

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale



Tesi Magistrale

E-mobility flexibility e analisi sui progetti pilota Vehicle-to-Grid nel continente europeo

Relatrice

Prof.ssa F. MONTAGNA

Candidata

Alessia PELLINO

Tutor aziendali

Ing. A. SEVEGA

Ing. H. SHISHTAWI

APRILE 2024

This research paper (“Thesis”) has been produced in the context of an internship program that Alessia Pellino (the “Intern”) has attended within Accenture Spa. The Thesis is confidential and cannot be used other than by the Intern for the purpose of presenting her work. It must not be disclosed other than to Politecnico di Torino’s professors on a confidential basis and to the extent required for Politecnico di Torino to carry out an evaluation and assess the Intern’s final exam. In preparing this document, the Intern acknowledges that she has relied on confidential information provided by Accenture only for the purposes of producing the Thesis. The Intern shall defend, indemnify and hold harmless Accenture from and against any claim, demands, actions, judgments, awards, settlements, fees, liabilities, losses, damages, costs and expenses (including and without limitation attorneys’ fees and court costs) (“Obligations”) arising out of or relating to any allegation or claim that the Thesis or any use thereof infringes, misappropriates or otherwise misuses or violates the Intellectual Property or other rights of any Person. Accenture shall have the right, in its sole discretion, to participate in the defense of any such allegations or claims at its expense with a counsel of its choosing. The Intern shall not compromise or settle any such allegation or claim, or agree to binding arbitration thereof, in any manner without Accenture’s prior written consent, unless such settlement is solely monetary in nature, and releases all Accenture Indemnified Parties from all Obligations with no admission of liability and has no adverse effect on any of them. This paper was written for my university thesis and is my personal work. The views expressed are my own and may not necessarily reflect those of Accenture.

Sommario

La transizione energetica rappresenta una sfida cruciale e urgente a livello globale, guidata dalla necessità impellente di limitare il riscaldamento del pianeta e mitigare l'impatto dei cambiamenti climatici. In tale scenario, l'adozione di sistemi energetici sostenibili e rinnovabili emerge come una soluzione fondamentale per ridurre le emissioni di gas serra. Tuttavia, la natura intermittente delle fonti rinnovabili rende complesso il bilanciamento della produzione e del consumo di energia. In risposta a questa complessità, la presente ricerca si propone di esplorare il panorama della flessibilità energetica, dal demand response allo stoccaggio delle batterie. In particolare, l'analisi si concentra sull'*e-mobility flexibility*, con il ruolo cruciale del Vehicle-to-Grid (V2G) come tecnologia abilitante per aumentare la flessibilità e contribuire alla trasformazione del sistema energetico. L'obiettivo di questo studio è comprendere il ruolo della flessibilità energetica nel futuro, analizzando come il V2G sta evolvendo come uno dei catalizzatori a supporto della flessibilità energetica stessa. A tal fine, sono stati analizzati 88 progetti pilota della tecnologia V2G all'interno del continente europeo. Grazie all'utilizzo di grafici, è stato possibile formulare previsioni di crescita delle infrastrutture di ricarica bidirezionali fino al 2025. I risultati portati, mostrano che la diffusione di tale tecnologia varia da paese a paese, in quanto è intrinsecamente legata ad una serie di fattori tra cui le politiche governative, gli incentivi economici, le iniziative progettuali, la diffusione stessa dei veicoli elettrici e la consapevolezza ambientale. Essi sono tutti fattori che giocano un ruolo determinante nel plasmare l'adozione e l'ampia diffusione di essa. In seguito, con l'ausilio dell'analisi di correlazione, si mira ad esplorare la relazione tra le infrastrutture intelligenti e l'attuazione dei progetti V2G, per capire come potrebbero crescere congiuntamente e come gli aggregatori, inserendosi in questo contesto, svolgono un ruolo chiave nel facilitare e promuovere la flessibilità nel sistema energetico. Attraverso un confronto tra i diversi paesi europei, l'analisi si è concentrata sull'individuazione del numero di aggregatori all'interno delle iniziative progettuali. Mediante il calcolo di due indici distinti, è stato possibile ottenere una valutazione approfondita della forza degli aggregatori all'interno di ciascun progetto nazionale. I paesi con una maggiore presenza di aggregatori nei progetti V2G sembrano godere di una maggiore diversificazione e competitività nel mercato dell'energia. Questo suggerisce che tali attori, assumendo un ruolo attivo nel facilitare la connessione tra veicoli elettrici e la rete elettrica, non solo favoriscono la flessibilità energetica ma contribuiscono in maniera sostanziale al successo complessivo della transizione energetica.

*A mio padre, mia madre e mia sorella,
per aver creduto sempre in me.
A Vincenzo, l'Amore più puro della mia vita.
A me stessa, alla mia forza e a tutto ciò che verrà.*

Indice

Elenco delle tabelle	VI
Elenco delle figure	VII
1 Introduzione	1
1.1 Scopo del lavoro	2
1.2 Metodologia	3
1.3 Struttura del documento	4
2 Evoluzione della flessibilità energetica: trend attuali ed emergenti	5
2.1 Introduzione alla flessibilità energetica	5
2.2 Trend attuali	6
2.2.1 Flessibilità lato domanda	6
2.2.2 Generazione distribuita	11
2.2.3 Stoccaggio di energia	12
2.3 Flessibilità nell'elettromobilità	14
2.3.1 Panoramica sulla mobilità elettrica	15
2.4 Trend emergenti	24
2.4.1 Ricarica intelligente	24
2.4.2 Vehicle to Grid	27
2.4.3 Analisi Pestel	29
3 Analisi sui progetti pilota V2G in Europa	33
3.1 Raccolta dati	34
3.1.1 Caratteristiche dei progetti	37
3.1.2 Attori principali	42
3.2 Analisi del trend di crescita nei singoli paesi europei	47
3.2.1 Regno Unito	48
3.2.2 Paesi Bassi	51
3.2.3 Italia	54
3.2.4 Svizzera	55

3.2.5	Germania	57
3.2.6	Altri paesi	59
3.3	Analisi della correlazione	63
3.3.1	Il contributo chiave degli aggregatori	69
3.4	Considerazioni finali e limiti delle analisi	72
4	Conclusioni e prospettive future	75
	Bibliografia	77

Elenco delle tabelle

3.1	Numero di infrastrutture V2G e di progetti in ogni paese europeo . . .	36
3.2	Progetti V2G in Danimarca: esempio struttura e raccolta dati . . .	38
3.3	Tabella dei progetti V2G con relative informazioni, Regno Unito (<i>continua nella pagina successiva</i>).	48
3.4	Numero totale di infrastrutture a confronto, Regno Unito	50
3.5	Tabella dei progetti V2G con relative informazioni, Paesi Bassi (<i>continua nella pagina successiva</i>)	51
3.5	Tabella dei progetti V2G con relative informazioni, Paesi Bassi (<i>continua nella pagina successiva</i>)	52
3.6	Numero totale di infrastrutture a confronto, Paesi Bassi	53
3.7	Tabella dei progetti V2G con relative informazioni, Italia	54
3.8	Numero totale di infrastrutture a confronto, Italia	55
3.9	Tabella dei progetti V2G con relative informazioni, Svizzera	56
3.10	Numero totale di infrastrutture a confronto, Svizzera	56
3.11	Tabella dei progetti V2G con relative informazioni, Germania (<i>con-</i> <i>tinua nella pagina successiva</i>)	57
3.11	Tabella dei progetti V2G con relative informazioni, Germania (<i>con-</i> <i>tinua nella pagina successiva</i>)	58
3.12	Numero totale di infrastrutture a confronto, Germania	58
3.14	Numero di progetti e infrastrutture di ricarica V2G per anno	65
3.15	Ranghi dei progetti e delle infrastrutture di ricarica V2G	68
3.16	Indici calcolati per i diversi paesi europei	71

Elenco delle figure

2.1	Categorie differenti di DSM	7
2.2	Classificazione dei programmi di demand response	9
2.3	Effetto della Demand response sui prezzi del mercato dell'elettricità	10
2.4	Differenti categorie di veicoli elettrici	15
2.5	EV stock, veicoli elettrici, contesto globale, 2010-2022	17
2.6	Vendite di EV, autovetture, Europa, STEPS scenario 2020-2030	19
2.7	Vendite di EV, autovetture, Europa, APS scenario 2020-2030	19
2.8	a) modalità di ricarica 1, b) modalità di ricarica 2, c) modalità di ricarica 3, d) modalità di ricarica 4	21
2.9	Differenti tipologie di connettori	23
2.10	Differenti tipologie di ricarica intelligente	25
2.11	Esempio di fornitura di servizi di rete unidirezionale (V1G) rispetto a bidirezionale (V2G)	27
2.12	Schema illustrativo della connessione tra i veicoli elettrici e la rete elettrica [17]	28
2.13	Barriere della fornitura dei servizi V2G in Europa	30
3.1	Distribuzione percentuale dei progetti V2G in diversi continenti.	34
3.2	Cartografia dei progetti V2G in Europa: distribuzione quantitativa per paese	35
3.3	Partecipazione dei singoli paesi nell'implementazione generale dei progetti europei.	37
3.4	Focus dei progetti V2G europei	37
3.5	Servizi vs. Progetti	39
3.6	Numero di infrastrutture di ricarica V2G nei differenti paesi europei.	41
3.7	Tipologia di corrente AC e/o DC	42
3.8	Aggregatori vs. Progetti	43
3.9	DSO/TSO vs. Progetti	45
3.10	Produttori principali di veicoli elettrici	46
3.11	Infrastrutture di ricarica V2G vs. Infrastrutture di ricarica tradizionali, Regno Unito	51

3.12	Infrastrutture di ricarica V2G vs. Infrastrutture di ricarica tradizionali, Paesi Bassi	54
3.13	Infrastrutture di ricarica V2G vs. Infrastrutture di ricarica tradizionali, Italia	55
3.14	Infrastrutture di ricarica V2G vs. Infrastrutture di ricarica tradizionali, Svizzera	57
3.15	Infrastrutture di ricarica V2G vs. Infrastrutture di ricarica tradizionali, Germania	59
3.16	Infrastrutture di ricarica V2G vs infrastrutture di ricarica tradizionali, Paesi europei	62
3.17	Trend di crescita delle infrastrutture di ricarica V2G in sei paesi europei	63
3.18	Grafico a dispersione con linea di tendenza, paesi europei	66
3.19	Outliers presenti nel grafico a dispersione tra il numero di progetti e le infrastrutture di ricarica V2G	66
3.20	Confronto grafico tra numero di aggregatori e numero dei progetti nei paesi europei	70

Capitolo 1

Introduzione

Tra le sfide più importanti e urgenti che il mondo sta attualmente affrontando, emerge la critica necessità di limitare il riscaldamento globale. Ogni giorno, milioni di tonnellate di CO_2 vengono emesse nell'atmosfera dai settori industriali e dei trasporti. Una soluzione chiave a questa problematica risiede nella transizione a sistemi energetici sostenibili e rinnovabili. Questo implica il passaggio da fonti energetiche di origine fossile, che emettono grandi quantità di gas serra, a fonti energetiche di origine rinnovabile, come il solare e l'eolico, che risultano molto meno dannose per l'ambiente. Tuttavia, questa transizione, presenta delle sfide proprie. Le principali tendenze che guidano la transizione energetica, come ad esempio la decarbonizzazione e l'elettrificazione, si basano su fonti di energia rinnovabile che sono intermittenti e non sempre disponibili. In altre parole, proprio in virtù della loro natura discontinua rendono difficile agli operatori del mercato energetico assicurare in ogni istante il bilanciamento tra produzioni e consumi. Se la domanda di energia superasse l'offerta, potrebbero verificarsi interruzioni di corrente. D'altra parte, se l'offerta superasse la domanda, l'energia in eccesso potrebbe andare sprecata.

Si può pertanto affermare che, il cambiamento paradigmatico attuale, guidato dalle fonti rinnovabili, dalla decentralizzazione delle risorse e dalla digitalizzazione, sta plasmando una nuova identità per il settore energetico. In questo contesto, assume un ruolo cruciale la flessibilità energetica, in grado non solo di adattare il sistema alle variazioni impreviste della domanda e dell'offerta, ma anche di promuovere l'innovazione, creare nuove opportunità commerciali e coinvolgere attivamente i consumatori nel loro ruolo energetico. Una strategia chiave per migliorare la performance della rete, è utilizzare le batterie dei veicoli elettrici (EV) come sistema di stoccaggio dell'energia. L'evoluzione dei veicoli elettrici, come soluzioni di stoccaggio energetico, sta dando a sua volta vita ad un mercato emergente, noto come *Vehicle to Grid* (V2G). Questa tecnologia consente ai veicoli elettrici di generare o immagazzinare energia nelle fasi di inattività e, successivamente, mediante una

connessione bidirezionale appropriata, di restituire energia alla rete nei momenti di maggior richiesta. Una serie di studi affermano che i veicoli trascorrono circa il 95% della loro vita parcheggiati in ufficio o a casa, senza essere utilizzati [1]. Pertanto, emerge chiaramente un'opportunità significativa nell'utilizzare le batterie come sistemi di stoccaggio. La pratica del V2G, dunque, mira a potenziare il funzionamento della rete, promuovendo la sua stabilità, affidabilità ed efficienza.

1.1 Scopo del lavoro

Il concetto di flessibilità energetica è molto ampio, per tale ragione nell'ambito di questa tesi ci si focalizza principalmente sull'aspetto della flessibilità nel settore della mobilità elettrica, ovvero la capacità dei veicoli elettrici di adattarsi alle esigenze del sistema energetico, contribuendo al bilanciamento dell'energia. Come è stato precedentemente menzionato, tra le strategie più importanti ed emergenti utili ad aumentare la flessibilità del sistema e quindi ad affrontare le sfide associate alla transizione energetica, c'è il *vehicle to grid*. Si tratta di una tecnologia che consente ai veicoli elettrici di comunicare e interagire direttamente con la rete elettrica. In pratica, i veicoli elettrici non sono semplici consumatori di energia, ma possono svolgere un ruolo attivo come fornitori di energia. L'obiettivo della tesi è approfondire e comprendere il ruolo della flessibilità energetica nel futuro, attraverso l'analisi dei progetti europei incentrati sulla tecnologia V2G, la quale si traduce nella realizzazione di infrastrutture di ricarica bidirezionali. Questi progetti, che rappresentano una significativa evoluzione nel panorama dell'elettrificazione dei trasporti, mirano a sfruttare appieno il potenziale dei veicoli elettrici. Le domande chiave che la tesi si propone di affrontare sono:

1. Qual è la tendenza di crescita delle infrastrutture di ricarica V2G nei vari paesi europei? Quali sono i fattori che influenzano questa crescita?
2. Esiste una connessione diretta tra l'implementazione dei progetti V2G e l'aumento delle infrastrutture bidirezionali nei diversi paesi europei? Il mercato delle infrastrutture è guidato o indipendente dalle iniziative progettuali?
3. Gli aggregatori, entità o aziende che fungono da intermediari tra i veicoli elettrici e il sistema energetico, svolgono un ruolo significativo nel facilitare l'espansione delle infrastrutture V2G? Quanto sono coinvolti nei vari progetti europei?
4. Quali sono le prospettive di crescita degli aggregatori nell'offrire flessibilità all'elettromobilità, e quali paesi si prevede saranno particolarmente propensi a vedere l'emergere di nuovi aggregatori nel prossimo futuro?

Per raggiungere questo obiettivo e rispondere a queste domande è stata effettuata, come già anticipato, un'analisi dei progetti che sviluppano la tecnologia V2G, presenti nel continente europeo.

1.2 Metodologia

Il contesto della flessibilità energetica è vasto e articolato, e pertanto, prima di focalizzarsi sull'analisi del mercato europeo relativo al vehicle to grid, richiede una fase preliminare di approfondimento attraverso una revisione della letteratura. L'obiettivo di quest'ultima è stato studiare e comprendere appieno il concetto di flessibilità energetica, evidenziando le numerose fonti da cui può derivare, lato domanda e lato offerta. Inizialmente, l'attenzione è stata posta sulle tendenze attuali della flessibilità, quali la risposta alla domanda, la generazione distribuita e lo stoccaggio di energia. Questa prima fase è stata essenziale per avere una visione più olistica e approfondita delle pratiche attualmente presenti che caratterizzano il contesto in esame. Successivamente, ci si è focalizzati sulla flessibilità all'interno della mobilità elettrica (*e-mobility flexibility*) e sulle tendenze emergenti, quali la ricarica intelligente e il V2G. In realtà, prima di approfondire il tema del V2G, è stata condotta una panoramica della mobilità elettrica per fornire un conteso esaustivo alla comprensione di questa tecnologia. In questa fase preliminare, sono state esaminate le varie tecnologie dei veicoli elettrici, le modalità di ricarica con i rispettivi tipi di connettori, offrendo una spiegazione sull'evoluzione di tale mercato. L'approfondimento di questo tema è stato necessario, poiché rappresenta una tecnologia innovativa e promettente nel contesto della flessibilità energetica, diventando pertanto il fulcro dell'analisi. Per condurre un'analisi approfondita del mercato del vehicle to grid, sono stati identificati attentamente 88 progetti correlati a questa tecnologia in Europa. Nonostante il database utilizzato [2] considerasse l'intero contesto globale, all'interno di questa tesi, è stato scelto di focalizzarsi unicamente sul continente europeo. Questo perché, l'obiettivo è di acquisire una comprensione approfondita e specifica delle tendenze e delle dinamiche che caratterizzano il mercato V2G in Europa. Nella prima fase dell'analisi, sono state analizzate le caratteristiche di ogni progetto, inclusi gli attori principali coinvolti, i servizi offerti e il numero di caricatori V2G implementati. Successivamente, grazie all'utilizzo di grafici, è stato possibile formulare previsioni di crescita fino al 2025. Questa strategia ha consentito di riconoscere le differenze di crescita tra i diversi paesi europei. Per comprendere se il mercato delle infrastrutture di ricarica V2G fosse guidato o indipendente dai progetti V2G, è stata eseguita un'analisi della correlazione tra le due variabili, verificando prima di tutto le ipotesi attraverso dei test grafici e analitici. I risultati hanno dimostrato una forte correlazione positiva, sottolineando l'importanza strategica degli aggregatori come mediatori cruciali

tra progetti V2G e infrastrutture V2G. Infine, è stata evidenziata, attraverso il calcolo di due indici, la presenza degli aggregatori nei diversi paesi europei. Questo approccio, è necessario per comprendere a fondo la relazione tra gli aggregatori, i progetti e le infrastrutture di ricarica V2G, in maniera tale da sottolineare il ruolo cruciale che gli aggregatori hanno nella promozione della flessibilità energetica.

1.3 Struttura del documento

Il documento si struttura in quattro capitoli principali.

1. **Capitolo 1:** introduzione al contesto e spiegazione generale degli approcci adottati per conseguire l'obiettivo prefissato. Questa sezione, intende delineare il percorso e la metodologia impiegata nella ricerca.
2. **Capitolo 2:** introduzione alla flessibilità energetica e alla *e-mobility flexibility*. Spiegazione dettagliata delle tendenze attuali ed emergenti, con i rispettivi vantaggi e costi di ogni aspetto considerato. Panoramica sulla mobilità elettrica.
3. **Capitolo 3:** analisi del mercato vehicle to grid in Europa. Suddiviso in più fasi, prevede la raccolta e la spiegazione dei dati, l'analisi del trend di crescita nei singoli paesi, l'analisi della correlazione tra il numero di progetti vehicle to grid e le infrastrutture di ricarica bidirezionali e infine, l'analisi del contributo degli aggregatori in questo contesto. Saranno presentate le ipotesi alla base di questa analisi e i rispettivi limiti incontrati.
4. **Capitolo 4:** in questo capitolo di conclusione saranno riepilogati gli aspetti e i risultati principali del lavoro con le prospettive future.

Capitolo 2

Evoluzione della flessibilità energetica: trend attuali ed emergenti

Nel precedente capitolo, è emerso chiaramente come la transizione energetica stia rivoluzionando in modo significativo il panorama energetico. In questo contesto, assume un ruolo cruciale la flessibilità energetica, la quale si configura come uno strumento chiave per delineare un futuro energetico sostenibile, efficiente e orientato al consumatore. Il presente capitolo si propone di introdurre il concetto di flessibilità energetica. Attraverso un'analisi approfondita delle attuali ed emergenti tendenze, l'obiettivo è ottenere una comprensione dettagliata del ruolo fondamentale che la flessibilità energetica svolgerà nel contesto del panorama energetico in evoluzione. Prima di esplorare l'e-mobility flexibility e la tecnologia del vehicle to grid, sarà fornita una panoramica della mobilità elettrica, delineando il suo stato attuale, analizzando le infrastrutture di ricarica, le diverse modalità di ricarica e i connettori disponibili, oltre ad esplorare le prospettive future di questo mercato in crescita. Successivamente, il focus si sposterà in modo esclusivo sulla flessibilità energetica derivante dai veicoli elettrici, esaminando le dinamiche di questo strumento chiave nella transizione verso un futuro energetico sostenibile ed efficiente.

2.1 Introduzione alla flessibilità energetica

Cos'è la flessibilità energetica

Un elemento fondamentale per promuovere un futuro sostenibile e duraturo, come precedentemente illustrato, consiste nel potenziare la flessibilità del sistema elettrico. Si tratta della capacità di adattarsi a variazioni impreviste della domanda e

dell'offerta di energia elettrica. Questo fattore diventa sempre più importante con l'aumento delle fonti di energia rinnovabile nel mix energetico totale [3]. In realtà, il concetto di flessibilità è intrinsecamente soggettivo, strettamente legato al contesto specifico di un progetto o di una ricerca. Tuttavia, l'integrazione della flessibilità, che può riguardare sia gli aspetti legati al sistema sia quelli legati alla domanda, può migliorare notevolmente la resilienza, l'efficienza e la sostenibilità di un sistema. La definizione più completa di flessibilità energetica, che enfatizza il soddisfacimento dei bisogni e contemporaneamente affronta la variabilità e l'incertezza, è fornita dalla fonte [4]. Secondo questa fonte, la flessibilità energetica è descritta come un sistema energetico in grado di gestire la variabilità e l'incertezza della generazione e della domanda, mantenendo un livello soddisfacente di affidabilità a un costo ragionevole su vari orizzonti temporali. Nel contesto dell'energia elettrica, le fonti di flessibilità possono essere sia lato **offerta** che lato **domanda** [4] [5]. Dal lato dell'offerta, le risorse flessibili comprendono le centrali dispacciabili che possono aumentare o diminuire rapidamente la loro produzione, come le centrali idroelettriche o a gas. D'altra parte, di particolare interesse per questa discussione è la flessibilità dal lato della domanda; essa può includere i consumatori di energia che sono in grado di ridurre il loro consumo durante i periodi di picco della domanda o di aumentarlo quando l'offerta è abbondante. Questa flessibilità può aiutare a bilanciare la domanda e l'offerta di energia elettrica, contribuendo alla stabilità della rete elettrica. Questo aspetto sarà esaminato nella sezione seguente.

