di Navigant Research e quelle della Commissione Europea, che invece offrono un range di prezzo.

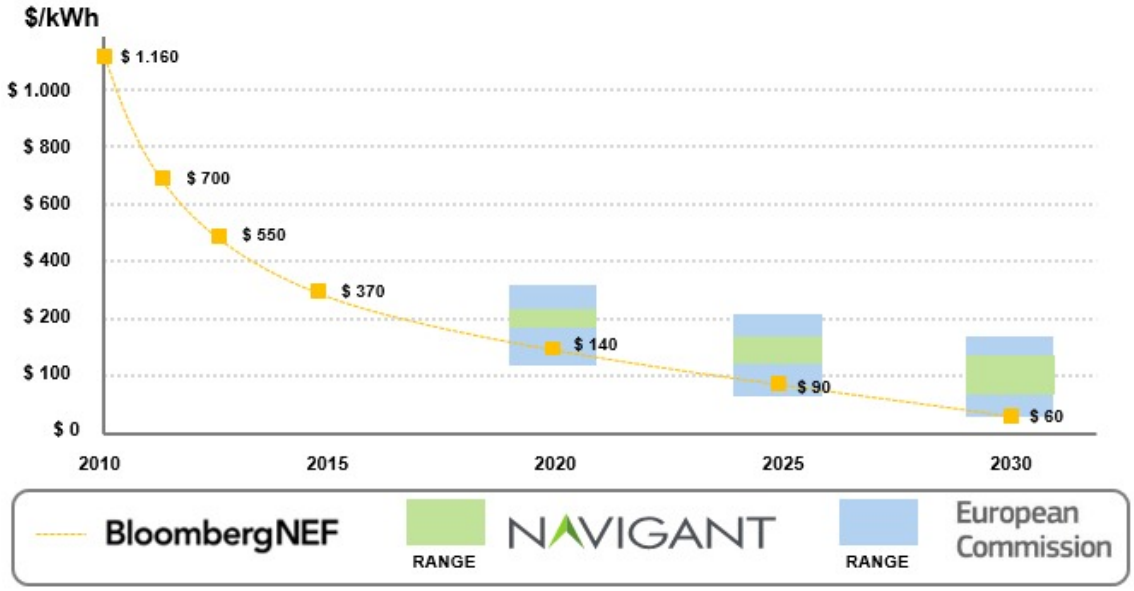

Figura 3.15: Andamento del prezzo delle batterie 2010—2030 - Bloomberg NEF, Navigant, Commissione europea

L'andamento considerato riporta uno sguardo fino al 2030 ma, nell'analisi precedentemente discussa sulla vita media della batteria di una vettura elettrica, in figura 3.9 è ipotizzata una durata utile di otto anni. Lo studio interno ad FCA è allineato con le proiezioni degli altri carmakers (BMW, Tesla, Renault, Peugeot...) che, analogamente, offrono una garanzia di 8 anni sulla batteria dei veicoli elettrici venduti. Il prezzo allora da individuare nell'andamento delineato da Bloomberg è quello che corrisponde, effettuando ad oggi la valutazione, all'anno 2028, e si aggira attorno ad un valore medio di 80 dollari al kWh. Sempre nella figura 3.9 è sottolineato come valore residuo della capacità residua della batteria installata il livello pari al 70 percento del suo valore iniziale. Nel considerare il 70 percento della capacità residua della batteria installata sulla 500BEV di 42 kWh quindi, si ottiene a fine vita un valore potenziale di rivendita pari a circa 2300 dollari (*80 x (0.70x42) = 2352 dollari*), che potrebbe essere ribaltato sul cliente finale per abbassare il costo di vendita del veicolo e aumentare la competitività nell'offerta di vendita. Seguendo questa motivazione, il gruppo Renault è tra i primi carmakers ad offrire la possibilità di acquistare la vettura elettrica separatamente dalla sua batteria che, invece, può essere semplicemente affittata a lungo termine. Questa opportunità sottolinea ancora una volta l'impatto del costo della batteria sull'intero veicolo; al momento dell'acquisto infatti il cliente è invitato a scegliere l'opzione che ritiene più conveniente e, considerando la Renault ZOE, concorrente della 500 elettrica del gruppo FCA all'interno del segmento delle city car, lo scarto economico si aggira attorno agli 8.200 euro, in base alla configurazione del mercato italiano[**?**]. L'opzione a noleggio presuppone invece un pagamento mensile proporzionale al chilometraggio percorso, ma è incentivata dal gruppo automobilistico francese con l'eventualità di un futuro upgrade di batteria in termini di capacità. Un simile business model permette facilmente il rientro delle batterie all'interno dell'azienda automobilistica che può farne fruttare il valore residuo, sia attraverso le attività di storaggio del *Second Life Battery*, sia attraverso il recupero e il riutilizzo di materie grezze preziose contenute all'interno del prodotto.