2.2 Trend attuali

2.2.1 Flessibilità lato domanda

Nei moderni sistemi elettrici un ruolo chiave è ricoperto dalla flessibilità della domanda. Essa permette di gestire, in modo efficiente, le fluttuazioni del carico netto causate dalla crescente presenza di fonti di energia rinnovabili. Si possono osservare due forme principali di flessibilità: **implicita** e **esplicita**. La prima si manifesta quando i consumatori modificano il loro uso di energia in base alle variazioni dei prezzi dell'energia. D'altra parte, la flessibilità esplicita può essere distribuita e negoziata attraverso vari mercati dell'energia. Nel contesto attuale, è fondamentale introdurre il concetto di **Demand Side Management (DSM)**. Quest'ultimo implica una modifica del comportamento sul lato della domanda e serve come principio di base per le modifiche volontarie della domanda di energia elettrica innescate da incentivi o azioni amministrative. Grazie alla flessibilità della domanda, i consumatori sono in grado di adattare i loro consumi in risposta alle variazioni dei segnali di prezzo. Pertanto, il termine DSM viene utilizzato per indicare un insieme di azioni volte a gestire in modo efficiente i consumi di un sito. L'obiettivo è quello di ridurre i costi associati all'acquisto di energia

elettrica, agli oneri di rete e agli oneri generali di sistema, comprese le componenti fiscali. Di conseguenza, il DSM non solo ha il potenziale di ridurre i costi energetici complessivi, ma anche di ottimizzare l'uso dell'energia, contribuendo alla resilienza e all'affidabilità dell'intero sistema elettrico [6]. Nella figura seguente si possono vedere i quattro diversi tipi di DSM. Secondo [4] sono:

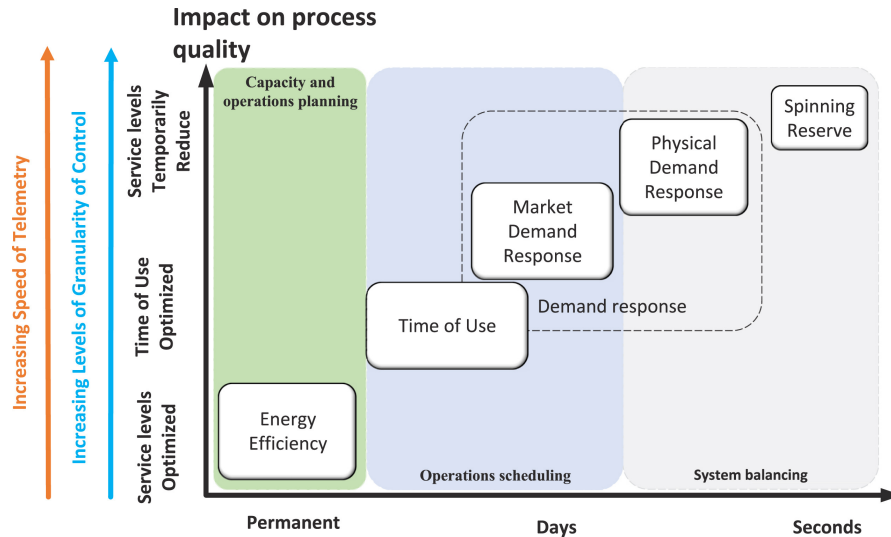


Figura 2.1: Categorie differenti di DSM

1. **Efficienza energetica:** la massimizzazione dell'efficienza energetica può essere ottenuta con strategie sia a lungo che a breve termine.
2. **Orario di utilizzo:** questa strategia mira a incentivare i consumatori a pianificare l'uso dell'energia nei periodi di minore richiesta. Tuttavia, va sottolineato l'importante aspetto dell'*effetto rimbalzo*, in cui il consumo di energia potrebbe non diminuire, ma addirittura aumentare.
3. **Riserva di rotazione:** è un elemento in grado di fornire un supporto rapido ai fornitori di servizi ausiliari del sistema energetico. Ha capacità aggiuntive prontamente disponibili, che consentono agli utenti o ai dispositivi di agire come riserve virtuali, modificando il loro consumo in risposta alle variazioni della frequenza della rete, contribuendo in modo significativo al mantenimento della stabilità del sistema energetico.
4. **Demand response:** questo aspetto verrà approfondito nella sezione successiva.

Demand Response (DR)

La risposta alla domanda è definita come *la variazione dell'uso dell'elettricità da parte dei clienti finali rispetto ai loro normali modelli di consumo in risposta alle variazioni del prezzo dell'elettricità nel tempo*. Inoltre, la DR può essere definita anche come *i pagamenti di incentivi progettati per indurre un minore utilizzo di energia elettrica in periodi di prezzi elevati del mercato all'ingrosso o quando l'affidabilità del sistema è messa a rischio* [7]. In questo modo, l'azienda contribuisce a una maggiore stabilità ed efficienza della rete. Ciò consente un'integrazione ottimale delle fonti rinnovabili nel mix di generazione. Queste fonti, caratterizzate dalla loro natura intermittente e non programmabile, sono un elemento chiave nella produzione di energia sostenibile. In generale, un processo di modulazione segue le seguenti fasi [6]:

1. Il gestore del sistema di trasmissione (TSO) notifica all'aggregatore (fornitore di servizi di bilanciamento) la necessità di un ordine di bilanciamento in caso di problemi di stabilità nella rete.
2. L'aggregatore, attraverso l'utilizzo di algoritmi di ottimizzazione, distribuisce l'ordine tra i clienti per regolare il consumo energetico.
3. I clienti designati modificano il loro consumo o la loro produzione di energia in risposta all'ordine ricevuto.
4. La modulazione del carico risultante viene messa a disposizione dell'operatore di rete.
5. Dopo aver verificato l'efficacia del servizio, i clienti ricevono la remunerazione concordata durante la fase di contrattualizzazione.

Secondo [7] esistono vari tipi di programmi di risposta alla domanda, che mirano a incentivare la partecipazione dei clienti e a comunicare i diversi vantaggi associati alla DR. Questi vantaggi, che verranno spiegati in dettaglio nella sezione dedicata, vanno dal risparmio monetario al desiderio di contribuire alla prevenzione dei blackout e al senso di responsabilità ambientale. Al contrario, le preoccupazioni e le incertezze prevalenti derivano dalla variabilità dei programmi di risposta basati sul prezzo, dalla quantità indefinita e incerta di carico disponibile per la riduzione durante un evento, dalla fattibilità economica della partecipazione a un programma di DR e dalla volontà di mantenere il comfort degli occupanti durante un evento di DR. La classificazione dei programmi di DR è rappresentata nella figura seguente.

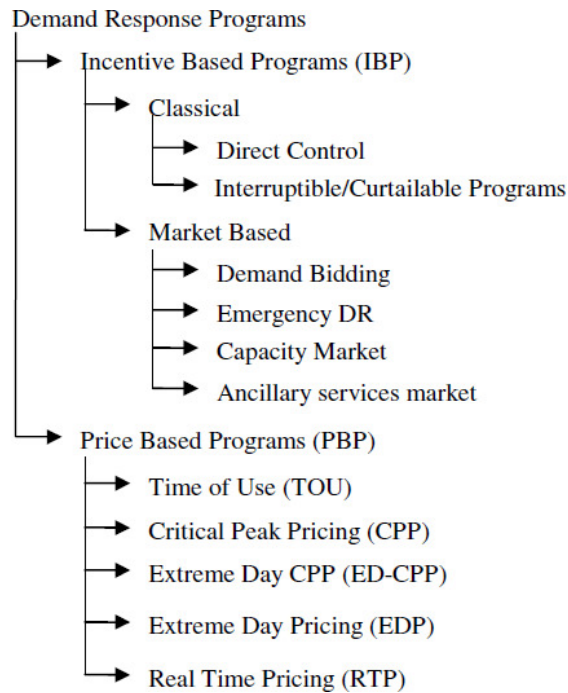


Figura 2.2: Classificazione dei programmi di demand response

1. **Programmi basati su incentivi:** i partecipanti a queste iniziative ricevono premi per ridurre il loro consumo di elettricità o per dare all'amministratore del programma un certo grado di controllo sulle loro apparecchiature elettriche. La congestione della rete locale o regionale, le considerazioni economiche sul sistema, i requisiti di affidabilità operativa e le condizioni meteorologiche locali o del sistema sono alcuni dei fattori che possono provocare l'attivazione di DR basati su incentivi o eventi.
2. **Programmi basati sui prezzi:** in questo caso, la DR viene attuata attraverso tariffe o contratti concordati con gli utenti in mercati deregolamentati. In questi contesti, il prezzo dell'elettricità varia nel tempo con l'obiettivo di incentivare i clienti ad adattare i loro modelli di consumo. Il costo dell'energia può variare in fasce orarie predeterminate o può variare dinamicamente in base al giorno, alla settimana, all'anno e alla capacità di riserva disponibile. Durante le ore di punta, i clienti dovranno pagare tariffe più alte, di conseguenza nelle ore non di punta i prezzi saranno più bassi. I prezzi possono essere fissati giornalmente oppure in tempo reale, ogni ora, consentendo al singolo cliente di adattarsi alle variazioni dei costi dell'elettricità.

In accordo con [8] esiste anche un altro programma chiamato "**Offerte di riduzione della domanda**", in questo caso gli utenti che partecipano a questo tipo

di programma avviano e presentano offerte di riduzione della domanda all'azienda elettrica o all'aggregatore. Di solito, queste offerte includono la capacità disponibile per la riduzione della domanda e il prezzo richiesto. Questo tipo di programma incentiva principalmente i grandi clienti a fornire riduzioni di carico a prezzi per i quali sono disposti a essere limitati o a indicare la quantità di carico che sarebbero disposti a ridurre al prezzo indicato.

Vantaggi e costi di Demand Response

I programmi di risposta alla domanda comportano sia benefici che costi. I benefici possono essere classificati in quattro aree principali:

- **Vantaggi dei consumatori;**
- **Vantaggi del mercato;**
- **Miglioramenti dell'affidabilità;**
- **Performance di mercato.**

I partecipanti ai programmi di DR possono ottenere risparmi sulla bolletta elettrica riducendo i consumi durante i periodi di picco. Come illustrato in precedenza, i partecipanti ai programmi di DR classici ricevono un compenso esclusivamente per la loro disponibilità, mentre i partecipanti al mercato ricevono pagamenti basati sulle prestazioni. È essenziale notare che questi benefici non sono limitati ai partecipanti, ma si estendono all'intero mercato. Infatti, ci si aspetta una diminuzione complessiva dei prezzi dell'elettricità, grazie ad un uso più efficiente delle infrastrutture disponibili. Un altro significativo miglioramento del mercato è la riduzione della volatilità dei prezzi nel mercato spot. La DR limita la capacità dei principali operatori di esercitare un potere eccessivo sul mercato. Secondo la fonte [7], i programmi di DR inducono una pendenza negativa sulla curva di domanda originale, portando non solo ad una modesta diminuzione della domanda ma anche ad una significativa riduzione dei prezzi. Questa dinamica è visibile nella figura seguente. s

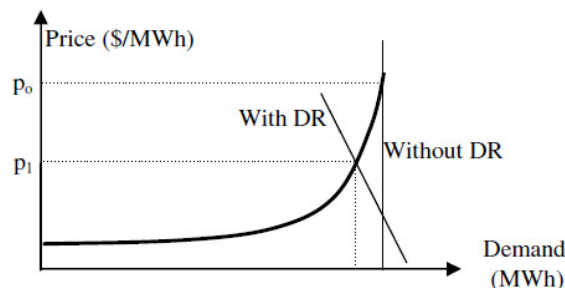


Figura 2.3: Effetto della Demand response sui prezzi del mercato dell'elettricità

In questo grafico, la curva di domanda originale è rappresentata da una linea verticale, ipotizzando che il sistema non includa programmi di DR. Quando tali programmi vengono introdotti, i benefici emergono immediatamente. Come già detto, i programmi di risposta alla domanda (DR) comportano sia benefici che costi, quest'ultimi principalmente suddivisi in costi iniziali e costi di gestione. Ad esempio, i partecipanti a tali programmi possono affrontare costi iniziali per l'installazione di tecnologie abilitanti, come termostati intelligenti, sistemi di controllo dei picchi di carico, sistemi di gestione dell'energia e unità di generazione in loco, al fine di partecipare efficacemente al programma di DR. In genere, questi costi sono sostenuti dagli stessi partecipanti. Vi sono poi i costi operativi, i quali si riferiscono alle spese associate alla gestione pratica degli eventi stessi. La variabilità dei costi è influenzata dal piano di risposta adottato. Alcuni costi, come la perdita di affari o la riprogrammazione delle attività industriali, sono più facilmente quantificabili, a differenza dei costi associati alla riduzione del comfort, che sono difficili da misurare. Spesso i programmi includono i costi iniziali legati alla misurazione e alla comunicazione, nonché i costi di gestione, che comprendono le spese amministrative. Un passaggio importante, che serve a garantire il successo dei programmi di risposta alla domanda, consiste nel fornire ai clienti idonei una formazione dettagliata sui potenziali benefici del programma prima della sua attuazione [7].

2.2.2 Generazione distribuita

La rivoluzione nel panorama energetico nazionale è guidata dalla generazione distribuita (DG), un approccio alla produzione decentralizzata di elettricità attraverso fonti rinnovabili come il solare, l'eolico e l'idroelettrico su piccola scala integrati nel sistema di distribuzione. Questi generatori su piccola scala possono essere collocati vicino al punto di consumo, riducendo le perdite di trasmissione e ottimizzando l'efficienza energetica complessiva. La generazione distribuita comprende diverse tecnologie, tra cui pannelli solari, turbine eoliche, celle a combustibile, microturbine e sistemi di cogenerazione. L'obiettivo principale è ridurre le perdite di trasmissione e distribuzione, migliorare la stabilità della rete e mitigare l'impatto ambientale della produzione di elettricità. Questa metodologia, preferita alla generazione centralizzata convenzionale, offre una serie di vantaggi [9]:

- **Maggiore resilienza:** un sistema energetico decentralizzato è meno vulnerabile ai disastri naturali, agli attacchi informatici e ai guasti delle apparecchiature grazie alla distribuzione su più siti.
- **Maggiore stabilità della rete:** riducendo la congestione della trasmissione e le fluttuazioni di tensione, la generazione distribuita contribuisce a mantenere una rete energetica stabile e affidabile.

- **Riduzione delle perdite di energia:** come già anticipato, la produzione di elettricità vicino al punto di consumo riduce le perdite di trasmissione a lunga distanza, migliorando l'efficienza complessiva e riducendo l'impatto ambientale.
- **Integrazione delle energie rinnovabili:** la generazione distribuita facilita l'integrazione delle fonti rinnovabili, consentendo a famiglie e imprese di generare energia solare o eolica, contribuendo a un futuro più sostenibile.
- **Vantaggi economici:** stimola le economie locali, crea nuovi posti di lavoro nel settore delle energie rinnovabili, promuove l'innovazione e riduce i costi energetici.
- **Cogenerazione:** la generazione distribuita può catturare energia altrimenti sprecata attraverso i sistemi di cogenerazione.
- **Riduzione delle perdite di linea:** grazie all'utilizzo di fonti di energia locali, si riducono al minimo le perdite di energia nel sistema di distribuzione.

Tuttavia, la generazione distribuita presenta anche alcune sfide, come il costo dell'investimento iniziale e le spese di manutenzione. È fondamentale considerare il **rischio ambientale**, come l'impatto visivo, l'utilizzo di acqua nei processi di generazione e le potenziali emissioni quando si utilizzano combustibili fossili. La scelta tra sistemi centralizzati e distribuiti deve essere equilibrata, tenendo conto di questi fattori e puntando a un approccio sostenibile.

2.2.3 Stoccaggio di energia

Conformemente a quanto affermato da [10], è ampiamente noto che la transizione da un sistema energetico basato sui combustibili fossili a uno basato sulle energie rinnovabili comporta una serie di cambiamenti significativi. In particolare, emerge chiaramente un cambiamento nell'uso dell'energia: si passa da un modello basato sull'accumulo di energia a uno che sfrutta le fonti energetiche variabili, che devono essere acquistate quando sono disponibili, utilizzate immediatamente o immagazzinate per un uso successivo. Nel corso degli anni, a causa della crescente adozione e ottimizzazione dell'uso delle fonti energetiche rinnovabili, i sistemi di accumulo dell'energia sono diventati molto diffusi. Questi sistemi forniscono un modo efficiente di immagazzinare e distribuire l'elettricità generata, assicurando che possa essere utilizzata al momento opportuno. La loro importanza è pertanto fondamentale per gestire efficacemente l'equilibrio tra domanda e offerta di energia. Ad oggi, le **batterie** sono la forma più diffusa e utilizzata di sistemi di accumulo dell'energia. Nel corso del tempo, hanno subito un'evoluzione tecnologica esponenziale, volta a garantire una maggiore efficienza e una riduzione dei costi. Il

sistema di accumulo di energia a batteria (BESS) funziona attraverso un processo relativamente semplice e fondamentale per la gestione dell'energia. Inizialmente, le batterie ricevono l'elettricità dalla rete elettrica, direttamente da una centrale, o da fonti di energia rinnovabile come i pannelli solari o altre fonti. Durante questa fase, l'elettricità viene immagazzinata sotto forma di energia chimica all'interno delle batterie. Nella fase di scarica, quando è necessaria l'erogazione di energia, il sistema converte l'energia chimica immagazzinata nelle batterie in energia elettrica, che può essere rilasciata per alimentare dispositivi o fornire energia alla rete elettrica. Questo processo di conversione comporta la trasformazione dell'energia elettrica in energia chimica durante la carica e il processo inverso durante la scarica. Le batterie utilizzate nei BESS sono progettate per essere caricate e scaricate più volte senza compromettere in modo significativo le loro prestazioni. Ciò significa che il sistema può essere utilizzato in cicli regolari di carica e scarica senza una significativa perdita di efficienza. Per quanto riguarda la fonte di ricarica delle batterie, queste possono essere alimentate con l'elettricità in eccesso generata da impianti eolici o fotovoltaici durante i periodi di alta produzione di energia. In alternativa, possono essere caricate dalla rete elettrica nei periodi di bassa domanda, contribuendo a bilanciare il carico sulla rete. [11]

Vantaggi del sistema di accumulo di energia a batteria

La gestione della fornitura di energia da fonti solari ed eoliche, soggetta a fluttuazioni dovute a variabili meteorologiche, eventi di blackout o fattori geopolitici, richiede una soluzione affidabile per garantire la continuità e la stabilità della fornitura energetica. In questo contesto, quindi, i sistemi di accumulo a batteria emergono come un componente essenziale. I vantaggi distinti associati a tali sistemi sono esaminati di seguito [11] [12]:

- **Impatto ambientale positivo:** i sistemi di accumulo a batteria sono una componente essenziale per ridurre l'inquinamento, soprattutto se implementati in aziende o abitazioni alimentate da fonti rinnovabili. Rappresentano un elemento chiave per mitigare gli impatti associati al riscaldamento globale.
- **Costi energetici ridotti:** l'accumulo di energia a basso costo da utilizzare durante i periodi di picco, quando le tariffe elettriche sono più alte, ottimizza il consumo e, di conseguenza, consente un notevole risparmio economico. Questo vantaggio è ulteriormente amplificato se integrato con l'energia solare, che è intrinsecamente gratuita.
- **Indipendenza energetica:** i sistemi di accumulo a batteria garantiscono un flusso continuo di energia, riducendo la dipendenza dalla rete elettrica e attenuando l'impatto delle instabilità causate da picchi di domanda o da condizioni meteorologiche estreme.

- **Fornitura costante:** considerando la variazione dell'irradiazione solare, i sistemi di accumulo a batteria funzionano in modo continuo, bilanciando le fluttuazioni della fornitura di energia solare attraverso l'accumulo nei periodi di abbondanza.
- **Resilienza operativa:** i sistemi di accumulo a batteria forniscono un sistema di backup essenziale durante le interruzioni di corrente, garantendo la continuità delle operazioni di produzione, aspetto particolarmente importante per le aziende.

A questo punto, è ragionevole affermare che le batterie dei veicoli elettrici non solo fungono da sistemi di accumulo energetico, ma contribuiscono attivamente alla gestione dinamica della domanda e dell'offerta, contribuendo in modo significativo a potenziare la resilienza dell'intero sistema energetico. Si delinea chiaramente, una sinergia tra la tecnica di stoccaggio e la flessibilità energetica. Un passaggio ulteriore è rappresentato dal V2G. Tale tecnologia, che verrà approfondita nella sezione dedicata, consente alle batterie dei veicoli elettrici non solo di accumulare energia, ma anche di interagire attivamente con la rete elettrica. In pratica, le batterie dei veicoli possono essere utilizzate per immagazzinare e, in alcuni casi, restituire energia alla rete, fornendo una risorsa flessibile e dinamica. Si può ora procedere con un'analisi più approfondita della flessibilità nell'elettromobilità e della sua connessione con la tecnologia V2G.

2.3 Flessibilità nell'elettromobilità

I veicoli elettrici, in quanto mezzi di trasporto a zero emissioni, stanno guadagnando crescente popolarità come risposta alla sempre più urgente crisi energetica e all'inquinamento ambientale. La transizione verso fonti energetiche più sostenibili è oggi più impellente che mai, e l'*eMobility* sta emergendo come un settore di notevole rilevanza economica. L'abbassamento dei prezzi delle batterie, favorito dagli effetti globali di apprendimento nella produzione, costituisce un importante motore di diffusione dei veicoli elettrici. Si prevede che tali veicoli raggiungeranno presto la parità di costo con i veicoli convenzionali, considerando il costo totale di possesso. Ulteriori impulsi provengono da miglioramenti tecnologici, come l'aumento della durata e della densità energetica, consentendo percorrenze più estese, e dalle politiche che incentivano i produttori automobilistici a sviluppare un portafoglio di veicoli elettrici. Tuttavia, l'ampia adozione di veicoli elettrici potrebbe comportare sfide per il sistema elettrico, specialmente in caso di ricarica non coordinata durante i periodi di picco della domanda. Questo potrebbe causare sovraccarichi locali nelle reti di distribuzione, rendendo necessaria ulteriore generazione di elettricità. In risposta a tali sfide, si introduce il concetto di *e-mobility/EV flexibility* ovvero la

flessibilità nell'elettrificazione della mobilità, che sottolinea la necessità di adattare e coordinare la ricarica dei veicoli elettrici per affrontare le mutevoli richieste e condizioni nel sistema di trasporto. La flessibilità dell'e-mobility si configura così come un elemento cruciale nello sviluppo di un trasporto sostenibile, permettendo un utilizzo efficiente ed efficace dei veicoli elettrici e contribuendo attivamente alla transizione verso un'economia a basse emissioni di carbonio. I veicoli elettrici, rappresentano una componente fondamentale del panorama energetico in evoluzione, influenzano significativamente la domanda di energia e le dinamiche della rete elettrica. Per acquisire una comprensione completa del concetto di *e-mobility flexibility* e del V2G, è essenziale inizialmente fornire un quadro generale della mobilità elettrica. Ciò implica la comprensione delle diverse tipologie di veicoli elettrici disponibili, nonché delle varie modalità di ricarica e dei connettori a disposizione.

2.3.1 Panoramica sulla mobilità elettrica

Per implementare con successo il sistema V2G, è fondamentale disporre di veicoli elettrici sufficientemente flessibili da adattarsi a tale sistema. Essi sono composti da un motore elettrico utilizzato per la propulsione e da batterie destinate allo stoccaggio di energia. In realtà, esistono diverse tipologie di veicoli elettrici e ognuno di essi presenta una configurazione elettrica, una struttura e delle caratteristiche specifiche. Nella figura sottostante sono rappresentate le diverse categorie confrontate con il veicolo tradizionale.