Analisi della competitività

Quello promosso da FCA, per quanto possa vantare un primato in termini di dimensioni rispetto agli altri, non è l'unico progetto sulla tematica del V2G oppure su quella, più generica, della ricarica bidirezionale.

In base ad uno studio commissionato dai centri UK Power Networks e Innovate UK sono oltre 50 i progetti sul V2G nel mondo e di questi il 98 percento è focalizzato sull'elemento tecnologico del sistema, come si può osservare nella panoramica seguente.

Figura 3.16: Panoramica dei progetti legati alla tematica del V2G - UK Power Networks e Innovate UK

FCA coniuga all'interno del suo progetto l'interesse tecnico con quello commerciale e, la potenzialità economica di una tecnologia ancora innovativa, è ciò che ha spinto analogamente anche la concorrenza ad essere interessata alla tematica del V2G. Per avere una visione d'insieme del panorama attuale e del lavoro portato avanti dagli altri carmakers, è essenziale la costruzione di un benchmark. Il processo di benchmarking permette, infatti, di comparare la propria attività con quella altrui cercando di colmare in questo modo delle lacune nel caso in cui nel paragone si evidenzino delle mancanze o di sottolineare dei vantaggi competitivi quando, al contrario, si offrono capacità assenti nella concorrenza.

Per ottenere un'analisi della competitività valida il primo passo è quello di individuare i gruppi automobilistici che condividono il mercato con FCA e che quindi siano in primo luogo, vista la tematica trattata, produttori e venditori di veicoli elettrificati. Un altro requisito necessario poi per valutare l'effettiva esistenza di un potenziale di concorrenza è quello che prende in considerazione l'entità della penetrazione nel mercato e quindi aree commerciali coperte e volumi di vendita. Questa

restrizione esclude ogni gruppo automobilistico che non ha valenza internazionale, non vendendo veicoli in ogni *sales regions* (EMEA, LATEM, APAC, NAFTA) e che ha, conseguentemente, numeri di vendità ridotti, al di sotto di un valore di un milione di vetture, rispettando l'ordine di grandezza di FCA. Una volta determinati i concorrenti di cui si intende iniziare l'indagine delle attività, per ogni benchmark è utile delineare i confini temporali della ricerca. In questo caso, però, l'analisi della letteratura presa in studio per la compilazione dell'intero documento sulla tematica del V2G rimarca l'aspetto innovativo della tecnologia e, l'interesse recente di studiosi e aziende. Per questo motivo non è stata posta per questo lavoro di confronto una data limite oltre la quale escludere un risultato. Nessun progetto pilota si ritiene possa essere ad oggi superato in termini di validità e nessuna indagine sul V2G tecnologicamente anacronistica. Per ottenenere il tracciamento di ogni attività promossa da quelle considerate come le più indicate aziende del settore automotive, si è svolta una ricerca in più passi. La press-release presente su ogni website dei gruppi automobilistici rappresenta il canale primario per la ricerca degli annunci circa studi o progetti pilota sulla tematica V2G. In seconda battuta sono state poi analizzate le agende dei diversi eventi, presentazioni, videoconferenze per controllare eventuali riferimenti all'esistenza di un'interesse nei confronti della tecnologia di ricarica bi-direzionale seppur ancora non formalmente inseriti all'interno di una roadmap di prodotto. Con l'obiettivo di includere informazioni aggiuntive a quelle diffuse dai carmakers sono state analizzate le attività riportate anche dai partners degli studi o progetti piloti individuati nella prima fase di ricerca.

In base ai dati raccolti applicando questa metodologia investigativa ad ogni gruppo automobilistico rilevante nello studio, è stato possibile ottenere la panoramica delle attività intraprese nel settore automotive dai principali attori commerciali.

- **NISSAN**: il gruppo automobilistico giapponese è uno dei pionieri rispetto alla tematica dell'interconnesione dei veicoli con la rete e annovera ad oggi diversi importanti progetti pilota, vantando collaborazioni in diversi stati con

più gestori di rete. Nel 2017 inizia le sperimentazioni sulla tematica V2G con un progetto pilota, denominato Mov-e, in collaborazione con Enel e l'Istituto Italiano di Tecnologia (IIT). Successivamente le attività nel 2018 sono replicate in maneria pressocchè analoga in Germania dove è stabilita una partnership con The Mobility House (fornitore energetico) e TenneT (gestore della rete elettrica). Nel 2020 in UK installa i primi 20 punti di ricarica bidirezionale abilitati al serivizio V2G all'interno del proprio centro tecnologico europeo, a Cranfield. Presentato con il partner energetico E.ON, il trial offre a coloro che parteciperanno un risparmio annuo sul costo della ricarica pari a £308.