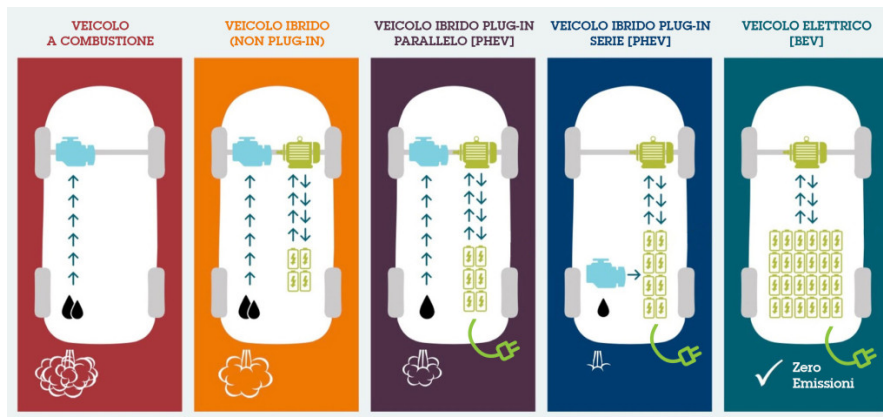


Figura 2.4: Differenti categorie di veicoli elettrici

Si procede ora con l'esplorazione delle diverse caratteristiche associate ai veicoli elettrici.

1. Veicoli elettrici a batteria (BEV)

I BEV differiscono dagli altri due perché utilizzano un motore elettrico alimentato da batteria piuttosto che un motore a combustione interna. L'alta efficienza operativa, l'assenza di emissioni durante l'uso e la possibilità di ricaricarli a basso costo durante la notte sono alcuni dei loro vantaggi. Tuttavia, nonostante questi vantaggi, i BEV devono affrontare alcune problematiche importanti. Queste includono un costo maggiore dell'elettricità, un'autonomia limitata, un tempo di ricarica più lungo e un costo iniziale più alto rispetto ai veicoli tradizionali. Oltre a tali criticità, l'aumento del numero di veicoli elettrici sulle strade suscita preoccupazione. Infatti, la loro ampia diffusione potrebbe portare ad una concentrazione in alcune aree, aumentando il rischio di sovraccarichi nei trasformatori locali e problemi di surriscaldamento. Un modo per mitigare questo problema, potrebbe essere l'adozione della tecnologia V2G.

2. Veicoli elettrici plug-in (PHEV)

Il termine "PHEV", che significa "Veicolo Elettrico Ibrido Plug-in", si riferisce a veicoli che combinano due tecnologie diverse di propulsione. Di conseguenza, questi veicoli hanno due motori, uno elettrico e l'altro, tipicamente a benzina o diesel, alimentati rispettivamente da una batteria di trazione e da un serbatoio di carburante. La versatilità del motore è una caratteristica comune di questo tipo di auto: può essere utilizzato sia come componente autonomo che come supporto del motore meccanico per aumentare la capacità di spinta. In effetti, la modalità di alimentazione può cambiare da elettrica a carburante e viceversa in base al segmento di percorso. Inoltre, se lo stato di ricarica della batteria scende al di sotto del livello previsto, la modalità verrà trasferita al motore a combustione interna. Inoltre, a differenza dell'ibrido puro, il veicolo ibrido ricaricabile deve essere collegato ad una presa di corrente.

3. Veicoli elettrici ibridi (HEV)

Anche in questo caso, le auto sono mosse dall'interazione tra due motori: un motore a combustione interna e un motore elettrico con una batteria che funge da sistema di stoccaggio dell'energia. Tali veicoli, a causa della loro configurazione non sono generalmente considerati ideali per la tecnologia V2G.

Il mercato dei veicoli elettrici

Secondo il Global Outlook 2023 [13], le vendite di auto elettriche (sia BEV che PHEV) nel 2022 hanno superato la cifra di 10 milioni, registrando un aumento del 55% rispetto al 2021. Negli ultimi cinque anni, dal 2017 al 2022, le vendite dei veicoli elettrici sono passate da circa 1 milione a oltre 10 milioni. In precedenza, dal 2012 al 2017, le vendite di veicoli elettrici sono passate da 100 mila a 1 milione,

evidenziando la natura esponenziale della crescita delle vendite di tali veicoli. Nel 2022, si sono registrate oltre 26 milioni di auto elettriche in circolazione, con un aumento del 60% rispetto al 2021 e più di 5 volte lo stock nel 2018.

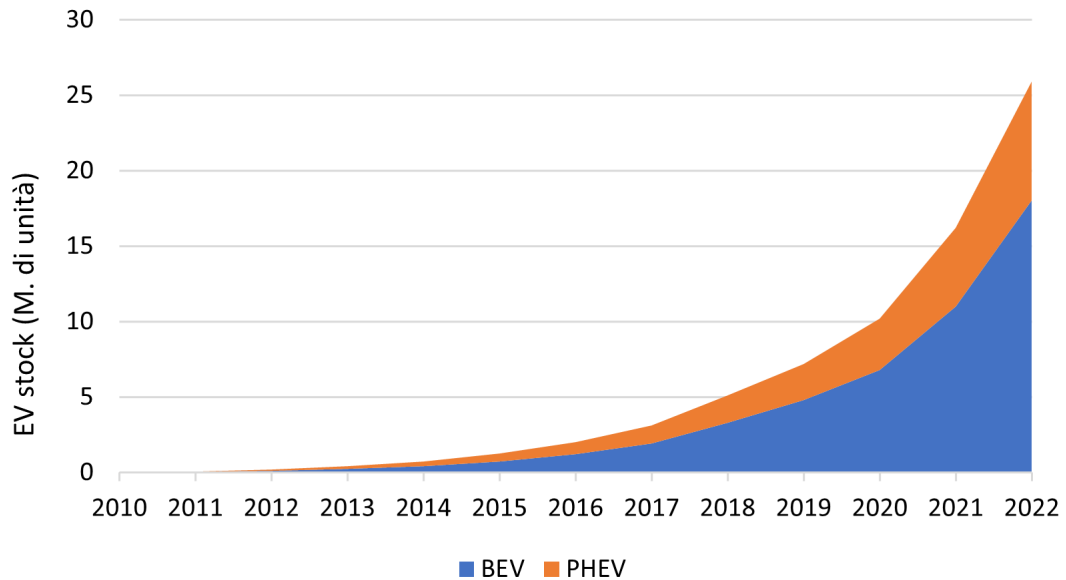


Figura 2.5: EV stock, veicoli elettrici, contesto globale, 2010-2022

Relativamente al mercato europeo, le vendite di auto elettriche in questo continente, nel 2022 sono aumentate del 15% rispetto al 2021, raggiungendo 2,7 milioni di unità. L'Europa ha comunque rappresentato il 10% della crescita globale delle vendite di auto elettriche, anche se tale crescita è stata più lenta rispetto agli anni precedenti, con una crescita media del 65% nel 2021 e del 40% nel periodo 2017-2019. Le vendite di PHEV sono diminuite del 3% nel 2022, mentre le vendite di BEV sono aumentate del 30%. Le vendite di auto elettriche sono in costante aumento, nonostante la contrazione complessiva del mercato automobilistico europeo del 3% nel 2022. La straordinaria crescita delle vendite di auto elettriche nel 2020 e nel 2021, quando i produttori si sono adattati alle normative sulle emissioni di CO_2 stabilite nel 2019, è in parte responsabile di questo rallentamento. La concorrenza tra i veicoli elettrici e le auto a motore a combustione interna (ICE) sarà influenzata in modo misto dall'aumento dei prezzi dell'energia nel 2022. Nonostante ciò, l'Europa continua ad essere il **secondo mercato mondiale** per le auto elettriche, costituendo il 30% delle vendite globali e il 25% delle vendite totali globali. Paesi come la Norvegia, la Svezia, i Paesi Bassi, la Germania, il Regno Unito e la Francia hanno il maggior numero di vendite di auto elettriche, che è aumentata del 21%. La Germania è il primo in termini di volume.

Prospettive di diffusione

L'agenzia internazionale dell'energia mira all'analisi dell'elettrificazione nel settore del trasporto su strada e dei relativi impatti. Tale approfondimento adotta una metodologia basata su due differenti scenari, i quali trovano fondamento nei dati di mercato più recenti, nei fattori politici e nelle prospettive tecnologiche emergenti. Questi due scenari sono distinti come segue:

1. **Scenari delle Politiche Dichiarate (STEPS)**: questo scenario si configura quale riflesso delle attuali politiche, misure e ambizioni promulgate dai governi globali inerenti ai veicoli elettrici. Esso si propone di mettere in evidenza le tendenze di mercato e gli impatti attesi degli sviluppi tecnologici. L'approccio di STEPS funge da specchio dei piani adottati dai decisori politici, delineando le conseguenze derivanti dalle attuali regolamentazioni e investimenti.

2. **Scenari degli Impegni Annunciati (APS)**: questo scenario ipotizza il pieno conseguimento di tutti gli obiettivi dichiarati dai governi a livello mondiale, anche in assenza di regolamentazioni specifiche. Esso contempla annunci di rilievo relativi a obiettivi di elettrificazione ed emissioni nette zero, indipendentemente dall'effettiva implementazione legislativa.

La disparità tra APS e STEPS mette in evidenza il concetto di "divario di attuazione", rappresentando la distanza tra i quadri politici dichiarati e le misure necessarie per raggiungere gli obiettivi nazionali, rispetto alle politiche e alle misure effettivamente promulgate. Dal riferimento [14], nelle rispettive sezioni *Projected* e *EV sales*, è possibile esaminare le previsioni di vendita di veicoli elettrici fino al 2030 nei due scenari STEPS e APS.

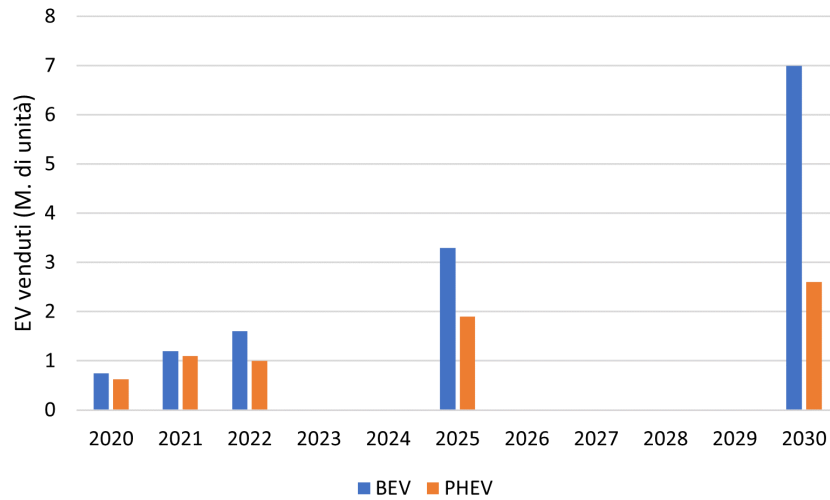


Figura 2.6: Vendite di EV, autovetture, Europa, STEPS scenario 2020-2030

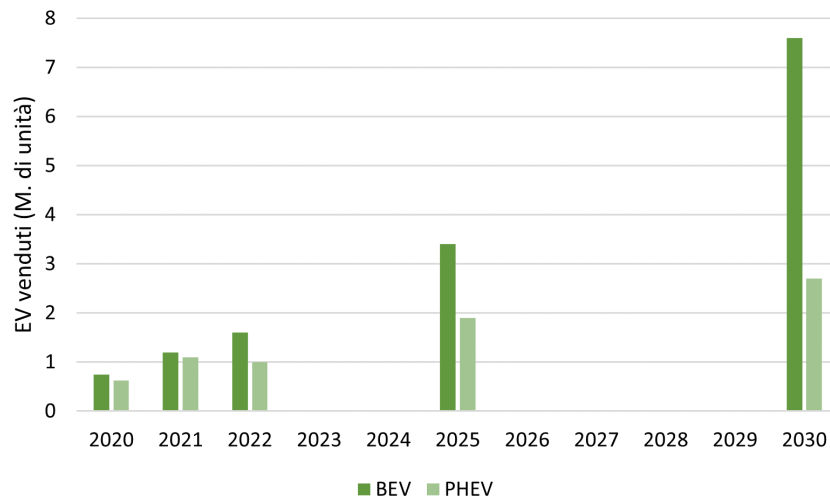


Figura 2.7: Vendite di EV, autovetture, Europa, APS scenario 2020-2030

I due diagrammi sono stati generati attraverso l'utilizzo di *Microsoft Excel*, impiegando i dati estratti dalla fonte citata. Le analisi che emergono sono le seguenti:

- **Scenario APS:**

Nel 2025 si prospetta una vendita di veicoli elettrici a batteria pari a 3.4 milioni, accompagnata da un numero di veicoli ibridi plug-in stimato a 1.9

milioni. L'orizzonte temporale del 2030 prevede un netto incremento nelle vendite, con una proiezione di 7.6 milioni di veicoli BEV e 2.7 milioni di PHEV.

- **Scenario STEPS:**

In contrasto, tale scenario presenta cifre leggermente inferiori, indicando la presunta vendita di 3.3 milioni di veicoli BEV nel 2025. La differenza si accentua ulteriormente nel 2030, con una stima di "solamente" 7 milioni di BEV e 2.6 milioni di PHEV.

La distinzione tra i due scenari emerge chiaramente dall'analisi dei dati presentati. Tale discrepanza può derivare da varie variabili, come ad esempio le politiche di incentivazione, lo sviluppo dell'infrastruttura di ricarica, i progressi tecnologici e altri fattori che incidono sulle prospettive di adozione dei veicoli elettrici. È fondamentale notare che queste previsioni sono soggette a modifiche in base all'evolversi delle condizioni del mercato e delle dinamiche socio-economiche.

Infrastrutture di ricarica

Per agevolare una maggiore diffusione dei veicoli elettrici è fondamentale affrontare le varie sfide che si presentano nel processo di accettazione del mercato dei veicoli elettrici. Tra queste sfide, è particolarmente evidente la preoccupazione dei potenziali acquirenti riguardo la possibilità di ricaricare la batteria durante i viaggi, soprattutto in mancanza di infrastrutture. Infatti, l'idea che ci sia una carenza di infrastrutture di ricarica crea un certo grado di ansia. Per aiutare i veicoli elettrici a diventare sempre più apprezzati e diffusi, è fondamentale da un lato risolvere le sfide, tra cui i problemi di autonomia, e fornire, al contempo, soluzioni pratiche per la standardizzazione dei connettori. In effetti, l'uniformità degli standard dei connettori, la disponibilità e la varietà delle modalità di ricarica sono tutti fattori importanti per garantire una transizione facile verso la mobilità elettrica. In accordo con [15] esistono tre categorie principali di infrastrutture di ricarica:

- Privati
- Pubblici
- Semi-pubblici

I punti di ricarica privati/domestici si trovano principalmente nelle abitazioni; i punti di ricarica pubblici sono generalmente situati lungo le strade o nei parcheggi, mentre gli ultimi, i semi-pubblici, sono una combinazione di questi due. Esistono quattro modalità di ricarica principali che descrivono le caratteristiche generali dei diversi tipi di ricarica per il veicolo elettrico.

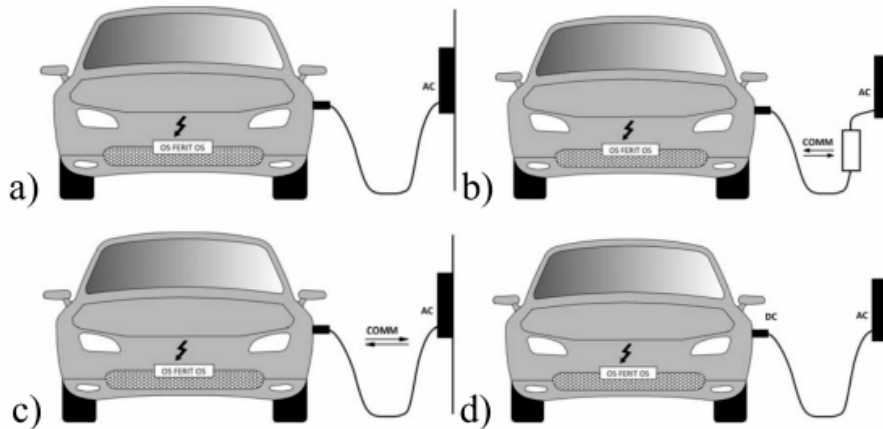


Figura 2.8: a) modalità di ricarica 1, b) modalità di ricarica 2, c) modalità di ricarica 3, d) modalità di ricarica 4

1. **Modalità 1:** utilizzato principalmente per la ricarica di veicoli leggeri, in cui il collegamento tra il veicolo e il sistema elettrico è progettato con una presa di corrente convenzionale, senza specifici sistemi di sicurezza. Per le auto elettriche questa modalità è consentita in Italia solo per la ricarica privata mentre è proibita nelle aree pubbliche. È soggetta a restrizioni anche in Svizzera, Danimarca, Norvegia, Francia e Germania, mentre negli Stati Uniti è totalmente vietata. Questa modalità è denominata *ricarica lenta*, la potenza varia da 2 kW a 3,7 kW e la corrente di carica varia da 10 a 16 A. Pertanto, è destinata ai punti di ricarica privati, come le case o i luoghi in cui si prevede di lasciare il veicolo per un periodo di carica più lungo (dalle 4 alle 8 ore).
2. **Modalità 2:** questa configurazione, a differenza della modalità 1, prevede l'installazione di un sistema di sicurezza specifico tra il punto di connessione alla rete elettrica e l'auto in fase di ricarica. Questa modalità, che funziona su corrente alternata (CA), è ideale per uso domestico perché offre una ricarica più lenta con tempi di ricarica di 2 a 4 ore. È compatibile con prese sia domestiche che commerciali. Tuttavia, ci sono limitazioni in alcuni paesi, come Stati Uniti, Canada, Svizzera, Danimarca, Francia e Norvegia. In Italia, invece, è trattata analogamente alla modalità 1.
3. **Modalità 3:** in questa modalità, il veicolo viene caricato tramite un sistema di alimentazione che è sempre collegato alla rete elettrica. Presenta una modalità di ricarica semi-veloce e veloce con un tempo di ricarica compreso tra 1-2 ore. In Italia è l'unico modo consentito per caricare l'auto in ambienti pubblici in corrente alternata.

4. **Modalità 4:** le stazioni di ricarica che sono collegate alla rete pubblica possono caricare direttamente le batterie dei veicoli elettrici utilizzando un caricabatterie AC/DC installato all'interno. I punti di ricarica di questa modalità, comunemente presenti in luoghi pubblici, autostrade e stazioni di servizio, sono spesso più grandi dei punti di ricarica normali perché hanno un convertitore che trasforma la corrente da alternata a continua prima di veicolare il flusso nel cavo di ricarica dell'auto elettrica. Esistono standard europei e giapponesi, conosciuti rispettivamente come CHAdeMO e CCS Combo, per facilitare questa modalità di ricarica.

È essenziale notare che il tipo di corrente elettrica utilizzata (corrente alternata o continua) è strettamente correlato ai diversi standard di connettori.

Connettori

Il veicolo è collegato all'infrastruttura di ricarica attraverso una serie di connettori. Una delle principali sfide che impediscono alle prese di raggiungere l'economia di scala è la mancanza di standardizzazione. In altre parole, il connettore utilizzato nella modalità monofase non è lo stesso utilizzato nella modalità trifase. Pertanto, si hanno una varietà di connettori standardizzati per ogni modalità di ricarica. Per la ricarica dei veicoli elettrici in corrente alternata AC (modalità 2 e modalità 3) sono previste quattro tipologie di connettori: Tipo1, Tipo 2, Tipo 3A e Tipo 3C.

- Il TIPO 1: monofase, 2 contatti pilota, max 32A 230V (7,4 kW), si trova solo sul veicolo (standard giapponese e americano).
- Il TIPO 2: mono/trifase, 2 contatti pilota, max 32A (63A), 230/400V, si trova sia sui veicoli, sia sui punti di ricarica.
- Il TIPO 3A, monofase, 1 contatto pilota, max 16A, 230V, è utilizzato solo per i veicoli leggeri (scooter e quadricicli) e il TIPO 3C (ormai in disuso).

Per la modalità 4, come già menzionato precedentemente, sono previsti due standard: CHAdeMO e CCS COMBO2. Il più popolare standard globale per la ricarica veloce in corrente continua (DC) è CHAdeMO. È utilizzato e diffuso da alcuni anni sui veicoli Nissan, Mitsubishi, Peugeot e Citroen. Di conseguenza, i veicoli che adottano questo standard hanno due connettori:

- CHAdeMO per ricariche DC rapide
- Connettore per la ricarica in AC (di solito Tipo 1)

Lo standard CCS (Combined Charging System) consente la ricarica rapida in corrente continua (DC) e la ricarica lenta in corrente alternata (AC). Il sistema è

noto come Combo2. Questo sistema è oggi adottato da alcune case automobilistiche europee (ad esempio BMW e Volkswagen).

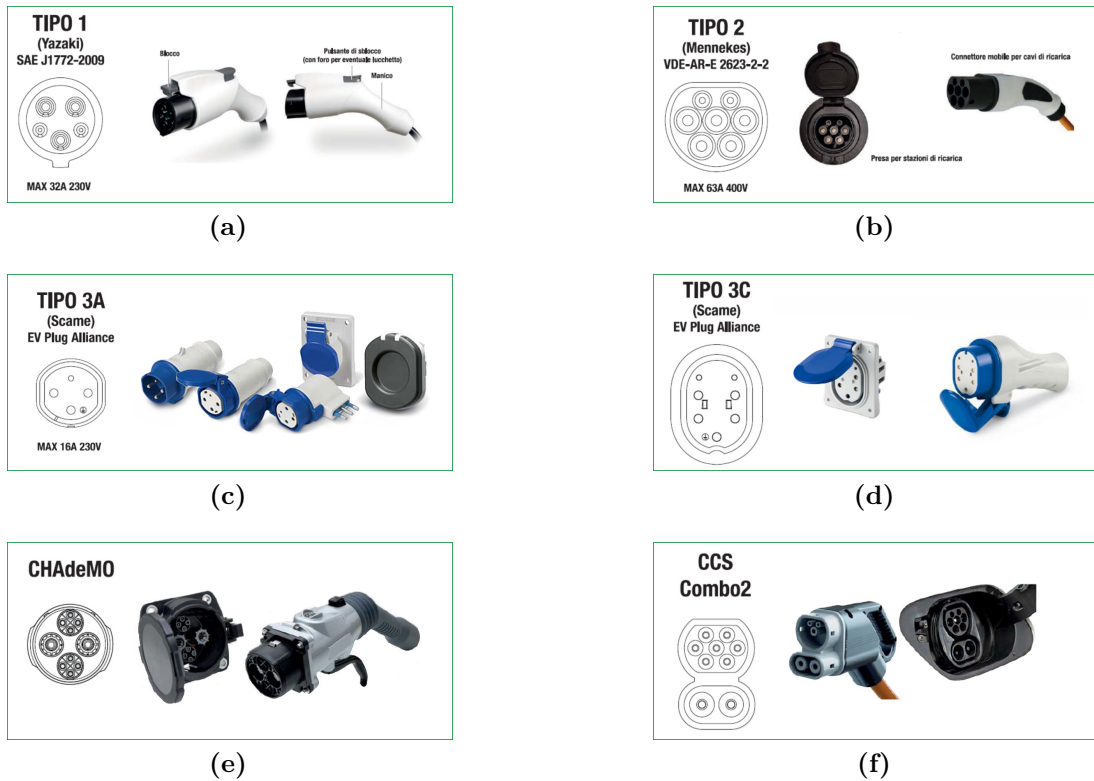


Figura 2.9: Differenti tipologie di connettori

Mercato delle infrastrutture di ricarica

L'adozione crescente dei veicoli elettrici, secondo [13], richiede un aumento della disponibilità di stazioni di ricarica pubbliche per garantire la stessa comodità della ricarica dei veicoli convenzionali. Anche se la maggior parte delle ricariche avviene ancora a livello domestico, l'infrastruttura pubblica diventa fondamentale, in particolare nelle aree urbane densamente popolate dove c'è un accesso limitato alla ricarica domestica. Il numero di punti di ricarica pubblici in tutto il mondo ha raggiunto i 2,7 milioni nel 2022, un aumento del 55% rispetto al 2021. A livello globale, sono stati installati più di 600.000 punti di ricarica lenti pubblici nel 2022, di cui 360.000 in Cina, portando il totale dei caricabatterie lenti nel paese a oltre 1 milione. La crescita è del 50% in Europa, con i Paesi Bassi in testa, seguiti da Francia e Germania. Relativamente ai caricabatterie veloci, la

Germania, la Francia e la Norvegia sono i paesi in cui si evidenzia il numero più alto.

In previsione dell'aumento delle vendite di veicoli elettrici, l'implementazione di un'infrastruttura pubblica di ricarica è fondamentale per aumentare l'adozione di questi veicoli. Una risposta adeguata alla domanda di ricarica attraverso un'infrastruttura accessibile e conveniente, che comprenda sia stazioni di ricarica private nelle case o nei luoghi di lavoro che stazioni di ricarica pubblicamente accessibili, è essenziale per sostenere la crescita delle vendite di veicoli elettrici.

2.4 Trend emergenti

Finora, l'analisi si è concentrata sulle attuali dinamiche del settore energetico, includendo concetti importanti come la risposta alla domanda, la generazione distribuita e lo stoccaggio di energia. Successivamente, è stato esplorato il panorama della mobilità elettrica, con particolare enfasi sulla tecnologia dei veicoli elettrici e delle infrastrutture di ricarica, con i loro rispettivi mercati. Da come menzionato nelle sezioni precedenti, con l'introduzione dei veicoli elettrici, le loro batterie assumono un duplice ruolo: non solo come mezzi di trasporto a zero emissioni, ma anche come risorse versatili per il sistema energetico. Di conseguenza, i veicoli elettrici diventano attori attivi nella gestione dinamica della rete oltre ad essere solo utenti passivi dell'energia. L'ultimo, ma non meno significativo, passo di questa indagine consiste nell'esplorare le tecnologie emergenti. In questa sezione, l'analisi si focalizzerà specificamente sulla ricarica intelligente e sul concetto di Vehicle to Grid. Quest'ultimo rappresenta un ambito cruciale in cui le dinamiche di interazione tra veicoli elettrici e la rete energetica si stanno evolvendo, con conseguenze rilevanti per il panorama energetico globale. La discussione in questa fase prevede un'espansione dettagliata delle potenzialità e delle sfide connesse a queste tecnologie emergenti, delineando così un quadro completo delle direzioni che la flessibilità energetica può intraprendere nel futuro.

2.4.1 Ricarica intelligente

La ricarica intelligente [16] rappresenta un approccio avanzato alla ricarica dei veicoli elettrici, che sfrutta tecnologie digitali e gestione avanzata dell'energia per ottimizzare l'efficienza complessiva e massimizzare i benefici sia per gli utenti che per la rete elettrica. Il principio fondamentale alla base di questo sistema è la capacità di adattarsi alle condizioni della rete elettrica. Esso analizza i momenti caratterizzati da una minore richiesta energetica, pianificando di conseguenza la ricarica dei veicoli durante tali fasi al fine di minimizzare i costi e ottimizzare l'efficienza complessiva. In aggiunta, la ricarica intelligente può integrare la produzione di energia rinnovabile. Quando la rete dispone di una maggiore quantità di energia pulita, come durante

le ore di picco della produzione solare o eolica, il sistema può programmare la ricarica dei veicoli elettrici, contribuendo così a ridurre ulteriormente l'impatto ambientale dei veicoli elettrici e a promuovere un futuro più sostenibile. Da come si può evincere nella figura sotto inserita, le principali forme di ricarica intelligente sono V1G, V2G, V2H and V2B.

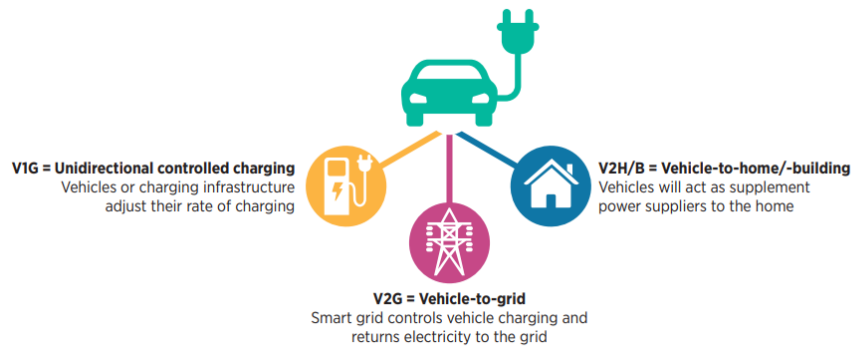


Figura 2.10: Differenti tipologie di ricarica intelligente

Si vanno ora ad esplorare le differenze tra queste tecnologie:

- **V1G (Ricarica intelligente unidirezionale)**

Tale concetto rappresenta un esempio di ricarica intelligente nella sua forma più basilare, caratterizzata da una connessione unidirezionale. L'attributo *intelligente* si riferisce alla capacità dei veicoli elettrici di regolare dinamicamente i tassi e i tempi di ricarica sfruttando una connessione stabilita tra il veicolo stesso e la stazione di ricarica. Questa metodologia presenta notevoli vantaggi, tra cui la riduzione dei costi di ricarica, una procedura di ricarica più sicura mediante il monitoraggio accurato del consumo di elettricità, l'ottimizzazione del tempo di ricarica e una localizzazione agevole delle stazioni di ricarica. In aggiunta, il sistema V1G potrebbe assistere i conducenti dei veicoli elettrici nella decisione di quando effettuare la ricarica, basandosi su criteri di convenienza economica e ambientale, utilizzando dati provenienti dal mercato dell'elettricità e dal sistema. L'integrazione di tecnologie di apprendimento automatico consente una comunicazione più efficiente tra i veicoli e le stazioni di ricarica, offrendo ai conducenti un accesso agevole a dettagliati resoconti sull'utilizzo dell'elettricità. Questi benefici rendono il V1G una soluzione promettente nel contesto della ricarica intelligente e della gestione flessibile dell'energia.

- **V2G (Vehicle to Grid)**

Il termine si riferisce all'impiego dei veicoli elettrici come risorse di accumulo

energetico distribuito. In un sistema V2G, i veicoli elettrici possono essere collegati alla rete per il caricamento, noto come Grid-to-Vehicle (G2V), e sfruttati per immagazzinare l'elettricità in eccesso durante i periodi di bassa domanda. Successivamente, possono scaricare l'energia accumulata nella rete durante i picchi di domanda, noto come V2G. Questo processo contribuisce al bilanciamento della domanda e dell'offerta di elettricità sulla rete, migliorando così l'affidabilità e la stabilità del sistema elettrico. Quando la rete non richiede energia supplementare, i veicoli elettrici possono essere impiegati per immagazzinare energia destinata a utilizzi futuri.

- **V2B/V2H (Vehicle-to-Building, Vehicle-to-Home)**

Il concetto V2B/V2H rappresenta un'estensione del concetto di Vehicle to Grid. In questo caso, la connessione bidirezionale tra il veicolo elettrico e l'edificio o la casa consente non solo la fornitura di energia alla rete ma anche l'utilizzo dell'energia immagazzinata nel veicolo per alimentare l'edificio o la casa stessa. Essenzialmente, il veicolo elettrico viene impiegato come fonte di alimentazione di emergenza residenziale durante interruzioni di corrente o per aumentare l'autoconsumo di energia prodotta localmente, evitando sovraccarichi nella richiesta energetica.

Il documento [16] espone la differenza tra la V1G unidirezionale e la V2G bidirezionale, la quale è chiaramente rappresentata nella figura sottostante. Nella V1G, il conducente, l'host del sito di ricarica o l'aggregatore possono ricevere ricompense solo per regolare la velocità di ricarica rispetto alla potenza iniziale. Ad esempio nella figura si assume una potenza iniziale di 3kW. Si osservi come questo approccio sia di tipo unidirezionale, con l'energia che fluisce solo dalla rete al veicolo. Dall'altra parte, nella V2G, i veicoli, come è stato già anticipato, hanno la capacità di caricare e scaricare elettricità verso e dalla rete. È bene specificare che le dimensioni delle offerte per i servizi di rete dipendono dalle capacità del veicolo e dai requisiti del mercato specifico.

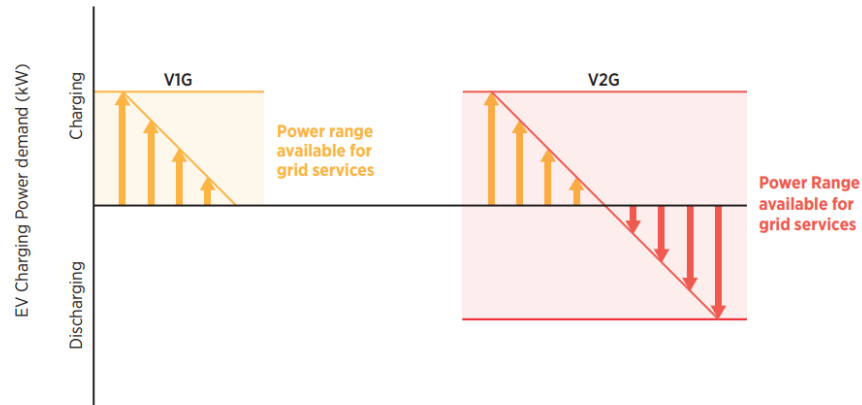


Figura 2.11: Esempio di fornitura di servizi di rete unidirezionale (V1G) rispetto a bidirezionale (V2G)

L'analisi si concentra ora esclusivamente sulla tecnologia V2G, la quale, contrariamente alle soluzioni più mature di V1G, non è ancora ampiamente diffusa sul mercato, rappresentando, pertanto, una tecnologia emergente.

2.4.2 Vehicle to Grid

L'illustrazione sottolinea come i veicoli elettrici e la rete elettrica sono collegati tra loro. L'elettricità prodotta dai generatori, sia da fonti rinnovabili che da centrali tradizionali, viene distribuita alla rete elettrica per raggiungere gli utenti finali e alimentare le auto elettriche. Inoltre, gli stessi veicoli elettrici possono riversare la stessa energia nella rete quando la rete ne ha bisogno. La tecnologia V2G consente questo flusso di energia in entrambe le direzioni. Gli operatori di sistema indipendenti (ISO) gestiscono la comunicazione tramite la rete cellulare o la connessione internet diretta. Un aggregatore gestisce questa comunicazione e può comunicare, contemporaneamente con più veicoli o direttamente con il singolo proprietario di un veicolo, per gestire il flusso energetico.

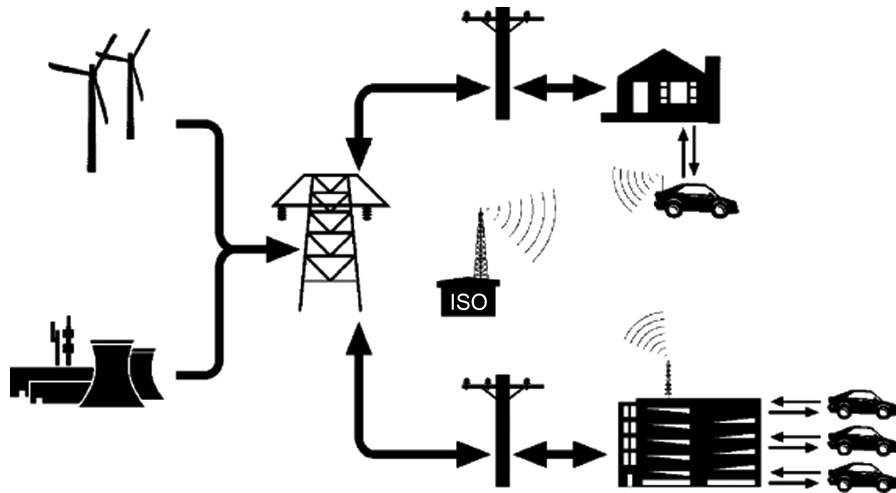


Figura 2.12: Schema illustrativo della connessione tra i veicoli elettrici e la rete elettrica [17]

Il report [18] espone i benefici e le sfide derivanti dall'implementazione di tale tecnologia. Per quanto riguarda i vantaggi, possono essere enumerati nei seguenti termini:

1. Il V2G si configura come un elemento chiave per ridurre la dipendenza dalle centrali elettriche tradizionali alimentate da combustibili fossili. Questa riduzione della dipendenza, a sua volta, svolge un ruolo cruciale nella diminuzione delle emissioni di gas serra, contribuendo efficacemente alla lotta contro il cambiamento climatico.
2. Il V2G attraverso il bilanciamento della domanda e l'ottimizzazione dell'utilizzo dell'elettricità, consente di appianare i picchi di domanda, consentendo alle utility (società quotate in borsa che lavorano nel settore dell'energia e dell'elettricità) di massimizzare l'efficienza energetica.
3. Il V2G facilita l'integrazione delle fonti rinnovabili, come l'eolico il solare, nel sistema energetico.
4. Il V2G aumenta la resilienza della rete elettrica, fornendo una fonte distribuita di alimentazione d'emergenza durante le possibili interruzioni.

Le sfide possono essere suddivise in due categorie principali: *Sfide per l'adozione della tecnologia* e *Sfide per la ricarica*. L'attuale limitato numero di veicoli elettrici in circolazione e le batterie utilizzate al loro interno, le quali potrebbero essere non idonee e in grado di sopportare l'usura derivante da frequenti cicli di carica e scarica, costituiscono una restrizione al potenziale impatto del Vehicle to Grid sulla rete.

Complessivamente, mentre l'implementazione di V1G unidirezionale sembrerebbe avere un impatto limitato sul deterioramento della batteria, l'erogazione di servizi bidirezionali potrebbe comportare un significativo aumento del deterioramento della batteria. Studi dimostrano che fornire regolarmente servizi per ridurre i picchi energetici alla rete ogni giorno per dieci anni potrebbe causare un ulteriore deterioramento della batteria, situato tra il 5% e il 14%, a seconda del tipo di caricatore impiegato. In scenari più estremi, il deterioramento totale della batteria potrebbe superare il 45% entro un decennio. Tuttavia, in contesti più realistici in cui i servizi V2G vengono erogati solo nei giorni in cui la rete ne ha maggiormente bisogno, il deterioramento aggiuntivo della batteria risulta essere minimo. Qualora la tecnologia bidirezionale determinasse un degrado accelerato delle batterie, risulta necessario valutare gli impatti ambientali derivanti dalla prematura sostituzione delle stesse. Tali impatti includono le emissioni di gas serra, unitamente ad altri costi quali la tossicità umana, la tossicità ecologica e l'esaurimento dei materiali. Per quanto concerne la sfida relativa all'infrastruttura di ricarica, questa persiste poiché i conducenti si trovano ad affrontare la complessità di individuare stazioni di ricarica convenienti e ben distribuite sul territorio. Nonostante negli ultimi anni, ci sia stato un incremento del numero di stazioni, la loro dispersione potrebbe continuare a rappresentare un ostacolo. In aggiunta, il processo di ricarica, che può durare diverse ore, può risultare scomodo per i conducenti che necessitano di ricarica il veicolo in poco tempo e pertanto sono in cerca di soluzioni rapide. Inoltre, assumono rilevanza altri problemi che costituiscono delle sfide nel contesto della mobilità elettrica. Ad esempio, i costi legati all'installazione e alla manutenzione delle stazioni di ricarica contribuiscono in modo significativo all'elevato costo del servizio. Allo stesso modo, anche l'ansia da autonomia continua a influenzare negativamente la percezione dell'affidabilità dei veicoli elettrici. Infine, l'incremento nell'adozione di veicoli elettrici, potrebbe causare pressioni sulla capacità della rete elettrica, rendendo essenziali investimenti mirati per garantire l'efficacia della gestione di carico durante i periodi di picco della domanda. Da come si evince, quindi, la ricarica bidirezionale è una tecnologia immensa e con molte potenziali applicazioni future.

2.4.3 Analisi Pestel

Finora, l'analisi si è concentrata sulla definizione della nuova tecnologia V2G, analizzando i suoi vantaggi e i suoi svantaggi. Il mercato europeo per la tecnologia V2G è stato analizzato approfonditamente utilizzando il modello PESTEL. I risultati mostrano chiaramente la possibilità di creare un design di mercato specifico per le applicazioni V2G. Come accennato in precedenza, il mercato V2G si presenta estremamente difficile a causa delle complicate regole e standard del mercato. Le difficoltà sono state raggruppate in due categorie principali: quelle relative

alla ricarica e quelle relative all'adozione della tecnologia. Dunque, al fine di implementare su vasta scala i servizi V2G, l'Europa deve superare tali sfide, tra cui la mancanza di infrastrutture, le preoccupazioni riguardanti l'idoneità delle batterie e la limitata diffusione dei veicoli elettrici.

Nella figura qui di seguito, è possibile osservare graficamente l'analisi. Nel corso del 2019, per l'intera Europa, sono emerse barriere di rilievo principalmente di natura economica e tecnica, mentre le barriere di natura legislativa, politica, ambientale sono state considerate meno impattanti.

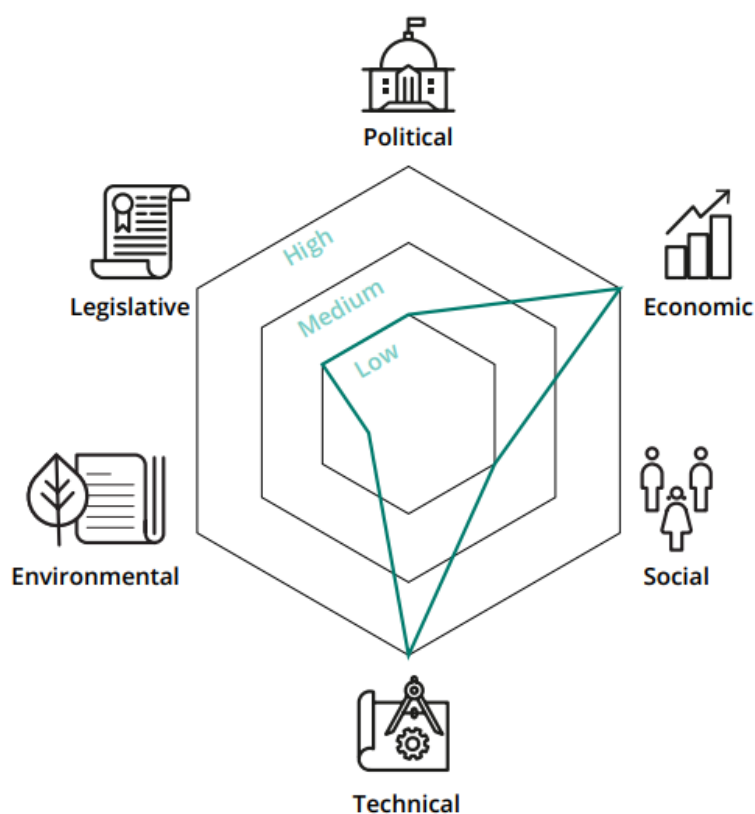


Figura 2.13: Barriere della fornitura dei servizi V2G in Europa

- **Fattori politici:** l'implementazione del V2G è un processo complesso, spesso influenzato da diverse visioni politiche, supporti governativi e sussidi. Tra le barriere politiche più gravi da superare c'è la non disponibilità di incentivi volti ad incoraggiare un aggregatore V2G a partecipare agli attuali mercati dell'elettricità. A sua volta, questa mancanza di incentivi, potrebbe causare complicazioni e potenziali conflitti d'interesse per gli attuali operatori del mercato dell'energia.

- **Fattori economici:** un aggregatore commerciale, cerca di massimizzare il suo profitto e la sua quota di mercato presentando offerte e riducendo i costi operativi. Generalmente, i fattori che influenzano l'economia dell'aggregatore sono le riforme di mercato, gli investimenti e le spese. Le regole di offerta attualmente in vigore sono inadeguate per gestire l'utilizzo economico degli aggregatori V2G su piccola scala. L'aggiornamento delle procedure di monitoraggio e misurazione richiede investimenti significativi, il che limita l'interesse dei DSO. L'aumento significativo dei prezzi dell'elettricità ha portato ad un incremento notevole dei costi di ricarica V2G. La presenza di un mercato pubblico a livello di distribuzione è fondamentale per i DSO per attuare una varietà di servizi V2G.
- **Fattori sociali:** per garantire una diffusione dei veicoli elettrici e della tecnologia V2G, è necessario tenere conto degli aspetti sociali, quali l'atteggiamento dei clienti, l'interesse e le opportunità di acquisto. La decisione per i proprietari di veicoli elettrici di adottare la tecnologia V2G è spesso influenzata da una valutazione equilibrata tra vantaggi e rischi. Se il V2G comporta l'indisponibilità del veicolo in momenti inaspettati, nessun proprietario di veicoli elettrici sarà incline ad adottarlo. Il cliente deve avere fiducia nella tecnologia perché dovrà essere certo che il sistema funzionerà in modo affidabile e lascerà l'auto sufficientemente carica quando necessario. Un buon settaggio della tecnologia V2G deve essere in grado di garantire la massima flessibilità senza compromettere l'utilità del veicolo per il conducente.
- **Fattori tecnologici:** i fattori tecnici che possono influenzare la messa in atto del V2G sono la degradazione potenziale della batteria, il processo di scarica (chiamato perdita di energia bidirezionale), la gestione della tecnologia.
- **Fattori ambientali:** la maggior parte dei clienti desidera avere un profilo ecologico e agire in modo responsabile nei confronti dell'ambiente, tuttavia, solo se è conveniente ed economico per loro. I primi adottanti (*early adopters*) sono probabilmente spinti da motivazioni ambientali ma sono solo una piccola percentuale della clientela generale.
- **Fattori legislativi:** la diffusione del V2G in Europa è vincolata da complessità legislative che influenzano direttamente la sua adozione e il suo successo. Oggigiorno non esistono ancora leggi che regolamentano i sistemi di stoccaggio energetico, allontanando così i consumatori dall'idea di adottare la tecnologia di V2G. [19]

Riassumendo a livello nazionale, si riscontrano variazioni significative nella natura e nell'entità delle barriere tra i paesi europei. Alcuni ostacoli aggiuntivi all'ampia adozione della Vehicle to Grid potrebbero includere:

- L'adozione di alternative che forniscono servizi simili, come lo stoccaggio di batterie stazionarie.
- Barriere regolamentari, mancanza di un quadro di mercato e norme internazionali, insieme alla necessità di servizi di aggregazione.
- Possibili conflitti di interesse tra Operatori di Sistema di Trasmissione (TSOs) e Operatori di Sistema di Distribuzione (DSOs).
- La limitata consapevolezza del pubblico riguardo il Vehicle to Grid.