- **Renault**: pur non avendo presentato un vero e proprio sistema focalizzato sul V2G, Renault dal 2018 lavora su due progetti che hanno come obiettivo la sperimentazione di diverse tecnologie di supporto alla stabilità della rete. Il primo progetto è conosciuto come "Smart Island" e prevede, sull'isola di Porto Santo all'interno dell'arcipelago portoghese di Madeira, lo studio dell'utilità delle batterie dei veicoli come sistemi di storaggio. Negli step successivi, però, è stata dichiarata la volontà di completare l'analisi con l'introduzione di tecnologie bidirezionali sfruttando i veicoli elettrici ZOE e Kangoo. "We Drive Solar" invece, è un progetto che implementa il V2G con il sistema di produzione di energia fotovoltaica, permettendo ad una flotta di 30 Zoe elettriche di assorbire energia solare per poi reimmetterla nella rete in caso di necessità.

- **Peugeot**: GrinMotion è il nome della collaborazione che, nel 2017, Peugeot ha stabilito con Enel per testare la ricarica bidirezionale mettendo a disposizione una flotta di 5 veicoli dedicati per sottoporli a brevi cicli carico/scarico sperimentali delle batterie.

- **VW**: nel 2020 lo Chief Strategist del carmaker tedesco Micheal Jost ha annunciato entro il 2025 l'intenzione di mettere a disposizione una capacità energetica di storaggio pari a 350 GWh attraverso le loro flotte di veicoli. Ad oggi, però, l'unico progetto di cui si è a conoscenza è quello dell' Inees Project, un'analisi

che integra 20 VW e-Up con la rete per testare l'impatto del servizio sulla batteria.

- **BMW**: con una visione temporale proiettata al 2021 per il termine dei lavori il gruppo ha iniziato le attività sul Bidirectional Charging Management (BCM), testando l'integrazione con la rete di 50 BMW i3. I primi passi del carmaker verso la ricarica bidirirezionale, però, sono stati mossi durante un ambizioso studio sulla modellizzaizone della ricarica smart per il supporto alla rete coinvolgendo nel 2015 100 BMW i3 negli stabilimenti di San Francisco, in California.

- **Audi**: nel 2020 Audi ha dato il via ad un'attività di prima investigazione sulla tematica della ricarica bidirezionale con un focus sul V2H e le possibilità di storaggio dei veicoli elettrici, grazie ad una collaborazione con il partner tecnologico Hager Group.

- **Hyundai**: in termini di dotazione tecnica sul veicolo, sono state implementate sulle vetture del gruppo delle porte di ricarica bidirezionali fino a 6,6 kW. Questo tipo di tecnologia apre la possibilità a future applicazioni sulla tematica V2X.

- **KIA**: con l'obiettivo di intraprendere future sperimentazioni sul servizio V2G, KIA, attraverso una partnership con l'Università della California, ha iniziato un progetto volto a simulare le modalità di ricarica e di supporto alla rete nel 2016.

Per confrontare significativamente il progetto FCA con gli altri appena presentati attualmente annunciati o già in funzione, è utile operare un'ulterione categorizzazione degli stessi individuando delle aree d'interesse. Operando in questo modo è possibile differenziare tra loro le attività riportate e, contestualmente, delinearne la maturità tecnologica, la grandezza delle flotte coinvolte nelle sperimentazioni e

lo stato di avanzamento verso l'obiettivo di commercializzazione. Il requisito minimo richiesto per essere inclusi nell'analisi è l'interesse dal punto di vista tecnico alla ricarica bi-direzionale, considerabile come step embrionale del V2G; a questo poi segue la precisazione importante rispetto al focus sulla tematica complessiva del servizio di interconnessione del veicolo con la rete; ad indicare un valore aggiunto contribuisce poi l'inclusione o meno del sostegno alle fonti rinnovabili all'interno degli studi. Un altro aspetto importante che può emergere effettuando una distizione tra le informazioni raccolte, è che non tutti i carmakers vantano la stessa entità di investimento sulla tematica in termini di veicoli coinvolti oppure di partnership siglate. Nella figura 3.17 una griglia offre una visione complessiva sullo stato attuale dell'analisi competitiva.

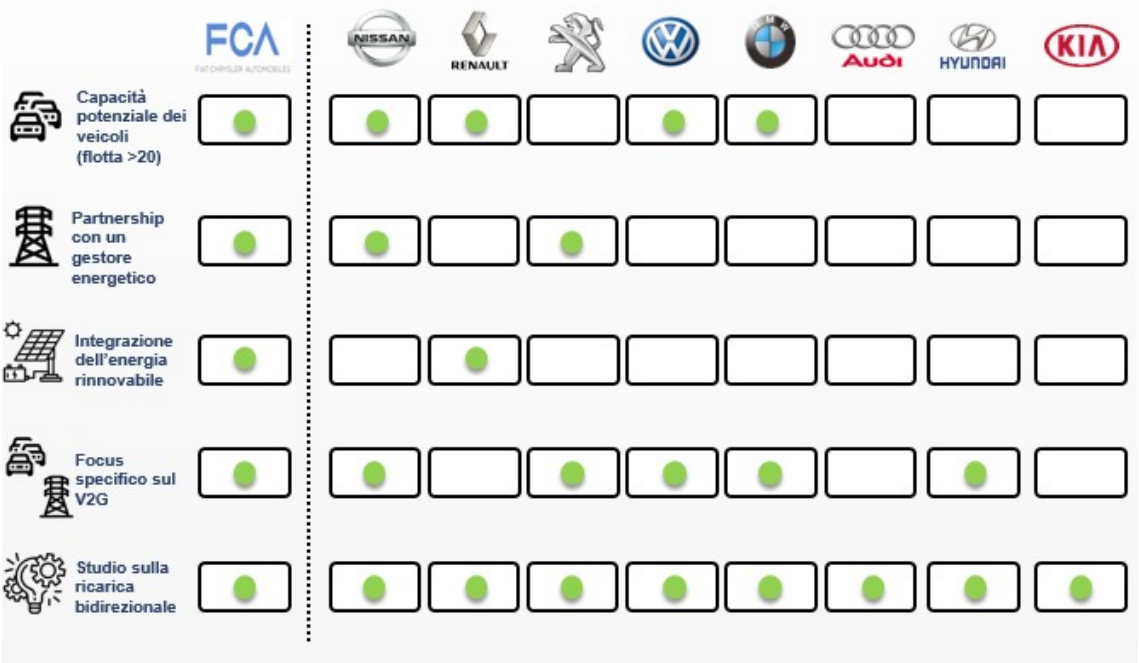

Figura 3.17: Benchmarking V2G - *FCA Internal Study and Carmakers Press Release*

Si può notare come, rispetto agli altri carmakers, il gruppo FCA assuma una posizione di notevole vantaggio competitivo considerando l'entità della flotta coinvolta nelle sperimentazioni e la conseguenze capacità energetica potenzialmente da fornire alla rete, la presenza di una partnership energetica con un gestore dell'infrastruttura elettrica, l'integrazione delle fonti energetiche rinnovabili e il focus specifico sul sistema Vehicle-to-Grid a discapito di chi ad oggi ha iniziato delle analisi generiche preliminari sulla ricarica bidirezionale.

Capitolo 4

Conclusioni

Sommario

In quest'ultima sezione sono riportate le considerazioni finali dello studio e quindi sono presentate le assunzioni derivanti dall'analisi di fattibilità del progetto pilota FCA a conclusione del lavoro di tesi. Emergono i benefici che provano la potenzialità del servizio del V2G nell'ottica del carmaker, fermo restando la presenza di limiti alla trattazione svolta. I concetti fino ad ora esposti, oltre a confermare l'interesse per la tecnologia che permette l'interconnessione dei veicoli con la rete, pongono le basi per delineare la direzione nel breve futuro del gruppo FCA e i risultati richiesti al progetto pilota.

4.1 Considerazioni finali sui benefici per l'azienda

La stesura di questo documento è stata realizzata con l'obiettivo di offrire una presentazione della tematica della tecnologia del Vehicle-to-Grid attraverso il punto di vista del carmaker. Il lavoro di documentazione rigurdante la tecnologia trattata, la regolamentazione energetica e l'analisi del progetto pilota di FCA-Terna-ENGIE EPS è stato svolto durante un periodo di collaborazione con il gruppo FCA della durata di un anno - da novembre 2019 a novembre 2020 - all'interno dei dipartimenti di Product Planning e di e-Mobility. Il progetto pilota, che vede a dicembre 2020 l'inizio effettivo delle attività di partecipazione alla rete attraverso il servizio V2G, ha richiesto differenti studi preliminari ed analisi di fattibilità riguardanti molteplici ambiti di impatto. Ogni investimento su larga scala necessita di una documentazione a priori che comprenda previsioni, stime ed assunzioni. Questa trattazione, focalizzandosi sul ruolo della casa automobilistica all'interno del panorama nascente del Vehicle-to-Grid, ha evidenziato gli aspetti di maggior interesse per il sostegno del potenziale business model da creare attorno ai risultati attesi dalla sperimentazione del progetto pilota. L'obiettivo del lavoro di tesi è stato quello di ottenere una panoramica del servizio del V2G, analizzando ogni aspetto dell'intero ecosistema in cui si sviluppa per avvalorare o meno l'interesse del gruppo automobilistico FCA sulla tematica e contestualmente ampliare la letteratura presente in merito facendo emergere i benefici per il carmaker, proponendo un'analisi benchmark delle attività promosse dalle maggiori aziende del settore e, infine, suggerendo un business model di vendita.