Le politiche attuali e proposte per la decarbonizzazione del trasporto su strada e della generazione di energia in Europa avranno un impatto sul potenziale e sulla necessità dell'integrazione veicolo-rete (VGI). Con l'atteso aumento significativo del numero di veicoli elettrici e la crescita delle fonti di energia rinnovabile variabile, crescerà la richiesta di servizi di supporto alla rete. Affrontando le barriere regolamentari e i potenziali conflitti tra attori nel sistema elettrico, i responsabili delle politiche possono sviluppare un quadro normativo per superare tali ostacoli. È fondamentale implementare un adeguato quadro regolamentare per creare un mercato efficiente per i servizi V2G. Al fine di ridurre i costi di sistema e affrontare le varie problematiche connesse alla VGI, sarà necessario incrementare gli investimenti nella ricerca e nello sviluppo.

Nel capitolo a seguire, si approfondirà ulteriormente l'analisi concentrandosi sulla definizione del trend di crescita della tecnologia V2G in Europa. Questo approccio dettagliato coinvolgerà uno studio approfondito dei molteplici progetti V2G implementati nei vari paesi del continente. L'obiettivo principale sarà quello di ottenere una comprensione esaustiva delle dinamiche che caratterizzano il panorama europeo.

Capitolo 3

Analisi sui progetti pilota V2G in Europa

Nel capitolo precedente, sono state esaminate in dettaglio diverse tecnologie e fonti di flessibilità energetica, concentrandoci principalmente sull'*e-mobility flexibility* e sul ruolo cruciale che essa riveste nel panorama energetico attuale. In particolare, sono state approfondite le tecnologie legate alla ricarica intelligente e al concetto di V2G. Questo capitolo, fungendo da nucleo centrale per tale argomento, si propone l'ambizioso obiettivo di definire una prospettiva di sviluppo per comprendere se, nei prossimi anni, si assisterà a un aumento o meno del numero di progetti legati a questa tecnologia in Europa, con un conseguente aumento delle infrastrutture con ricarica bidirezionale. L'analisi svolta è stata articolata in diverse fasi al fine di garantire una valutazione completa e accurata del contesto. La prima fase di analisi ha previsto la raccolta dei dati, riguardanti il numero di progetti V2G. Il database preso in considerazione [2] analizza il panorama globale; tuttavia, in questa specifica analisi, l'attenzione è concentrata esclusivamente sul contesto europeo. Successivamente, i dati stessi sono stati analizzati in dettaglio per identificare le caratteristiche distintive dei vari progetti attualmente in corso, analizzando i principali servizi offerti, il numero di infrastrutture di ricarica V2G e gli attori principali. In seguito, un'attenzione particolare è stata rivolta all'analisi dei vari paesi europei, cercando di comprendere le differenze percentuali tra le due differenti tipologie di infrastrutture di ricarica (tradizionali ¹ e bidirezionali ²), al fine di comprendere le differenze tra i vari paesi che hanno implementato un numero variabile di progetti in tale ambito. Questo approccio ha permesso di individuare

¹Tradizionali: l'energia fluisce in modo unidirezionale, dalla infrastruttura di ricarica al veicolo.

²Bidirezionali: l'energia può fluire in due direzioni, dall'infrastruttura di ricarica al veicolo e viceversa.

eventuali disparità o convergenze nelle adozioni di progetti V2G, fornendo così un quadro più dettagliato della situazione. Infine, basandosi sui dati raccolti e sulle analisi condotte, l'obiettivo è di definire un trend futuro, offrendo una prospettiva informata e ponderata sulla possibile evoluzione della tecnologia V2G in Europa. Di conseguenza, questo capitolo non solo fornisce un'ampia panoramica delle iniziative attuali relative al Vehicle to Grid, ma si propone anche di fornire prospettive ragionevoli per il suo sviluppo nei prossimi anni.

3.1 Raccolta dati

Attualmente, nel contesto globale, sono in corso circa 131 progetti legati alla tecnologia V2G, distribuiti in 27 paesi diversi. Un'analisi dettagliata, come evidenziato nel grafico sottostante, rivela che l'Europa si distingue per la percentuale più elevata di progetti che coinvolgono questa innovativa tecnologia, seguita poi dall'America con una percentuale medio-bassa. In contrasto, l'Asia presenta la percentuale più bassa di coinvolgimento.

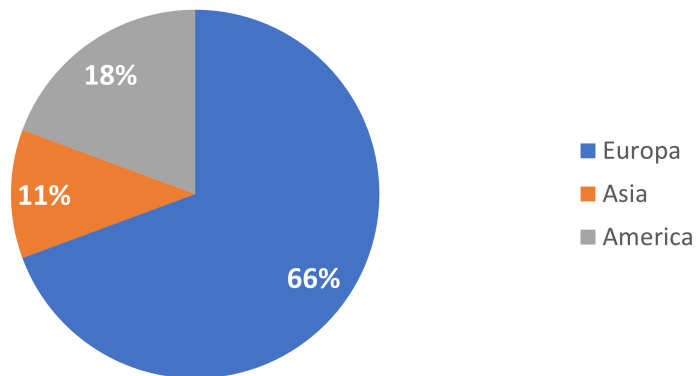


Figura 3.1: Distribuzione percentuale dei progetti V2G in diversi continenti.

Approfondendo l'analisi del contesto europeo, emerge la rappresentazione cartografica dell'Europa, evidenziando i vari paesi coinvolti nello sviluppo dei progetti V2G. In totale, sono stati identificati 14 paesi con un totale di 88 progetti in corso. Questi paesi sono categorizzati in base alla presenza o assenza di progetti, con quelli privi di iniziative colorati in grigio, mentre le nazioni con almeno un progetto sono distintamente evidenziate nelle diverse sfumature di blu. Nella figura seguente, è presente una leggenda, in basso, la quale fornisce una chiara spiegazione della codifica cromatica utilizzata, associando diversi colori in base al numero di progetti nelle varie nazioni.

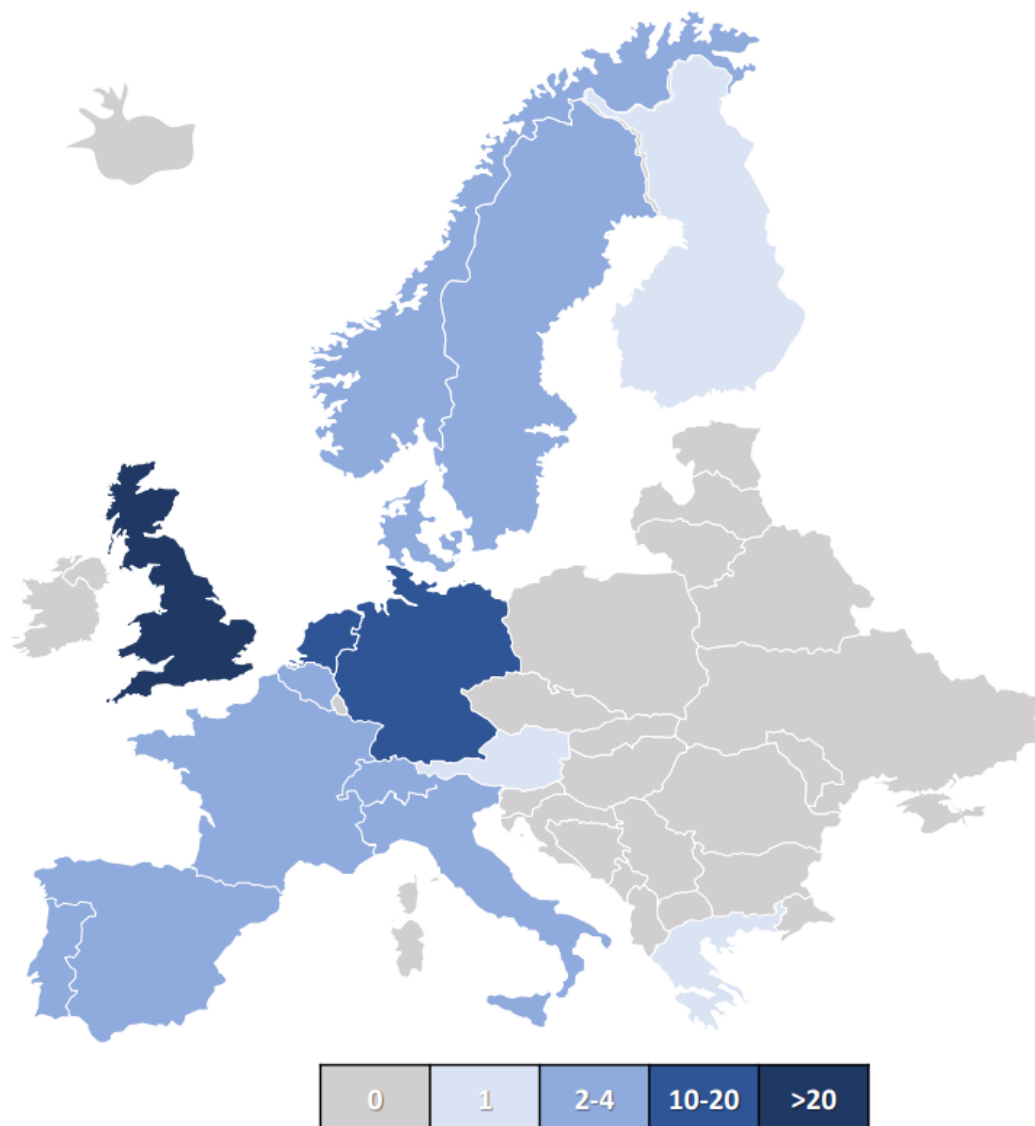


Figura 3.2: Cartografia dei progetti V2G in Europa: distribuzione quantitativa per paese

Nello specifico, la maggior parte dei paesi presenta una quantità variabile di progetti, con la maggior concentrazione che oscilla tra due e quattro iniziative. Inoltre, è interessante notare che solamente due paesi presentano un numero di progetti compreso tra 10 e 20, mentre un'unica nazione, il Regno Unito, emerge come il principale attore in termini di adozione di progetti V2G, registrando un numero superiore a 20. Questa analisi approfondita fornisce una visione chiara della distribuzione geografica e dell'intensità di coinvolgimento della tecnologia

V2G dei vari paesi europei. Questa selezione mirata ha consentito di concentrarsi esclusivamente sui progetti implementati in Europa, offrendo così un quadro più dettagliato delle dinamiche regionali. In seguito, è mostrato il numero preciso dei progetti presente in ogni paese con il numero delle infrastrutture V2G coinvolte. Successivamente, verranno mostrare le percentuali di coinvolgimento dei differenti 14 paesi nello sviluppo di questi progetti.

Tabella 3.1: Numero di infrastrutture V2G e di progetti in ogni paese europeo

Paese	Numero progetti	Numero inf. V2G
Regno Unito	28	737
Norvegia	3	7
Paesi Bassi	17	229
Germania	11	144
Italia	4	616
Danimarca	3	75
Svizzera	4	292
Austria	1	1
Spagna	4	114
Svezia	4	19
Belgio	2	62
Portogallo	3	32
Finlandia	1	1
Grecia	1	0
Francia	2	16

Dall'istogramma emerge che il Regno Unito detiene la percentuale più elevata in Europa, seguita dai Paesi Bassi e dalla Germania, con percentuali medio-alte. Al contrario, le percentuali più basse, come già evidenziato nella codifica cromatica precedentemente mostrata, si riscontrano in Grecia, Finlandia e Austria. Gli altri paesi, tra cui Portogallo, Italia, Belgio, Svezia, Spagna, Svizzera, Danimarca, Norvegia e Francia, registrano percentuali relativamente medio-basse.

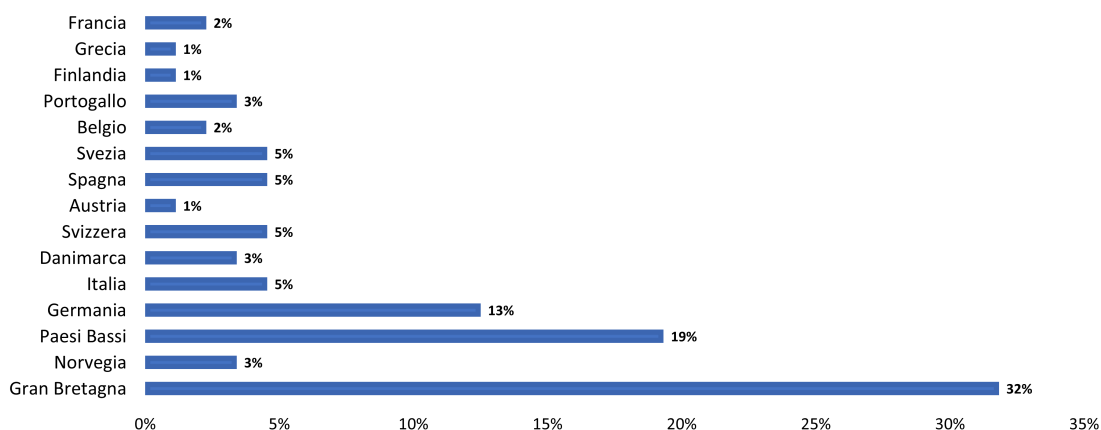


Figura 3.3: Partecipazione dei singoli paesi nell'implementazione generale dei progetti europei.

3.1.1 Caratteristiche dei progetti

Si procederà ora con l'esame delle caratteristiche più significative di tali progetti. È fondamentale ricordare che ogni progetto ha obiettivi specifici unici, ma il loro focal point si basa su tre differenti sfaccettature:

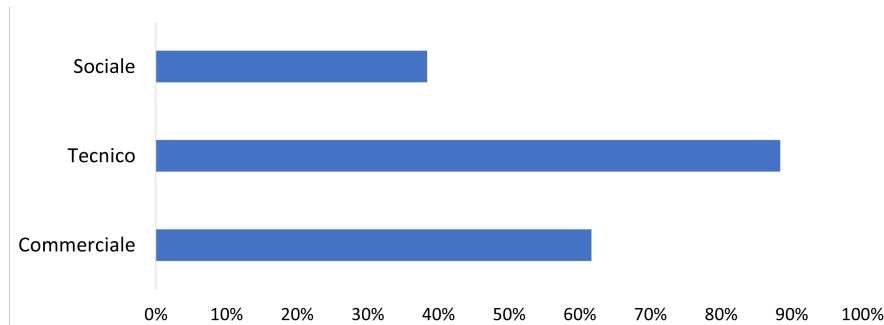


Figura 3.4: Focus dei progetti V2G europei

- **Aspetto tecnico:** considerato il più cruciale, è presente nel 88% dei progetti. Si occupa di valutare questioni come lo stoccaggio di energia rinnovabile, i servizi di rete, le batterie e la ricarica intelligente.
- **Aspetto commerciale:** rappresenta il secondo aspetto più rilevante, con una partecipazione del 62%. Questa dimensione esplora tematiche legate alla redditività e alla disponibilità economica.

- **Aspetto sociale:** spesso trascurato, compare solo nel 32% dei progetti. Valuta le attitudini, le percezioni, l'accettazione, la conoscenza e il comportamento di guida dei proprietari di veicoli elettrici, includendo anche elementi ambientali come l'inquinamento atmosferico e le emissioni di gas serra.

Ciascun progetto si distingue attraverso diversi elementi chiave, quali il suo nome identificativo, l'arco temporale compreso tra la data di inizio e quella di conclusione, il servizio specifico che è in grado di offrire e il numero di infrastrutture di ricarica dotate della tecnologia V2G. Un'ulteriore caratteristica di rilevanza è la presenza dei principali attori del settore, quali gli aggregatori, i gestori di rete (TSO/DSO) e i produttori di veicoli, ciascuno svolgendo un ruolo cruciale all'interno del contesto del progetto.

A titolo esemplificativo, di seguito è presentata una tabella relativa al paese della Danimarca, fungendo da modello per illustrare la disposizione dettagliata di tutti 88 i progetti. I progetti per ogni paese verranno poi mostrati nelle sezioni ad essi dedicate.

Tabella 3.2: Progetti V2G in Danimarca: esempio struttura e raccolta dati

Nome progetto	Arco temporale	Num. inf. V2G	Servizi
Parker	2016-2018	50	Risposta in frequenza, arbitraggio, servizi DSO
Parker Denmark	2016-2019	15	Risposta in frequenza, arbitraggio
Denmark V2G	2016-in corso	10	Servizi DSO

Riguardo ai servizi che ciascun progetto si propone di fornire, è possibile suddividerli principalmente in sei categorie distintive. È essenziale osservare attentamente la relazione tra i servizi e il numero di progetti, al fine di comprenderne la distribuzione e l'impatto nel contesto complessivo.

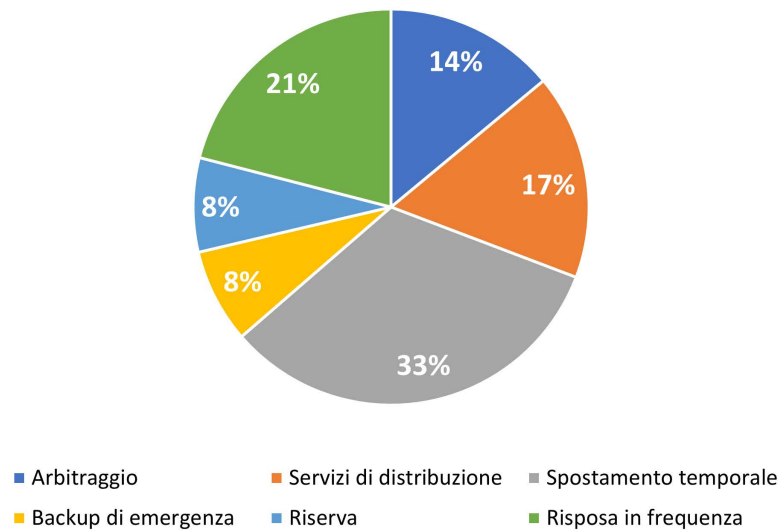


Figura 3.5: Servizi vs. Progetti

I servizi predominanti all'interno di questa categoria di progetti sono evidenti dal diagramma a torta sopra riportato. Il servizio più utilizzato è principalmente lo spostamento temporale, seguito dalla risposta in frequenza e dai servizi di distribuzione. È interessante notare che questi servizi vengono forniti spesso in combinazione piuttosto che singolarmente. In effetti, è raro che i progetti si concentrino esclusivamente su un singolo servizio. Ciò suggerisce che c'è una maggiore consapevolezza della complessità e dell'interdipendenza dei bisogni energetici, il che spinge verso soluzioni più olistiche e versatili nel settore della flessibilità dell'e-mobilità. Si procederà ora all'approfondimento delle caratteristiche dei servizi offerti.

1. **Arbitraggio:** il costo dell'elettricità nel mercato all'ingrosso presenta dei cambiamenti durante tutta la giornata, con valori tipici più alti nelle ore serali. Questa dinamica consente l'acquisizione di energia a prezzi più bassi durante il giorno e la sua successiva vendita a prezzi più alti nelle ore serali. Questa strategia di "arbitraggio" sfrutta le differenze di prezzo temporali per ottimizzare i profitti nel mercato elettrico.
2. **Servizi di distribuzione:** gli operatori del sistema di distribuzione (DSO) possiedono una varietà di apparecchi di rete, ognuno dei quali è stato specificamente progettato per svolgere determinate funzioni. Quando c'è una forte richiesta, la potenza richiesta dalle case e dalle imprese può superare la capacità della sottostazione. Quando ci si avvicina al limite della capacità, potrebbe essere necessario investire nell'infrastruttura di rete. La flessibilità

della domanda può gestire questa situazione esportando potenza (o diminuendo l'importazione) per ridurre la domanda sulla rete durante i periodi di picco e caricandosi quando è disponibile la capacità. Questo è un esempio di un servizio chiamato *gestione delle restrizioni* fornito dal DSO.

3. **Spostamento temporale:** il costo dell'elettricità durante la giornata può essere influenzato da una serie di fattori, come le tariffe orarie, le spese della rete in determinati momenti o la presenza di generazione solare locale. Quando il proprietario di un veicolo elettrico modifica l'orario in cui consuma e fornisce elettricità, si tratta di *time-shifting*. In pratica, ciò significa caricare il veicolo quando i prezzi dell'elettricità sono bassi o quando la produzione solare è alta. Successivamente, durante periodi in cui i prezzi dell'elettricità aumentano, la casa o l'azienda utilizza l'energia immagazzinata nel veicolo. L'obiettivo principale di questa pratica è ottimizzare i costi complessivi dell'energia sfruttando in modo strategico e intelligente le fluttuazioni dei prezzi.
4. **Backup di emergenza:** i veicoli elettrici sono una risorsa importante perché possono fornire energia in situazioni di interruzione della rete elettrica o in contesti privi di connessione elettrica, come ambienti off-grid. Per garantire una fornitura continua e affidabile, sono essenziali a causa della loro flessibilità e capacità di immagazzinare energia nelle batterie. Ciò contribuisce a ridurre gli effetti negativi delle interruzioni di corrente, sia in ambienti isolati che collegati alla rete. Tale flessibilità migliora la resilienza e l'efficienza energetica in molte situazioni.
5. **Riserva e risposta in frequenza:** è fondamentale per un sistema energetico mantenere un equilibrio continuo tra l'offerta e la domanda di elettricità. Un deficit di fornitura si verifica quando la produzione di energia di una centrale elettrica viene interrotta, mettendo a rischio la stabilità del sistema. Se raggruppati in flotte, i veicoli elettrici possono aiutare a ridurre questa carenza intervenendo sulla domanda e sull'offerta di energia. La sospensione temporanea della ricarica, che riduce l'intera domanda del sistema, e l'esportazione dell'energia nelle batterie aumentano l'offerta di energia disponibile. Invece, i veicoli elettrici possono essere attivati per iniziare la ricarica quando la potenza del sistema è eccessiva. Questa strategia può essere utilizzata su una varietà di scale temporali. Da un lato, la *risposta in frequenza* richiede un intervento entro 1–30 secondi, in linea con i requisiti del mercato. Dall'altro lato, invece, la *riserva* richiede l'esportazione di energia nei minuti o nelle ore successivi. Questo modo in cui i veicoli elettrici possono adattarsi alla domanda energetica aiuta a gestire il sistema elettrico in modo efficace e dinamico.

Come evidenziato nella Tabella 3.2, ciascun progetto è identificato per il suo nome, l'arco temporale, i servizi specifici offerti e, infine, per il numero di infrastrutture di ricarica dotate di tecnologia V2G coinvolte all'interno del medesimo progetto. Quest'ultimo aspetto sarà ora esaminato in dettaglio. Attraverso una revisione completa dei progetti, è emerso che il numero totale di infrastrutture di ricarica coinvolte è pari a **2345** unità. È importante ricordare che l'analisi e la ricerca hanno limitazioni, principalmente a causa delle difficoltà di ottenere dati completi. Infatti, non è stato possibile determinare con precisione il numero reale di punti di ricarica coinvolti all'interno di molti progetti. Nonostante queste limitazioni, è stato ottenuto un numero significativo di dati. Il diagramma seguente mostra la distribuzione di tali infrastrutture nei vari paesi, che è particolarmente interessante. L'analisi visiva di questa rappresentazione grafica porta a risultati intriganti. Non c'è dubbio che il Regno Unito occupa, anche in questo caso, il primo posto, come previsto a causa della sua presenza di numerosi progetti. Nonostante solo cinque progetti, l'Italia ha una notevole infrastruttura di ricarica V2G. I Paesi Bassi e la Svizzera seguono nei risultati. Al contrario, Grecia, Austria, Finlandia e Norvegia hanno numeri molto bassi. Tenendo conto delle limitazioni dei dati disponibili, questa disparità potrebbe essere il risultato di una varietà di dinamiche.

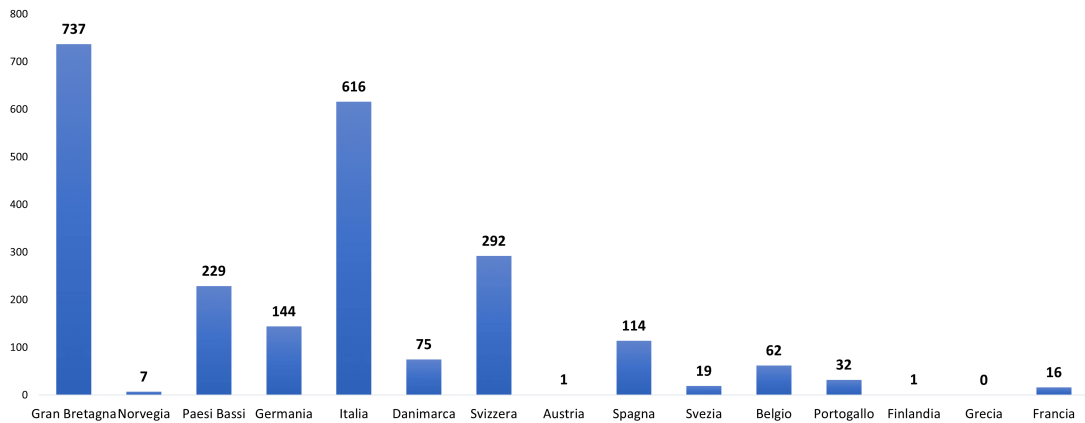


Figura 3.6: Numero di infrastrutture di ricarica V2G nei differenti paesi europei.

Un aspetto ulteriore da considerare in questi progetti riguarda il tipo di corrente utilizzato dai punti di ricarica. All'interno della panoramica sulla mobilità elettrica, sono state fornite spiegazioni sulle quattro modalità di ricarica, AC, DC, AC-DC e DC-AC relative alle infrastrutture. È significativo notare che, nonostante le stazioni di ricarica a corrente alternata siano attualmente le più diffuse, tale scenario si inverte quando si tratta di V2G. La figura mostra che oltre il 70% dei progetti usa la corrente continua. Ciò aumenta fino all' 89% se si considerano anche i progetti

che utilizzano la corrente alternata. Infatti, nel contesto V2G sono preferite i punti di ricarica DC, per una serie di motivi come la potenza di ricarica elevata e l'efficienza del trasferimento di energia ma anche per una questione di compatibilità e protocolli di comunicazione, spesso associati alle colonnine DC.

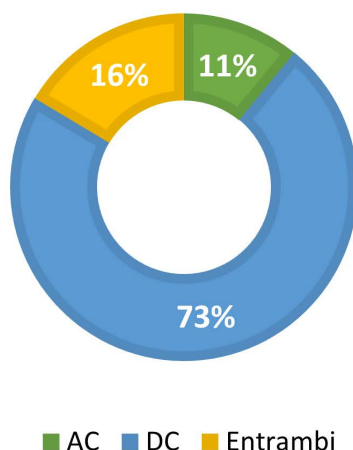


Figura 3.7: Tipologia di corrente AC e/o DC

3.1.2 Attori principali

Nella sezione attuale verranno esaminati gli attori chiave che si presentano all'interno dei vari progetti europei. Prima di procedere all'identificazione di tali figure, è fondamentale fornire una definizione dei ruoli che svolgono. In particolare, ci concentreremo sulle seguenti categorie di attori, esaminando i loro ruoli e responsabilità:

- **Aggregatori**

L'aggregatore dei veicoli elettrici funge da intermediario tra i conducenti e i fornitori di elettricità coordinando i servizi. Un attore indipendente può svolgere questo ruolo o può essere un'aggiunta per un attore già esistente (TSO, DSO, rivenditore, fornitore). L'uso di attrezzature intelligenti per fornire elettricità ai veicoli elettrici (EVSE) è solo una delle molte forme in cui può assumere la sua funzione. Si può, quindi, affermare che gli aggregatori svolgono un ruolo essenziale nel coordinare e ottimizzare l'utilizzo delle risorse energetiche fornite dai veicoli elettrici. La loro funzione principale è quella di controllare la partecipazione dei veicoli elettrici alle attività di bilanciamento della rete elettrica. Nel contesto in esame, il diagramma seguente mostra chiaramente i

protagonisti principali identificati attraverso l'analisi dei progetti europei. Nel contesto del V2G, il grafico evidenzia la relazione tra gli aggregatori di servizi e i progetti. Mostra in modo chiaro quanti progetti sono collegati o gestiti da ciascun aggregatore, mettendo in luce la distribuzione di tali progetti tra i vari attori del settore. Tra le aziende che rivestono il ruolo di aggregatori

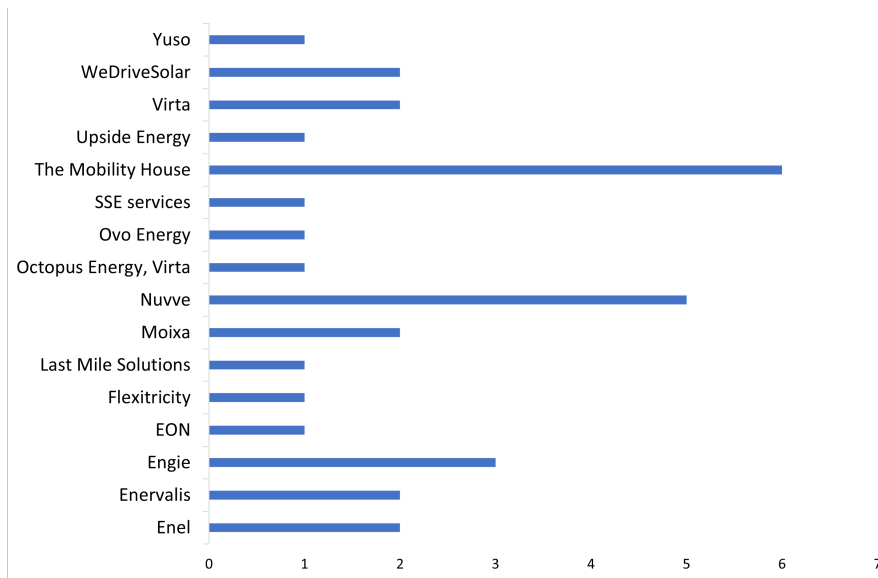


Figura 3.8: Aggregatori vs. Progetti

nel settore dell'energia, spiccano chiaramente, come evidenziato anche nel diagramma, The Mobility House, Moixa, Engie, Enel, Nuvve, WeDriveSolar e Virta. L'obiettivo della **The Mobility House** è migliorare il sistema di energia rinnovabile implementando tecnologie innovative come il V2G e utilizzando le batterie dei veicoli elettrici come dispositivi di accumulo energetico. **Moixa**, invece, è una società leader nel Regno Unito specializzata nello sviluppo di software e hardware che facilitano l'accumulo e la condivisione intelligente di energia. Nel frattempo, **Nuvve** offre soluzioni di rete ottimizzate e servizi di ricarica ad alta potenza per aumentare l'efficienza energetica. Principalmente, si distingue per il servizio di risposta alla domanda di energia, lavorando come aggregatore per massimizzare il valore derivante dalla flessibilità energetica degli impianti dei clienti. Anche la multinazionale francese **Engie** offre il servizio di risposta alla domanda di energia, fungendo da aggregatore che massimizza la generazione di valore dalla flessibilità energetica degli impianti dei clienti. È importante ricordare anche **Enel**, una delle principali società energetiche al mondo, che opera come aggregatore attraverso la sua divisione Enel X. L'azienda ha l'ambizioso obiettivo di raggiungere zero emissioni entro il 2040. Dal canto suo, l'organizzazione **WeDriveSolar** sostiene l'utilizzo

di auto elettriche alimentate completamente da energia solare. Sono veicoli elettrici che possono percorrere fino a 300 km con una sola carica e offrono un'alternativa ecologica al veicolo personale. Infine, è bene citare **Virta**, azienda globale che si occupa dello sviluppo di servizi di ricarica intelligente per i veicoli elettrici. Come aggregatore, Virta facilita l'accesso dei conducenti di veicoli elettrici a una rete più ampia di punti di ricarica.

- **Operatore del sistema di trasmissione/TSO**

Nominato anche TSO, esso rappresenta un organismo incaricato della gestione e trasmissione dell'energia, sia sotto forma di gas naturale che di elettricità, attraverso le adeguate infrastrutture a livello nazionale o regionale. Il TSO assume un ruolo cruciale nella dinamica del mercato energetico, operando nell'ambito della sezione regolamentata. La sua responsabilità principale è garantire l'equilibrio tra la domanda energetica e la produzione sulla rete. Questo include il monitoraggio costante e la gestione in tempo reale della rete di trasmissione. Inoltre, il TSO ha un ruolo significativo nella regolazione sia fisica che finanziaria tra i vari attori del mercato energetico. Questo implica la gestione degli scambi fisici di energia elettrica o gas naturale, nonché la regolamentazione finanziaria associata a tali transazioni. Il TSO contribuisce, quindi, in modo sostanziale a mantenere l'integrità e l'efficienza del mercato energetico, facilitando la cooperazione tra i diversi partecipanti. La sua presenza è essenziale per garantire una distribuzione stabile e affidabile dell'energia e contribuisce alla sicurezza e alla resilienza complessiva del sistema energetico nazionale o regionale.

- **Operatore del sistema di distribuzione/DSO**

Il DSO è responsabile della distribuzione dell'elettricità e deve garantire che la capacità di rete necessaria sia disponibile per fornire questo servizio in modo efficace e con un livello di qualità adeguato. In conformità con le disposizioni regolamentate, il DSO opera all'interno della sezione regolamentata del mercato energetico. Storicamente, si è spesso adottato un approccio denominato *fit and forget* nei confronti del ruolo del DSO, mirato a garantire una capacità di rete di distribuzione adeguata attraverso un funzionamento prevalentemente passivo della rete. Tuttavia, è importante sottolineare che il DSO non è soltanto responsabile della distribuzione fisica dell'elettricità, ma può anche assumersi il compito di misurare il consumo e/o la produzione all'interno di una rete specifica. In tal caso, è incaricato di segnalare i valori dei contatori ai soggetti interessati. Va notato, però, che la gestione e la distribuzione dei dati di misurazione non rientrano necessariamente tra le competenze esclusive del DSO. L'organizzazione e la diffusione di tali dati potrebbero coinvolgere altri attori del mercato energetico. La complessità di queste interazioni sottolinea la necessità di un coordinamento efficace tra i vari partecipanti per garantire

un'operatività efficiente e coerente della rete di distribuzione. In accordo con il database oggetto di analisi, si può osservare un diagramma che collega il TSO e il DSO con il numero di progetti europei.

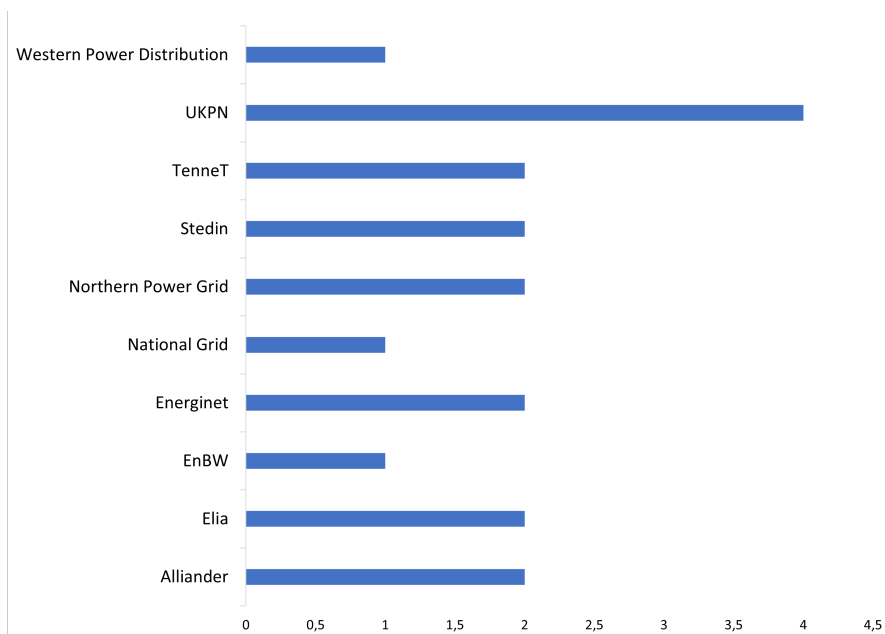


Figura 3.9: DSO/TSO vs. Progetti

Tra gli attori principali individuati nell'analisi, è significativo evidenziare che la percentuale più elevata di partecipazione ai progetti europei proviene dall'azienda britannica **UKPN**. È un operatore di rete di distribuzione e sta svolgendo un ruolo sempre più attivo nello sviluppo della tecnologia V2G e ha avviato, infatti, una serie di progetti per esplorare l'impatto di tale tecnologia sulla rete elettrica e per sviluppare servizi di flessibilità. Anche **TenneT** svolge un ruolo importante nel garantire un flusso costante di elettricità ed è una parte importante del settore energetico europeo in quanto gestisce una vasta infrastruttura di linee e cavi ad alta tensione attraverso la sua rete di trasmissione, che copre i Paesi Bassi e una parte significativa della Germania. Contribuisce a garantire un approvvigionamento stabile e sostenibile di energia rinnovabile per tutta l'Europa grazie alla sua esperienza e alle sue soluzioni innovative. **Elia Group**, invece, è uno dei prime cinque operatori di sistema di trasmissione in Europa e svolge pertanto un ruolo chiave nella transizione energetica. Sta attualmente investendo nella digitalizzazione per mantenere un sistema elettrico affidabile, con un impegno particolare per realizzare gli obiettivi del Green Deal Europeo. Infine, si può citare **Alliander**, un'azienda di rete energetica che fornisce un trasporto e una distribuzione di energia

affidabili.

- **Produttore di veicoli**

Le imprese produttrici di veicoli elettrici, chiamate OEM (Original Equipment Manufacturer), hanno un ruolo cruciale nel determinare quanto sia compatibile e integrato il loro veicolo con la tecnologia V2G. Il loro impatto va oltre la produzione di veicoli perché il modo in cui implementano e progettano le funzionalità V2G nei loro modelli può avere un impatto significativo sul successo generale dei progetti. La disponibilità di veicoli elettrici V2G specificamente progettati e preparati può, infatti, essere fondamentale per garantire l'efficacia e la sostenibilità di tali iniziative. Nel contesto europeo in questione, ci sono quattro produttori principali di veicoli elettrici, seguiti da un certo numero di produttori più piccoli che partecipano alle iniziative e sono stati raggruppati nella categoria *Altro*.

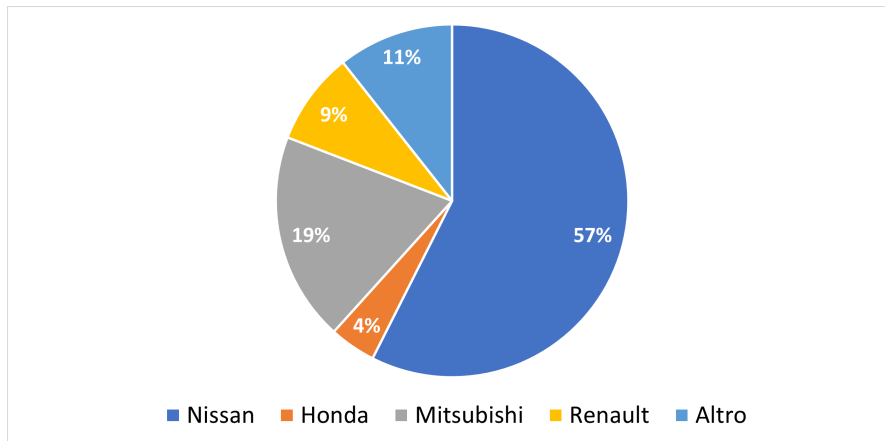


Figura 3.10: Produttori principali di veicoli elettrici

La **Nissan** è chiaramente un leader nel settore del Vehicle to Grid. Questo produttore di automobili multinazionale giapponese ha iniziato a testare il V2G in Europa, come dimostrato dalle prime prove nel Regno Unito e in Danimarca nel 2016. I van Nissan LEAF e e-NV200, entrambi con lo standard di ricarica rapida CHAdeMO, sono stati i modelli chiave di Nissan che hanno fatto la differenza. A differenza degli standard CCS in Europa e del Tesla Supercharger³ negli Stati Uniti, questo sistema ha anticipato la pubblicazione del protocollo per la ricarica bidirezionale già nel 2014, conferendo alla Nissan

³Tesla Supercharger: È una rete di stazioni di ricarica ad alta potenza gestita da Tesla ed utilizza lo standard CCS2. Questo permette ai veicoli Tesla di utilizzare sia i Supercharger che le stazioni di ricarica di altri fornitori

un vantaggio indiscutibile fin dall'inizio del V2G. **Renault** e **Mitsubishi** sono sicuramente tra gli altri leader della tecnologia V2G. Renault, fondata a Parigi nel 1898, utilizza la tecnologia V2G per trasformare le auto elettriche in risorse energetiche per case e reti, fornendo maggiore flessibilità e facilitando l'integrazione delle energie rinnovabili nel mix energetico. In particolare, la futura Renault 5 elettrica sarà la prima auto della casa automobilistica ad avere un caricabatterie bidirezionale integrato. Sarà disponibile in Francia, Germania e poi nel Regno Unito dal 2024. Renault ha iniziato un progetto nel marzo 2019 e ha completato la prima fase di test nel quartiere ecologico di Utrecht, nei Paesi Bassi, dimostrando il suo forte impegno nella sperimentazione e nell'implementazione pratica. Analogamente, Mitsubishi, azienda giapponese fondata nel 1870, si impegna attivamente nello sviluppo e nell'implementazione della tecnologia V2G. Partecipando a numerosi progetti, conferma l'importanza di questa tecnologia nel settore delle soluzioni veicolari avanzate. Inoltre è importante aggiungere che queste tre case automobilistiche hanno formato un'alleanza definendo un piano strategico comune denominato "**Alliance 2030**" incentrato sui veicoli elettrici e sulla mobilità intelligente e connessa, investendo ingenti somme per sostenere l'elettrificazione nei prossimi cinque anni.

3.2 Analisi del trend di crescita nei singoli paesi europei

In questa sezione, l'obiettivo principale è condurre un confronto tra il numero di infrastrutture di ricarica pubbliche unidirezionali e quelle dotate di tecnologia bidirezionale in diversi paesi europei. Le infrastrutture bidirezionali rappresentano, nella maggior parte dei casi, una piccola percentuale delle infrastrutture di ricarica totali. Si procederà quindi al calcolo di questa percentuale nei vari paesi per analizzarne le variazioni e successivamente, l'obiettivo è determinare, attraverso l'utilizzo di grafici, delle previsioni per gli anni a venire. Nel dettaglio, questa sezione è suddivisa in tre fasi:

1. **Elenco dei progetti con le rispettive caratteristiche nei vari paesi:** saranno elencati tutti i progetti presenti nei paesi con lo scopo di fornire un quadro completo delle implementazioni in corso.
2. **Confronto quantitativo delle due tipologie di infrastrutture:** questo confronto numerico è necessario in quanto fornisce una panoramica della situazione attuale e sottolinea le differenze nella distribuzione e adozione delle due categorie di infrastrutture. È bene sottolineare che il confronto tra i numeri dei due differenti caricatori (unidirezionale e bidirezionale) è stato

fatto nell' anno di inizio dell'ultimo progetto vehicle to grid implementato nel singolo paese.

3. **Analisi della tendenza mediante l'uso di grafici:** in questa fase, saranno impiegati grafici e visualizzazioni per identificare i trend futuri nella crescita delle infrastrutture di ricarica V2G nei paesi europei. L'analisi sarà limitata ai paesi con dati sufficienti, assicurando una previsione basata su informazioni affidabili. In questo contesto, si è scelto di ipotizzare che le infrastrutture di ricarica V2G associate a ciascun progetto siano state implementate già nel primo anno di avvio del progetto. Questa scelta è stata preferita rispetto all'utilizzo dell'anno di fine del progetto per diversi motivi, tra cui la presenza di progetti ancora in corso, quelli avviati e conclusi nello stesso anno o quelli destinati a concludersi dal 2025 al 2030. Va inoltre evidenziato che il database da cui sono stati estratti i dati sul numero di punti di ricarica tradizionali (sia lenti che veloci, pubblici) si ferma al 2022 [14]. Pertanto, considerare l'anno di fine avrebbe comportato l'esclusione di molti progetti dall'analisi, specialmente quelli che vanno oltre il 2022.

Si sottolinea che l'analisi si concentrerà su una serie di paesi europei, presentati nella sezione iniziale, considerando quindi sia quelli con un elevato numero di progetti sia quelli con una presenza limitata. Sono stati esclusi dall'analisi solo tre paesi, ovvero la Grecia, l'Austria e la Finlandia a causa della presenza di un singolo progetto e dell'indisponibilità dei dati.

3.2.1 Regno Unito

L'analisi ha inizio con il Regno Unito perché si è rivelato essere il paese con il maggior numero di iniziative V2G. Per facilitare l'analisi, si può iniziare elencando tutti i progetti del Regno Unito, seguendo l'esempio della Danimarca precedentemente mostrato.

Tabella 3.3: Tabella dei progetti V2G con relative informazioni, Regno Unito (continua nella pagina successiva).