Considerando il servizio V2G come uno strumento che permette al veicolo la connessione alla rete, il primo studio resosi necessario per iniziare le dovute valutazioni sulla potenzialità della tecnologia è stato quello riguardante lo sviluppo della rete stessa. L'analisi dell'infrastruttura di ricarica presentata nel secondo capitolo della trattazione ne ha delineato, partendo dalla valutazione dello stato dell'arte, la panoramica futura, evidenziando l'impatto dei veicoli elettrici sulla richiesta del

fabbisogno energetico. L'aumento delle diffusione dei mezzi di trasporto elettrificati, infatti, comporta un conseguente proporzionale aumento della pressione sulla rete. La necessità di trovare soluzioni per il sostegno della stabilità dell'infrastruttura energetica ha indotto la presa in considerazione delle opportunità di partecipazione al mercato dei servizi ancillari di quegli stessi veicoli elettrici che rischiano di causare squilibri nella rete. Inoltre, sempre nello stesso capitolo della trattazione, è emersa la netta tendenza da parte dei proprietari delle vetture a preferire la ricarica privata o semi-privata a quella pubblica. Ed è proprio l'assunzione di questo trend a rappresentare un importante tassello per valutare positivamente il V2G e, quindi, per approvarne l'investimento da parte del gruppo FCA: questa tipologia di ricarica, permettendo schedulazioni di rifornimento energetico più flessibili perchè indipendenti dalla disponibilità o reperibilità di una colonnina elettrica, è infatti quella che più si adatta alle esigenze del Vehicle-to-Grid.

Sempre nell'ottica della necessità di versatilità legata al V2G sono stati presentati gli studi sulle abitudini di utilizzo e ricarica delle vetture del cliente che hanno sottolineato come il possesso del veicolo in condizioni di riposo sia nettamente superiore al periodo di marcia. Si può stabilire, in questo modo, un basso impatto della tecnologia sul cliente finale, fornendo margine di azione per il carmaker nella determinazione di un'offerta di vendita del servizio.

Prima ancora, però, delle considerazioni circa le ipotesi di commercializzazione, è imprescindibile la valutazione della competitività del progetto attraverso il benchmark presentato nella trattazione. Analizzando i risultati ottenuti dal tracciamento delle attività dei competitors, si può osservare come il gruppo FCA conquisti un vantaggio competitivo rispetto ai suoi diretti avversari sulla specifica tematica del Vehicle-to-Grid. La possibilità di anticipare i competitors rappresenta un'ulteriore incentivo all'investimento nel progetto in quanto apre all'opportunità di essere tra i primi ad offrire il servizio sul mercato e, contestualmente, di acquisire vantaggio nella curva di apprendimento della tecnologia.

Nel proporre una strategia di vendita del servizio sono diversi gli aspetti emersi

da questo studio da considerare. Se da un lato, infatti, l'analisi dell'infrastruttura di rete e del conseguente fabbisogno energetico così come la flessibilità delle abitudini di ricarica riscontrata nei clienti confermano la potenzialità del V2G nel mercato, dall'altro sono stati riscontrati anche degli elementi che richiedono invece alcune limitazioni nell'offerta al cliente. Il mercato dei servizi ancillari, infatti, ha ad oggi una regolamentazione ancora complessa, in via di definizione negli aspetti riguardanti la retribuzione e la gestione delle richieste di intervento al momento della stesura di questa tesi e al momento dell'approvazione del progetto pilota FCA. Per questa motivazione il modello Business-to-Business ad oggi rappresenta la migliore scelta di iniziale proposta per il mercato. L'individuazione del cliente finale nel proprietario di una flotta di veicoli permette il superamento degli ostacoli legati alla necessità di un aggregatore per soddisfare la richiesta energetica, agli imprevisti nella schedulazione di ricarica possibili nel caso di un singolo proprietario privato e ad una naturale diffidenza del singolo cliente finale rispetto ad una tecnologia così innovativa. Per rispondere a queste esigenze, nel capitolo terzo è stato presentato, infatti, il business model che descrive il bundling del V2G all'interno di un più ampio pacchetto energetico come il più efficace metodo per la penetrazione dell'emergente mercato dei servizi ancillari.

4.2 Limitazioni del lavoro di tesi

Le attività del progetto pilota di FCA-Terna-ENGIE EPS hanno come data di inizio quella di dicembre 2020 e, conseguentemente, non sono riportati in questo lavoro i risultati delle analisi che si svolgeranno durante le fasi di sperimentazione. È stato, per questo motivo, possibile soffermarsi esclusivamente sulla descrizione della tecnologia del Vehicle-to-Grid ed analizzarne opportunità commerciali e business model focalizzandosi sul ruolo del carmaker. Nella definizione del business model sono stati presentati gli attori coinvolti, i relativi benefici, la panoramica dei progetti pilota portati avanti dai gruppi automobilistici, così come le abitudini di uso e ricarica dei proprietari che dimostrano la fattibilità del servizio. La raccolta di questa docu-