Progetto	Inizio	Fine	Numero Inf.V2G	Servizi
BU2Grid	2018	in corso	n/a	Risposta in frequenza, Spostamento temporale
Cenex EFES	2013	2013	1	Risposta in frequenza, Spostamento temporale
E-FLEX-Real	2018	in corso	n/a	Risposta in frequenza, Spostamento temporale

e4Future	2018	2022	n/a	Risposta in frequenza, Spostamento temporale, Arbitraggio, Servizi DSO
Electric Nation V2G	2020	2022	100	Riserva, Servizi DSO, Spostamento temporale
EV-elocity	2018	2022	35	Arbitraggio, Spostamento temporale
GenDrive-Engaging	2018	2020	n/a	Spostamento temporale
Hitachi IoS	2017	n/a	n/a	-
ITHECA	2015	2017	1	Risposta in frequenza, Spostamento temporale
Milton Keynes Council	2020	2022	4	Spostamento temporale
Northern Power Grid	2018	2021	16	-
OVO Energy v2g	2018	2021	320	Arbitraggio
Powerloop	2018	2021	135	Arbitraggio
SEEV4City	2016	2020	6	Risposta in frequenza, Arbitraggio, Spostamento temporale
SMARTHUBS	2018	in corso	n/a	-
SaMDES	2017	2021	2	Spostamento temporale, Backup di emergenza
UK V2G	2016	in corso	100	-
V2G EVSE Living Lab	2019	in corso	2	Spostamento temporale, Backup di emergenza
V2GO	2018	in corso	n/a	Risposta in frequenza, Arbitraggio, Spostamento temporale
V2Street	2018	2020	2	Arbitraggio, Servizi DSO, Spostamento temporale
V2X by Marubeni	2021	2022	2	Risposta in frequenza, Arbitraggio, Servizi DSO, Spostamento temporale

V2X Local Network fleet solution	2022	2023	n/a	Risposta in frequenza, Servizi DSO, Spostamento temporale
V2X-Flex	2022	2023	2	Risposta in frequenza, Riserva, Arbitraggio, Servizi DSO, Spostamento temporale, Backup di emergenza
VBEV project (CMDC2)	2023	2023	n/a	Servizi DSO
Vehicle to energy communities	2022	2023	n/a	Servizi DSO
V2BUILD	2022	2023	n/a	Spostamento temporale
VIGIL	2020	in corso	4	Riserva, Servizi DSO, Spostamento temporale
Zero Carbon Tariffs	2022	2023	5	Arbitraggio, Spostamento temporale

Da come è stato anticipato, il focus principale di questa analisi è capire la crescita futura delle infrastrutture di ricarica V2G. A tal proposito, per avere una migliore comprensione della diffusione dei caricabatterie V2G, è stato interessante confrontarli con il numero totale di punti di ricarica in ciascuna nazione. Con questo confronto, è più facile capire la sua percentuale rispetto alle infrastrutture di ricarica convenzionali. Relativamente al caso in esame, la situazione per il Regno Unito è quella seguente.

Numero totale di infrastrutture di ricarica	50600
Numero totale di infrastrutture di ricarica V2G	737

Tabella 3.4: Numero totale di infrastrutture a confronto, Regno Unito

Si può, perciò, notare che i punti di ricarica dotati di tecnologia V2G rappresentano soltanto una piccola porzione dei punti di ricarica unidirezionali. Infatti, grazie ai dati trovati, è possibile affermare che rappresentano solo una percentuale pari a **1,46%** del totale. Un'indagine approfondita è resa possibile grazie all'utilizzo di un grafico completo che combina e mette in relazione le diverse variabili insieme. Poiché i dati sono molto diversi tra di loro, il grafico mostra un doppio asse delle ordinate, in quanto risultava difficile visualizzare il numero di caricabatterie V2G rispetto ai punti di ricarica standard. L'asse principale, ovvero quello di sinistra, è riferito al numero di punti di ricarica tradizionali mentre l'asse secondario, quello a destra, è riferito ai punti di ricarica con tecnologia V2G. È bene sottolineare che gli

anni sull'asse delle ascisse rappresentano l'inizio di ciascun progetto V2G. Infine, la linea gialla indica quanto è cresciuto il numero di infrastrutture di ricarica V2G negli anni, si può notare una crescita positiva elevata nel passaggio dal 2018 al 2019. Per riuscire a fare una previsione, è necessario considerare anche la linea di tendenza (gialla tratteggiata) che mostra la futura crescita dei caricabatterie V2G fino al 2025. Il grafico mostra una tendenza lineare, che indica che tali dovrebbero aumentare gradualmente nei prossimi anni. È inoltre fornito il coefficiente di regressione R^2 , il cui valore pari a **0,8358** indica una forte relazione tra le variabili analizzate, confermando la coerenza della tendenza di crescita nel tempo.

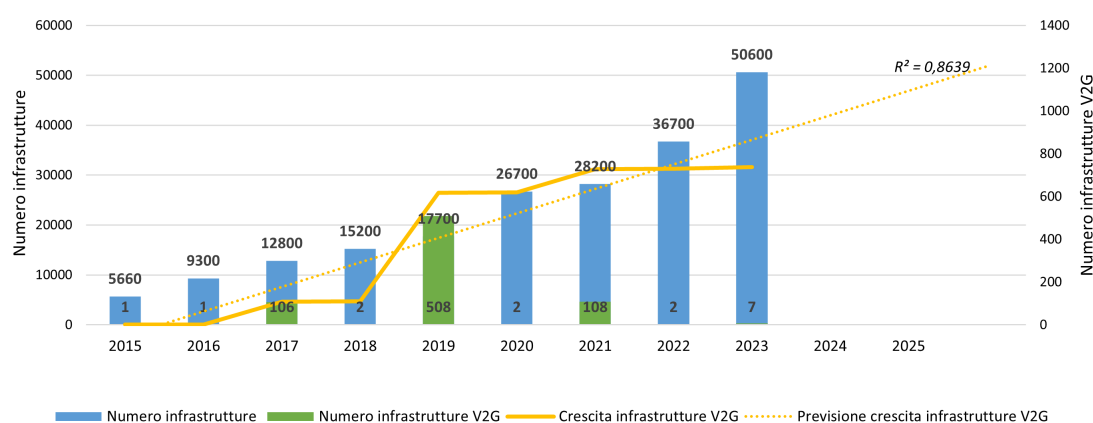


Figura 3.11: Infrastrutture di ricarica V2G vs. Infrastrutture di ricarica tradizionali, Regno Unito

3.2.2 Paesi Bassi

I Paesi Bassi saranno coinvolti nel processo che è stato precedentemente applicato al Regno Unito. Questo coinvolgerà le tre fasi distintive descritte nell'introduzione di questa sezione. Si vanno, quindi, ad elencare tutti i progetti relativi alla tecnologia V2G in questa nazione.

Tabella 3.5: Tabella dei progetti V2G con relative informazioni, Paesi Bassi (continua nella pagina successiva)

Progetto	Inizio	Fine	Inf. V2G	Servizi
AirQon	2019	in corso	n/a	-

Tabella 3.5: Tabella dei progetti V2G con relative informazioni, Paesi Bassi
(continua nella pagina successiva)

Progetto	Inizio	Fine	Inf. V2G	Servizi
Amsterdam V2G	2014	2017	2	Spostamento temporale
City-Zen Smart City	2014	2019	4	Arbitraggio, Servizi DSO
Direct Solar DC V2G Hub	2020	2023	14	Risposta in frequenza, Servizi DSO, Spostamento temporale, Backup di emergenza
FlexGrid	2018	2022	1	Risposta in frequenza, Spostamento temporale, Backup di emergenza
Hitachi, Mitsubishi, Engie	2018	n/a	1	Spostamento temporale
Interflex	2017	2019	n/a	-
Invade	2017	2019	1	-
NewMotion V2G	2016	2018	10	Risposta in frequenza
Powerparking	2017	2022	1	Spostamento temporale, Risposta in frequenza
Share the Sun / Deeldezon Project	2019	2021	80	Servizi DSO, Spostamento temporale
Smart Solar Charging	2015	in corso	22	Servizi DSO, Spostamento temporale
Solar-powered bidirectional EV CP	2015	2017	1	Spostamento temporale
Utrecht V2G charge hubs	2018	in corso	80	Arbitraggio
V2G @ home	2021	2022	1	Spostamento temporale, Backup di emergenza
V2G Liberty	2020	2030	10	Arbitraggio, Spostamento temporale
V2G/V2B	2019	in corso	1	Servizi DSO, Backup di emergenza

Una volta elencati tutti i progetti con i servizi e le caratteristiche annesse, ci si focalizza unicamente sul confronto tra il numero totale delle infrastrutture di ricarica tradizionali e quelle emergenti con la tecnologia V2G. Da come si evince

Numero totale di infrastrutture di ricarica	83600
Numero totale di infrastrutture di ricarica V2G	229

Tabella 3.6: Numero totale di infrastrutture a confronto, Paesi Bassi

dalla tabella, il numero di infrastrutture di ricarica V2G è eccessivamente basso rispetto al numero totale. Ciò significa che rappresenta solo lo **0,27%** di esso. È importante sottolineare che questo fenomeno è consueto poiché il numero di infrastrutture di ricarica V2G è ancora in fase iniziale di diffusione, costituendo quindi solo una frazione minima del totale dei caricabatterie. Nel grafico sottostante, è evidenziato proprio quest'ultimo concetto espresso.

Così come per il Regno Unito, anche in tale analisi risulta fondamentale tener conto del grafico che considera più variabili simultaneamente. Le ipotesi riguardanti l'asse delle ascisse sono le medesime del Regno Unito. La situazione nei Paesi Bassi è abbastanza altalenante. Sebbene inizialmente ci sia stata una crescita lineare, il numero dei punti di ricarica è diminuito notevolmente nel 2021. Tuttavia, la linea di tendenza mostra un andamento positivo nelle previsioni; il coefficiente di determinazione R^2 è pari a **0,9065**, il che indica che la proiezione dovrebbe essere affidabile. Tale risultato indica che il numero di infrastrutture di ricarica V2G dovrebbe continuare a crescere, indicando un progressivo radicamento di questa tecnologia all'interno della nazione.

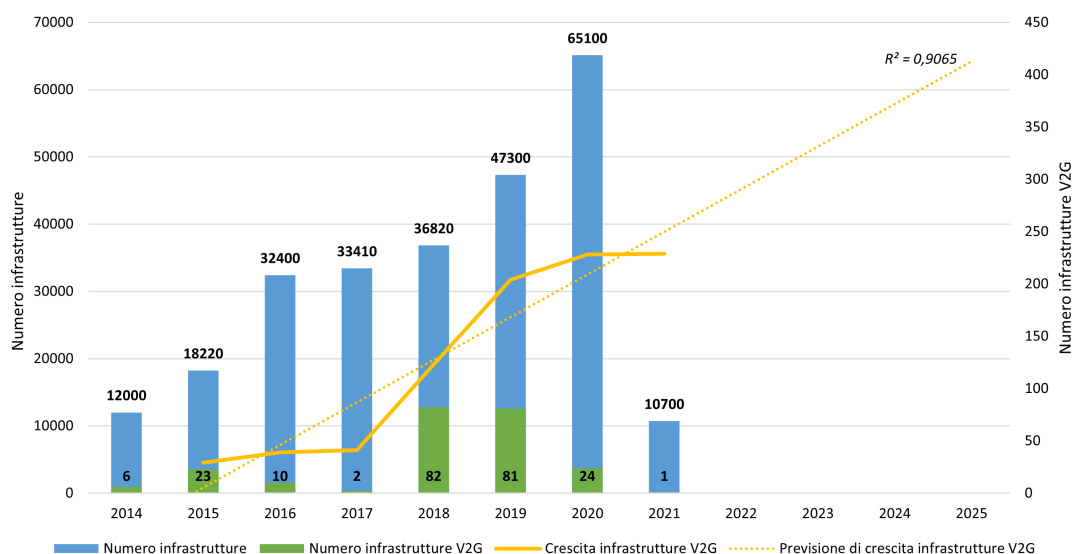


Figura 3.12: Infrastrutture di ricarica V2G vs. Infrastrutture di ricarica tradizionali, Paesi Bassi

3.2.3 Italia

Nella tabella proposta di seguito sono elencati i limitati progetti presenti in Italia relativi al V2G, in accordo con la prima fase dell'analisi. Il primo di essi risale al 2017, mentre l'ultimo avviato è datato 2019. Sebbene il numero di progetti è molto basso, solo pari a 4, il numero di infrastrutture di ricarica associate ad essi in realtà è elevato.

Progetto	Inizio	Fine	Numero Inf.V2G	Servizi
BloRin	2019	2022	1	Risposta in frequenza, Spostamento temporale
E-mobility Lab	2021	in corso	13	Risposta in frequenza, Spostamento temporale, Riserva
Fiat-Chrysler V2G	2019	2021	600	-
Genoa pilot	2017	n/a	2	-

Tabella 3.7: Tabella dei progetti V2G con relative informazioni, Italia

È interessante confrontare, anche in questo caso, i caricabatterie V2G con il numero totale di punti di ricarica unidirezionali in ogni nazione, per comprendere meglio la loro diffusione. Questa comparazione facilita la comprensione della percentuale di caricabatterie V2G rispetto alle infrastrutture di ricarica tradizionali, fornendo un'immagine più chiara della loro influenza nel contesto generale delle stazioni di ricarica.

Numero totale di infrastrutture di ricarica	22200
Numero totale di infrastrutture di ricarica V2G	616

Tabella 3.8: Numero totale di infrastrutture a confronto, Italia

Per ultimo, ma non per importanza, si può andare ad esaminare il grafico "completo". È fondamentale osservare questo grafico poiché fornisce una proiezione della crescita delle infrastrutture di ricarica V2G fino al 2025, mostra quindi un'evoluzione nel tempo delle due differenti infrastrutture dal 2017 fino al 2025. È necessario sottolineare che eventuali lacune nel tempo sono dovute all'ipotesi iniziale, che si basa sulla data di inizio dei progetti V2G con l'implementazione delle infrastrutture di ricarica V2G. Ovviamente, in questo grafico, a causa dei pochi dati a disposizione, la linea relativa alla crescita delle infrastrutture di ricarica V2G e la linea di tendenza sono piuttosto piatte perché messe a confronto con il numero di infrastrutture tradizionali.

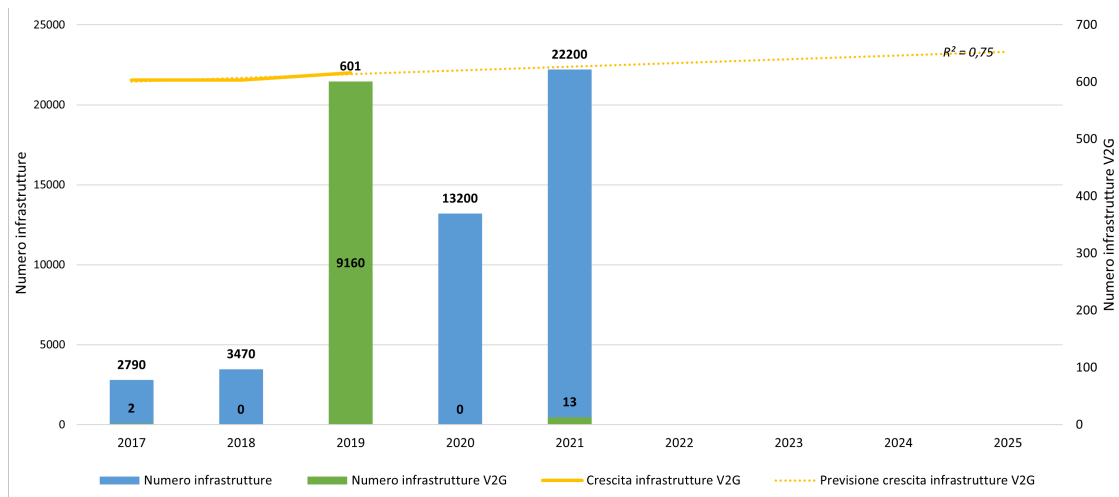


Figura 3.13: Infrastrutture di ricarica V2G vs. Infrastrutture di ricarica tradizionali, Italia

3.2.4 Svizzera

Nella tabella proposta di seguito sono elencati i progetti presenti in Svizzera riguardanti la tecnologia V2G. Così come per l'Italia, anche questo paese presenta un numero alquanto limitato di progetti. Si vadano ora a studiare le caratteristiche.

Progetto	Inizio	Fine	Numero Inf.V2G	Servizi
EVFlex	2021	2023	n/a	Risposta in frequenza, Riserva, Spostamento temporale
Smart Mobility V2X	2019	2022	2	Risposta in frequenza, servizi DSO, Spostamento temporale
SunnYparc	2022	2025	250	Riserva, servizi DSO, Spostamento temporale
V2X Suisse	2021	2023	40	Riserva, arbitraggio, servizi DSO

Tabella 3.9: Tabella dei progetti V2G con relative informazioni, Svizzera

Come è stato già anticipato, è interessante confrontare le infrastrutture di ricarica V2G con il numero totale di infrastrutture in ogni nazione per comprendere al meglio l'estensione di questa tecnologia negli anni. Si può osservare nella tabella seguente il confronto.

Numero totale di infrastrutture di ricarica	12300
Numero totale di infrastrutture di ricarica V2G	292

Tabella 3.10: Numero totale di infrastrutture a confronto, Svizzera

Il numero di infrastrutture che implementano la tecnologia della ricarica bidirezionale rappresentano una percentuale pari a 2,37% sul totale di infrastrutture di ricarica unidirezionali, per l'anno 2022.

In questo caso in esame, l'intervallo temporale è piuttosto limitato, a causa della non disponibilità dei dati. Infatti, si hanno solo tre anni a disposizione, tra cui il 2019, il 2021 e il 2022. A differenza dell'Italia, la Svizzera presenta un numero di punti di ricarica decisamente più basso anche se il numero di progetti è essenzialmente lo stesso. Infatti, in questo caso specifico, la percentuale di infrastrutture con tecnologia V2G risulta essere pari a **0,88%**. Si può andare ora ad esaminare, il grafico che tiene conto delle infrastrutture di ricarica V2G, di quelle tradizionali e della crescita con la linea di tendenza. Quest'ultima offre una proiezione prospettica fino all'anno 2025. Sul grafico, a doppio asse a causa della disparità dei dati tra le due tipologie di infrastrutture, si può visualizzare anche R^2 con un valore pari a 1, ciò potrebbe significare che la linea di tendenza rappresenta esattamente la variazione dei dati.

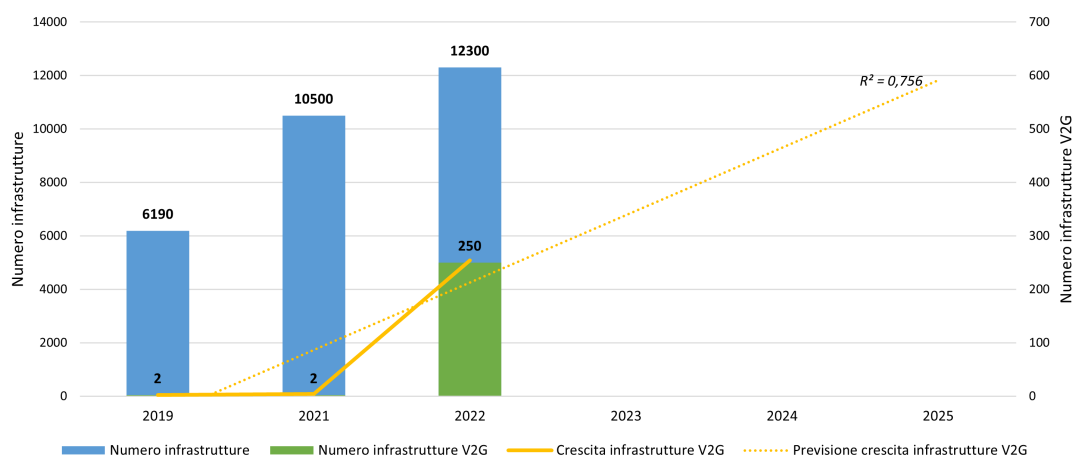


Figura 3.14: Infrastrutture di ricarica V2G vs. Infrastrutture di ricarica tradizionali, Svizzera

3.2.5 Germania

La Germania, da come è stato precedentemente illustrato nel primo paragrafo di questa analisi, risulta abbia partecipato a 11 progetti, confermando una percentuale di coinvolgimento attivo nei progetti europei pari al 13%. Nella tabella seguente sono elencati tutti i progetti con le relative caratteristiche.

Tabella 3.11: Tabella dei progetti V2G con relative informazioni, Germania (continua nella pagina successiva)

Progetto	Inizio	Fine	Numero Inf.V2G	Servizi
BDL - Bidirectional charging management	2019	2022	50	Risposta in frequenza, arbitraggio, servizi DSO, spostamento temporale
Bidirektionales Lademanagement - BDL	2021	2022	50	Risposta in frequenza, arbitraggio, spostamento temporale
Honda, The Mobility House, Offenbach	2017	n/a	1	-

Tabella 3.11: Tabella dei progetti V2G con relative informazioni, Germania (continua nella pagina successiva)

Progetto	Inizio	Fine	Numero Inf.V2G	Servizi
INEES Volkswagen, SMA, Lichtblick, Fraunhofer	2012	2015	20	Risposta in frequenza
iZEus (Toyota)	2012	2014	n/a	-
Nissan Leaf to stabilise the German electricity grid	2018	in corso	1	Risposta in frequenza
Redispatch V2G	2018	2021	10	-
V2G Redispatch	2019	2020	10	Servizi DSO
Vehicle-to-coffee - The Mobility House	2015	in corso	1	Spostamento temporale
Vehicle-to-Metal	2019	2019	n/a	-
Strom vom Auto	2021	2022	1	Risposta in frequenza

Come consuetudine, si può procedere subito ad osservare la differenza tra le due differenti tipologie di infrastrutture di ricarica al fine di evidenziare la percentuale di quelle dotate della tecnologia V2G.

Numero totale di infrastrutture di ricarica	126070
Numero totale di infrastrutture di ricarica V2G	144

Tabella 3.12: Numero totale di infrastrutture a confronto, Germania

Alla fine di tutto, è possibile esaminare il grafico integrale. Costruito in modo analogo a quelli degli altri paesi europei precedentemente presi in considerazione, evidenzia come nel tempo le infrastrutture di ricarica sia tradizionali che bidirezionali crescono nel tempo (considerando la somma cumulata). Infine, l'utilizzo della linea tratteggiata suggerisce, anche in questo caso specifico, che questa tendenza alla crescita proseguirà nel futuro.

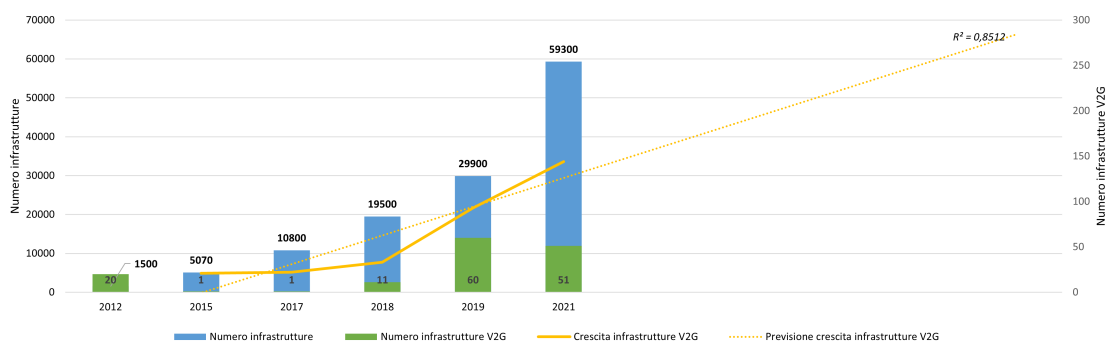


Figura 3.15: Infrastrutture di ricarica V2G vs. Infrastrutture di ricarica tradizionali, Germania

3.2.6 Altri paesi

Dopo aver esaminato attentamente il Regno Unito, la Germania, i Paesi Bassi, la Svizzera e l'Italia, si può procedere ora ad analizzare gli altri paesi rimanenti. Questi sono presentati in una sezione unica, poiché i dati su di essi sono limitati. Pertanto, i sette paesi restanti, oggetto di analisi analoga a quelli precedentemente esaminati, sono:

- Spagna
- Belgio
- Svezia
- Portogallo
- Danimarca
- Norvegia
- Francia

Nelle tabelle sottostanti verranno elencati tutti i progetti relativi alla tecnologia V2G per i paesi in questione. Successivamente saranno fatte le dovute analisi e spiegazioni necessarie, sempre nel rispetto dei limiti.