mentazione e delle analisi svolte sottolineano l'importanza di entrare nel mercato dei servizi ancillari ma, non sono attualmente disponibili dati più precisi rispetto alla retribuzione derivante dallo stesso in quanto la regolamentazione che la determina è ancora in via di definizione al momento della stesura. Dal punto di vista tecnologico, invece, nel terzo capitolo è introdotta l'importanza della stima dell'impatto del servizio di interconnessione tra la rete e il veicolo sulla batteria di quest'ultimo. Nella valutazione di questo aspetto, è presentata una prima simulazione analitica svolta sulle previsioni di richiesta della partecipazione al V2G fornite da Terna e sulle caratteristiche della batteria dei veicoli della flotta; ovviamente, anche questa analisi necessita la conferma o la smentita da parte dei risultati consultabili solamente alla fine delle sperimentazioni. Inoltre, seppure le analisi dei trend di vendita presentati nel primo capitolo, quelle sull'infrastruttura di ricarica nel secondo e infine, le considerazioni sulle possibilità di retribuzione siano frutto di statistiche e studi europei o internazionali, la struttura della distribuzione dell'energia elettrica e i sistemi di regolazione delle frequenze sono aspetti circoscritti al caso della nazione italiana. Questo perchè il progetto pilota FCA per ora produrrà dei risultati basati, appunto, sulla richiesta energetica italiana e ne seguirà il profilo di regolazione della frequenza.

4.3 Possibili prospettive future per l'azienda sul tema V2G

Il Vehicle-to-Grid non è ancora un'opportunità commerciabile su larga scala e la penetrazione del servizio all'interno del mercato va di pari passo con la maturità della tecnologia e della regolamentazione dei servizi ancillari. Questo lavoro di tesi, rappresentando per il gruppo FCA uno studio preliminare sugli elementi tecnologici, energetici ed economici del servizio V2G, ha avvalorato l'interesse di un carmaker per le opportunità di interconnessione del veicolo alla rete elettrica. Considerandone, però, i confini dell'analisi di fattibilità, lo studio permette di identificare i passi successivi necessari sulla tematica, rimandando la risposta agli aspetti ancora da

smarcare ai risultati attesi dal progetto pilota FCA.

Dal punto di vista strettamente tecnico, la sperimentazione condotta negli impianti del sito logistico del Drosso, si presta ad ottenere nel prossimo futuro - fine 2022 - statistiche su due principali aspetti che non è stato possibile ottenere con sufficiente precisione nell'analisi qui condotta considerando gli studi in letteratura e le stime aziendali: le condizioni di degradazione della batteria e la schedulazione ottimale dei cicli di ricarica ed accumulo in seguito alle richieste effettive operate dal gruppo energetico Terna. Per quanto sono qui citate separatemente è importante notare come il secondo elemento condizioni conseguentemente il primo, così come è importante considerare come gli aspetti tecnici ricadano necessariamente nelle valutazioni economiche. Infatti, in materia di richiesta di partecipazione alla rete e impatto sulla batteria, i risultati derivanti dal progetto pilota FCA rappresentano l'essenziale metro di giudizio nella stima del prezzo a cui vendere l'offerta del servizio. L'obiettivo è quello quindi di ottenere profili di uso realistici attraverso simulazioni che comportano bassi margini di errore nell'ottica della futura replicazione del modello da parte dei clienti finali. Questa è un'analisi imprescindibile perchè, nell'offrire una totalità di servizi all'interno di un unico bundle così come si è ipotizzato, si deve ridurre al minimo il rischio che il fruitore finale possa avere un comportamento di utilizzo più oneroso delle previsioni alla base della decisione del prezzo di vendita. In un futuro in cui si prospetta quindi la sempre maggiore interconnessione tra il veicolo e la rete, FCA con la sua divisione eMobility, porta avanti una ricerca sulla tematica realizzando un progetto pilota su amplia scala per poter effettuare simulazioni e ottenere risultati attraverso una reale flotta di proprie auto. La possibilità di entrare in possesso, alla fine del periodo di sperimentazione, di una mole così elevata informazioni sulla tecnologia del V2G e sulle potenzialità di retribuzione permette al gruppo automobilistico l'opportunità di creare un'accurata strategia di offerta del serivizio.

Ad oggi, come esplicitato nel terzo capitolo di questa trattazione, il cliente finale che più si adatta ai limiti ancora legati al V2G è un profilo business, una flotta di

vetture. Quello delle flotte è, infatti, il primo stadio del mercato del V2G, un primo terreno di prova per la tecnologia e per la rete stessa. La ricerca della semplificazione del sistema e dell'ottimizzazione della sua user experience, delineano però il singolo proprietario di un'auto elettrificata come l'obiettivo a medio termine per l'offerta del servizio. Ciò a cui si ambisce è la creazione di una proposta a tutto tondo per il cliente, che renda la sua vettura elettrificata parte di più aspetti della sua quotidianeità, oltre il suo semplice ruolo di mezzo di trasporto. La visione del gruppo FCA, così come quella di diversi carmakers che si affacciano sulla tematica, descrive un veicolo intelligente, in grado di imparare ed adattarsi alla routine del proprietario. Una vettura che, fermo l'obiettivo del minimo impatto sulle abitudini del cliente, abbia un valore anche in sosta: la partecipazione al V2G durante l'orario lavorativo supporta la rete e garantisce una retribuzione che abbatte i costi di ricarica e, nella dimensione domestica, lo scambio di energia con l'auto riduce la tariffa energetica sfruttando le fasce orarie migliori. L'evoluzione della definizione del singolo prodotto verso quella più amplia di ecosistema è un concetto che si sta progressivamente imponento in ogni settore e, quello automobilistico, non ne è escluso. L'interconnessione della vettura con una pluralità di diversi servizi ha superato il confine del valore aggiunto per raggiungere velocemente l'area dell'offerta standard. Il sistema del Vehicle-to-Grid, in quest'ottica, risponde perfettamente all'esigenza di avere una visione di insieme sulla dimensione della mobilità elettrica e su tutti gli attori che ne fanno parte.

È anacronistica ormai l'immagine dell'automobile come un prodotto a sè, indipendente dall'esigenze della rete e dai bisogni specifici del singolo guidatore.

Riferimenti

[1] S. L. Statista Mehta D., Hamke A., "In-depth: eMobility 2020," 2020. iv, 9, 11

[2] A. S. Navigant Research Shepard S., "EV Charging Equipment Market Overview," 2019. iv, 22, 23, 24, 27

[3] K. M. Wolbertusa R., Jansena S., "Stakeholders' perspectives on future electric vehicle charging T infrastructure developments," 2020. iv, 20, 30, 31, 68

[4] IEA, "Global EV Outlook," 2019. v, 28, 33, 34

[5] G. C. Federico Piglione, "Sistemi elettrici industriali," 2017. v, 37

[6] Terna, "official web site," 2020. v, 38, 39, 41, 42

[7] C. G. D. M. Scarabaggio P., Carli R., "Smart Control Strategies for Primary Frequency Regulation through Electric Vehicles: A Battery Degradation Perspective," 2020. v, 40, 41, 42

[8] B. S. Aguilar-Dominguez D., Dunbar A., "The electricity demand of an EV providing power via vehicle-to-home and its potential impact on the grid with different electricity price tariffs," 2020. v, 44, 45

[9] F. H. M. M. Al-Obaidia A., Khania H., "Bidirectional smart charging of electric vehicles considering user preferences, peer to peer energy trade, and provision of grid ancillary services," 2020. v, 20, 48, 50

[10] Z. T. Z. C. S. S. Wang D., Coignard J., "Quantifying electric vehicle battery degradation from driving vs. vehicle-to-grid services," 2017. v, 20, 52, 53

[11] N. L. Z. d. R. G. Sovacoola B., Kesterb J., "Actors, business models, and innovation activity systems for vehicle-to-grid (V2G) technology: A comprehensive review ," 2020. v, 66

[12] L. C. Z. P. T. Y. Z. Z. L. J. Cao Y., Tang S., "An Optimized EV Charging Model Considering TOU Price and SOC Curve," 2012. 8

[13] L. N. European Commission Tsiropoulos I., Tarvydas D., "Li-ion batteries for mobility and stationary storage applications," 2018. 8

[14] M. I. K. C. Long Z., Axsen J., "What does Tesla mean to car buyers? Exploring the role of automotive brand in perceptions of battery electric vehicles," 2019. 9

[15] IEA, "Global EV Outlook," 2019. 12

[16] EV-Volumes, "Impact of Lockdown in EV Markets," 2020. 13

[17] A. L. Price Waterhouse Cooper Khurana A., Al-Olama B., "Delivering the Sustainable Development Goals," 2017. 15

[18] L. D. Bates J, "Perspectives on parking policy," 2012. 18

[19] J. L.-G. J. Z. Z. Du W., Zhao S., "Optimization design and performance comparison of different powertrains of electric vehicles," 2020. 19

[20] M. J. Fietkau P., Kistner B., "Virtual powertrain development," 2020. 19

[21] W. L.-Z. Z. Ju F., Zhuang W., "Comparison of four-wheel-drive hybrid powertrain configurations," 2020. 19

[22] A.-V. Matas-Díaz F.J., Maza-Ortega J.M., "Ev recharging systems: Technological review and impact on the electric system," 2020. 19

[23] S. Z. D. Z. Y. D. F. R. W. Y. W. S. X. J. Z. Y. Z. H. Lei H.a, Yan J., "Research on the topology of a custom power device for electric vehicle charging station," 2019. 19

[24] M. S. H. M. Mahmud K., Town G.E., "Integration of electric vehicles and management in the internet of energy," 2018. 19

[25] L. Y. G. G. Cheng H., Shapter J.G., "Recent progress of advanced anode materials of lithium-ion batteries," 2020. 19

[26] Z. Y. G. L. D. G. Guo N., Zhang X., "Real-time predictive energy management of plug-in hybrid electric vehicles for coordination of fuel economy and battery degradation," 2020. 19

[27] N. M. V. M. Bellocchi S., Manno M., "Impact of Grid-Scale Electricity Storage and Electric Vehicles on Renewable Energy Penetration: A Case Study for Italy," 2019. 19, 56

[28] T. Kempton W., "Vehicle-to-grid power implementation: From stabilizing the grid to supporting large-scale renewable energy ," 2020. 19, 56

[29] T. A.W., "Economic implications of lithium ion battery degradation for Vehicle-to- T Grid (V2X) services," 2018. 20

[30] Y. Y. Tchagang A., "V2B/V2G on Energy Cost and Battery Degradation under Different Driving Scenarios, Peak Shaving, and Frequency Regulations," 2019. 20

[31] T. Kempton W., "Vehicle-to-grid power implementation: From stabilizing the grid to supporting large-scale renewable energy," 2004. 20, 49

[32] S. L. W. Kempton, "Electric vehicles as a new power source for electric utilities," 1997. 20, 49

[33] J. G. L. J. Honga J., Koo Y., "Ex-ante evaluation of profitability and government's subsidy policy on vehicle-to-grid system," 2012. 20, 51

[34] Z. L., "Optimizing the performance of vehicle-to-grid (V2G) enabled battery electric vehicles through a smart charge scheduling model," 2015. 20, 51

[35] A. LN., "Plug-in hybrid electric vehicles as regulating power providers: case studies of Sweden and Germany," 2010. 20, 51

[36] C. Q., " The effect of communication architecture on the availability, reliability, and economics of plug-in hybrid electric vehicle-to-grid ancillary services," 2010. 20, 67

[37] S. S. Hein R., Kleindorfer P., " Valuation of electric vehicle batteries in vehicle-to-grid and battery-to-grid systems," 2012. 20, 67

[38] Nuvve, "Nuvve smart grid V2G brings value to many players," 2017. 20, 67

[39] S. S. Sachana S., Debb S., "Different charging infrastructures along with smart charging strategies for T electric vehicles," 2020. 24

[40] C. A. G. F. Y. K. W. P. V. Pevec D., Babic J., "A survey-based assessment of how existing and potential electric vehicle owners perceive range anxiety," 2020. 25

[41] K. J. Illman U., "Public charging infrastructure and the market diffusion of electric vehicles," 2020. 26

[42] K. P. L. R. S. M. Das R., Thirugnanam K., "Mathematical Modeling for Economic Evaluation of Electric Vehicle to Smart Grid Interaction," 2014. 34

[43] P. R. C. C. Pierro M., Moser D., "The Value of PV Power Forecast and the Paradox of the "Single Pricing" Scheme: The Italian Case Study," 2020. 39

[44] C. J-M., "Participation of Electric Vehicle Aggregators in Ancillary Services Considering Users' Preferences," 2019. 41

[45] H. D. P. Q. Moghaddam Z., Ahmad I., " Smart charging strategy for electric vehicle charging stations," 2017. 43

[46] Z. I. A. F. O. O. Saldaña G., San Martin JI., " Electric Vehicle into the Grid: Charging Methodologies Aimed at Providing Ancillary Services Considering Battery Degradation," 2019. 43

[47] B. S. Turker H., Hably A., "Housing peak shaving algorithm (HPSA) with plug-in hybrid electric vehicles (PHEVs): Vehicle-to-Home (V2H) and Vehicle-to-Grid (V2G) concepts.," 2013. 44

[48] B. D. W. S. M. A. Berthold F., Blunier B., "PHEV control strategy including vehicle to home (V2H) and home to vehicle (h2v) functionalities," 2011. 44

[49] K. J. S. B. Noel L., Zarazua de Rubens G., "Vehicle-to-Grid: A Sociotechnical Transition Beyond Electric Mobility," 1997. 45, 46, 48

[50] L. S. Kempton W., "Electric vehicles as a new power source for electric utilities," 1997. 47

[51] T. A. B. L. K. M. Andersen P., Sousa T., "Added Value of Individual Flexibility Profiles of Electric Vehicle Users For Ancillary Services," 2018. 50

[52] J. L. J. H. M. O. L. Lu, X. Han, "A review on the key issues for lithium-ion battery management in electric vehicles," 2013. 52

[53] L. G. V. M. Pelletier S., Jabali O., "Battery degradation and behaviour for electric vehicles: Review and numerical analyses of several models.," 2017. 52

[54] C. H., "Open business models; how to thrive in the new innovation landscape. Boston, Massachusetts: Harvard Business School Press ," 2006. 65

[55] S. F. Cusumano M.A., Kahl S.J., "Services, industry evolution, and the competitive strategies of product firms," 2015. 69

[56] S. J. Reinders M.J., Frambach R.T., "Using product bundling to facilitate the adoption pro- cess of radical innovations," 2010. 70

[57] J. M. S. M. S. Saxena, C. Le Floch, "Quantifying EV battery end-of-life through analysis of travel needs with vehicle powertrain models," 2015.