Progetti V2G nei Paesi Europei

Paese	Progetto	Inizio	Fine	Inf.V2G	Servizi
Belgio	Elia v2g	2018	2019	40	Risposta in frequenza

Tabella 3.13 – Continuazione

Paese	Progetto	Inizio	Fine	Inf.V2G	Servizi
	V2G Zelzate	2020	2023	22	Risposta in frequenza, riserva, spostamento temporale
Portogallo	Intelligent software...	2019	in corso	22	Risposta in frequenza, servizi dso
	Renault, the Mobility House...	2018	2020	n/a	spostamento temporale
	V2G Azores	2020	2021	10	Risposta in frequenza, arbitraggio, spostamento temporale
Svezia	E-REGIO	2018	2020	2	Risposta in frequenza, arbitraggio, servizi dso, spostamento temporale
	PEPP – Public EV Power Pilots	2023	2025	12	Risposta in frequenza, riserva, servizi dso, spostamento temporale, back up di emergenza
	Polestar research project: V2X	2021	2024	2	
	V2X-MAS	2021	2023	3	servizi dso, spostamento temporale, back up di emergenza

Tabella 3.13 – Continuazione

Paese	Progetto	Inizio	Fine	Inf.V2G	Servizi
Danimarca	Parker	2016	2018	50	Risposta in frequenza, arbitraggio, servizi dso
	Parker Denmark	2016	2019	15	Risposta in frequenza, servizi dso
	Denmark v2g	2016	in corso	10	Risposta in frequenza
Norvegia	ABB V2X Trondheim	2022	in corso	n/a	
	Campus Evenstad (FME ZEN pilot)	2019	n/a	2	spostamento temporale
	NeX2G	2021	2025	5	arbitraggio, servizi dso
Francia	Grid Motion	2017	2019	15	Risposta in frequenza, arbitraggio, spostamento temporale
	SOLARCAMP	2018	2020	1	Risposta in frequenza, arbitraggio, spostamento temporale, back up di emergenza, servizi dso

Una volta elencati e visualizzati i progetti relativi alla ricarica bidirezionale presenti in questi paesi, si può procedere ad osservare, nel grafico sottostante, quante infrastrutture bidirezionali sono effettivamente presenti e qual è l'effettiva percentuale rispetto al totale di esse. È importante sottolineare che gli archi temporali utilizzati per determinare il numero totale delle due tecnologie differiscono da nazione a nazione. Ad esempio, sono stati presi in considerazione gli anni 2012, 2015 e 2020 per la Spagna; solo per la Danimarca, il 2016; mentre per la Svezia sono stati presi in considerazione gli anni 2018, 2012 e 2023.

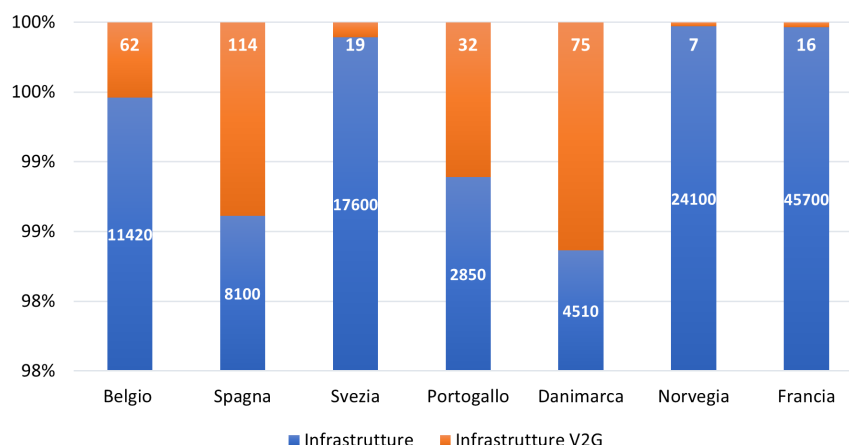


Figura 3.16: Infrastrutture di ricarica V2G vs infrastrutture di ricarica tradizionali, Paesi europei

Dal grafico si evince che le percentuali dei punti di ricarica intelligenti rispetto alle tradizionali, dalla più alta alla più bassa, sono:

1. In Danimarca: 1,66%
2. In Spagna: 1,41%
3. In Portogallo: 1,12%
4. In Belgio: 0,54%
5. In Svezia: 0,11%
6. In Francia: 0,06%
7. In Norvegia: 0,03%

A tal punto, per rispettare l'ultima fase dell'analisi risulta necessario analizzare e definire il trend di crescita delle infrastrutture di ricarica V2G. Ovviamente, nel caso in esame, i paesi presentano dei dati limitati, sia per quanto riguarda il numero di punti di ricarica bidirezionali sia per quanto riguarda gli anni. Di conseguenza, per tale ragione, si è ritenuto più opportuno focalizzarsi esclusivamente sulle infrastrutture di ricarica V2G, la loro crescita cumulativa e la relativa linea di tendenza. È bene sottolineare che la Danimarca non è presente nelle figure sottostanti perché dispone di dati relativi ad un solo anno. Risultava, pertanto, impossibile osservare un trend di crescita.

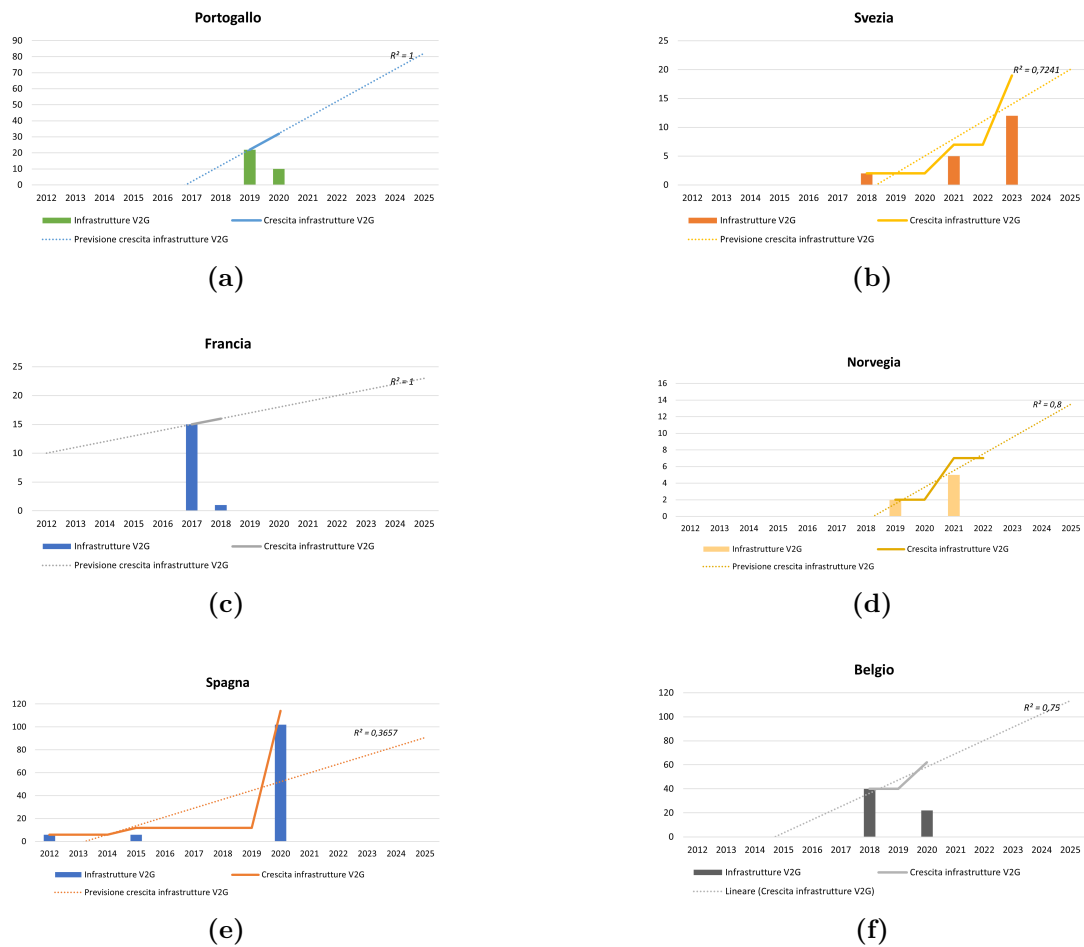


Figura 3.17: Trend di crescita delle infrastrutture di ricarica V2G in sei paesi europei

3.3 Analisi della correlazione

A questo punto dell'analisi, è evidente che le infrastrutture di ricarica abilitate alla bidirezionalità stanno attualmente crescendo e si prevede che continueranno questa tendenza anche nei prossimi anni. Tuttavia, è altrettanto evidente che in alcuni paesi si diffonderanno con maggiore velocità e facilità mentre in altri la diffusione sarà più lenta. Tutto ciò dipende, da come si è osservato, da diversi fattori tra cui le politiche energetiche favorevoli e progetti pilota importanti (come in Italia), consapevolezza ambientale (come in Svizzera), maggiore implementazione delle infrastrutture di ricarica e maggiore vendita dei veicoli elettrici (come nel caso dei Paesi Bassi, Norvegia, Svezia). In linea generale, si può affermare che il Vehicle

to Grid è uno strumento destinato a crescere e ad integrarsi sempre di più nel panorama della mobilità elettrica. In questa sezione, la questione chiave è capire la relazione tra la diffusione delle infrastrutture di ricarica V2G e l'attuazione di progetti specifici. In altre parole bisogna comprendere se effettivamente il mercato delle infrastrutture di ricarica V2G è guidato o meno dai progetti V2G. Ci si è posti la domanda se fosse effettivamente necessaria, nei paesi precedentemente analizzati, l'implementazione di progetti relativi al V2G per far sì che le infrastrutture con tale tecnologia si sviluppino. In breve, quanto sono effettivamente correlate le due variabili? L'aumentare dei progetti corrisponde ad un aumento delle infrastrutture bidirezionali? Per rispondere a tale domanda, si è scelto di utilizzare l'**indice di correlazione di Pearson**, anche noto come *r di Pearson*, comunemente utilizzato per variabili misurate con scale intervallo o ratio. Questo indice presenta alcune caratteristiche chiave:

- I due insiemi di punteggi sono associati agli stessi individui, eventi o soggetti diversi ma correlati da un punto di vista specifico.
- I valori dell'indice di correlazione vanno da -1 a +1.
- I valori estremi indicano relazioni perfette tra le variabili, mentre 0 rappresenta l'assenza di relazione, almeno nel contesto delle relazioni lineari.
- Una relazione positiva indica che valori elevati in una variabile corrispondono a valori elevati nell'altra e viceversa.
- Una relazione negativa suggerisce che punteggi bassi in una variabile sono associati a punteggi elevati nell'altra. Per esplorare visivamente le relazioni tra le variabili, sono stati utilizzati diagrammi di dispersione.

Per poter effettuare questa analisi, è necessario prima verificare che le due variabili superino una checklist composta da 5 controlli:

1. Le due variabili devono essere entrambe quantitative.
2. Le due variabili quantitative devono essere appaiate sugli stessi casi.
3. Il grafico di correlazione deve mostrare una relazione di tipo lineare tra le due variabili.
4. Non devono essere presenti outliers fluenti.
5. La distribuzione di entrambe le variabili deve essere normale.

Il primo passo da fare, prima di verificare le cinque ipotesi, è mostrare tutti i dati relativi alle due variabili da analizzare. Innanzitutto, a causa di campioni

troppo limitati in alcuni paesi, è stato ritenuto più opportuno condurre un'analisi aggregata per tutti i paesi europei. In altre parole, a partire dal primo progetto nel 2012, ogni anno sono stati sommati i numeri di progetti e delle infrastrutture di ricarica V2G nei vari paesi. In totale sono stati considerati 87 progetti e 14 paesi, è stata esclusa la Grecia in quanto presentava un unico progetto ma il dato relativo alle infrastrutture di ricarica V2G non era disponibile. Nella tabella sottostante è possibile visualizzare questi dati.

Tabella 3.14: Numero di progetti e infrastrutture di ricarica V2G per anno

Anno	Numero Progetti	Numero infrastrutture di ricarica V2G
2012	3	26
2013	1	1
2014	2	6
2015	5	31
2016	6	191
2017	9	23
2018	19	644
2019	12	770
2020	9	266
2021	11	118
2022	8	257
2023	2	12

A questo punto si può procedere con la verifica delle ipotesi.

1. Entrambe le variabili sono quantitative, pertanto la prima ipotesi è verificata e si può procedere in avanti.

2. La seconda ipotesi risulta verificata in quanto le due variabili quantitative sono appaiate sugli stessi casi. Infatti, ogni riga della tabella rappresenta un singolo anno e riporta entrambe le misurazioni.

3. Per verificare questa ipotesi, risulta necessario l'utilizzo di *Microsoft Excel* per osservare, attraverso l'utilizzo del grafico a dispersione, se esiste una relazione lineare tra le due variabili.

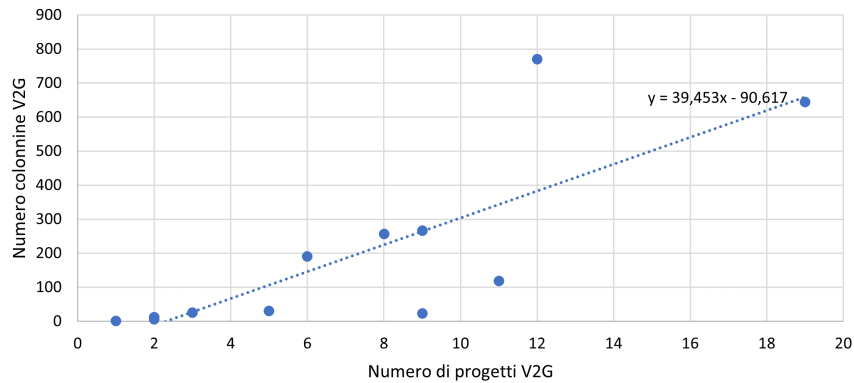


Figura 3.18: Grafico a dispersione con linea di tendenza, paesi europei

Dal grafico risulta che la relazione è lineare con un'equazione pari a $y=39,453x-90,617$. Questo significa che per ogni unità di aumento in x, ci si aspetta un aumento di 39,453 in y. Il termine -90,617 è l'intercetta sull'asse y, che rappresenta il valore previsto di y quando x è 0. Pertanto, si può affermare che la relazione tra le due variabili risulta lineare. È bene notare che sono presenti degli outliers, in particolare se ne evidenziano tre.

- La quarta ipotesi riguarda gli outliers. Dal grafico, come è stato già anticipato, è evidente un outlier sopra la linea di tendenza e due sotto, meno impattanti. Nel grafico seguente, sono evidenziati per maggiore chiarezza.

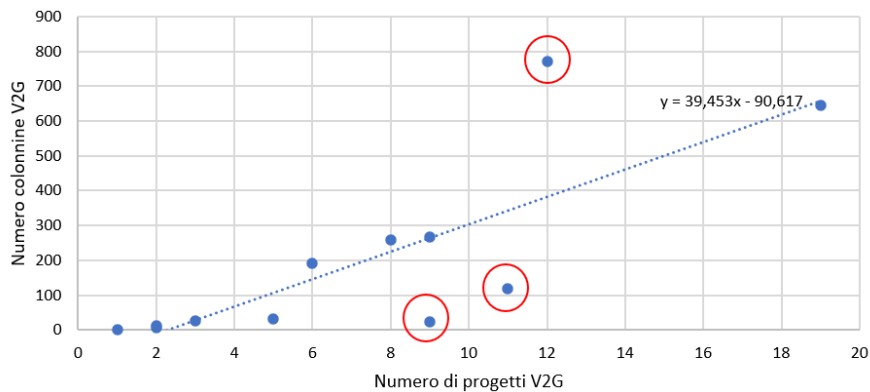


Figura 3.19: Outliers presenti nel grafico a dispersione tra il numero di progetti e le infrastrutture di ricarica V2G

Per maggiore correttezza, per verificare l'ipotesi successiva, i dati relativi a tali outliers verranno eliminati. A questo punto, il campione risulta essere

pari a $n=9$.

5. Per verificare se le due variabili seguono una distribuzione normale è stato scelto di utilizzare il test di "**Shapiro-Wilk**", approccio adatto per i campioni di piccole dimensioni, come nel caso in esame. Per ciascuna variabile, il primo passaggio effettuato è stato ordinare in modo crescente tutti i dati e successivamente calcolare la somma dei quadrati con tale equazione:

$$SS = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (3.1)$$

In seguito, è stato calcolato il coefficiente b la cui formula è:

$$b = \sum_{i=1}^m a_i (x_{n+1-i} - x_i) \quad (3.2)$$

Dato che il campione ha dimensione $n=9$, che è un numero dispari, il parametro m sarà pari a 4 e di conseguenza i coefficienti a_i saranno 4. Quest'ultimi sono stati presi dalla prima tabella di SW. In questo caso, per il calcolo di b , poiché n è dispari, il valore mediano dei dati non è utilizzato. Successivamente, è stata calcolata la statistica W , la cui formula è:

$$W = \frac{b^2}{SS} \quad (3.3)$$

Tramite la seconda tabella di SW e grazie al valore di W calcolato, è stato possibile definire il *p-value*, effettuando un'operazione di interpolazione per maggiore precisione. I risultati ottenuti per le due variabili sono stati i seguenti: per il numero di progetti il *p-value* risulta essere pari a $0,1465 > 0,05$ e pertanto si può considerare il campione come proveniente da una popolazione con distribuzione approssimativamente normale. Purtroppo, per le infrastrutture di ricarica V2G il risultato non è stato positivo, infatti, il *p-value* risulta eccessivamente piccolo e quindi non si può accettare l'ipotesi di normalità.

Alla fine di questa analisi, non è stato possibile calcolare il coefficiente di Pearson, in quanto la variabile relativa al numero di infrastrutture di ricarica V2G non rispetta l'ipotesi 5 sulla distribuzione normale. Per risolvere questo problema e continuare con l'analisi, è stato ritenuto opportuno considerare il coefficiente di **Spearman**. Questo, a differenza del primo considerato, è un indice non parametrico e pertanto meno restrittivo. Questo significa che non è necessario fare ipotesi sulla distribuzione delle due variabili. Infatti le ipotesi da verificare sono solo le prime tre, nel caso specifico già verificate. Tale indice, inoltre, basandosi sui ranghi, risulta molto meno influenzato dagli outliers. Per questo motivo, poiché il campione è già

molto piccolo, si è deciso di ritornare al campione iniziale di dimensione pari a 12. Si può procedere a calcolare i ranghi per le due variabili. Per questo calcolo è stata usata la funzione di Microsoft Excel: "RANGO.MEDIA(num;rif[ordine])".

Tabella 3.15: Ranghi dei progetti e delle infrastrutture di ricarica V2G

Rango Progetti	Rango Inf.V2G
9	8
12	12
10.5	11
8	7
7	5
4.5	9
1	2
2	1
4.5	3
3	6
6	4
10.5	10

Infine, il coefficiente di Spearman non è altro che il coefficiente di Pearson tra i due ranghi. In questo caso, calcolato tramite la funzione di *Microsoft Excel*:

$$\mathbf{Pearson}(\text{matrice1}; \text{matrice2}) \quad (3.4)$$

Coefficiente di Spearman = **0.8456**

Il risultato del coefficiente di Spearman, suggerisce la presenza di una correlazione positiva significativa tra le due variabili e indica, pertanto, che nei paesi europei considerati, c'è una tendenza di crescita congiunta tra le infrastrutture di ricarica V2G e l'implementazione di progetti V2G. In altre parole, sembra che la diffusione di tali progetti stia guidando il mercato dei punti di ricarica. Si può affermare che l'investimento e lo sviluppo di progetti V2G possono essere considerati un motore per l'adozione e la diffusione delle infrastrutture con ricarica bidirezionale. Questo stretto legame tra progetti e infrastrutture ha implicazioni cruciali per la promozione della flessibilità energetica in Europa. In questo contesto, gli attori del mercato energetico come i fornitori di energia, i gestori della rete elettrica e le aziende di servizi pubblici potrebbero trovare vantaggioso investire in progetti relativi al V2G. Dall'altra parte, anche gli operatori di infrastrutture di ricarica potrebbero considerare strategie di espansione incentrate sulla presenza di progetti

V2G nei paesi d'interesse. Un ruolo cruciale in questo contesto può essere ricoperto dagli aggregatori. Quest'ultimi possono promuovere la partecipazione attiva dei veicoli elettrici nei progetti V2G, collegando tali iniziative alle loro strategie, è possibile amplificare l'effetto positivo sulla crescita delle infrastrutture con ricarica bidirezionale. Tra l'altro, va notato che l'interazione tra progetti V2G, infrastrutture di ricarica V2G e gli aggregatori potrebbe generare delle sinergie che beneficiano l'intero ecosistema energetico. Ad esempio, la presenza di tali infrastrutture potrebbe rendere più efficiente l'offerta di servizi da parte degli aggregatori, consentendo una maggiore flessibilità nella gestione dell'energia. Nella prima sezione dell'analisi è stato spiegato il ruolo chiave di tali attori, evidenziando i nomi chiave che sono emersi nei progetti V2G. Nella sezione successiva, si vedranno nel dettaglio i benefici derivanti da questa figura.

3.3.1 Il contributo chiave degli aggregatori

Come anticipato precedentemente, l'aggregatore assume un ruolo centrale all'interno del mercato energetico e all'interno del contesto della flessibilità energetica. Nella sezione iniziale, è stato affermato che tale attore svolge un ruolo essenziale nel coordinare e ottimizzare l'utilizzo delle risorse energetiche fornite dai veicoli elettrici. La loro funzione principale è quella di controllare la partecipazione dei veicoli elettrici alle attività di bilanciamento della rete. Grazie alla sua capacità di gestire la potenza dei veicoli elettrici collegati, accelera e facilita la capacità del sistema di adattarsi dinamicamente alle variazioni nella domanda e nell'offerta di energia. Nella figura 3.8 sono presentati i principali nomi chiave degli aggregatori coinvolti nei diversi progetti. In quest'ultima parte dell'analisi, ci si concentra non tanto sui nomi e sulle aziende coinvolte, ma piuttosto sulla loro presenza all'interno dei progetti. Questo aspetto è importante in quanto una maggior presenza di aggregatori si traduce in una maggiore flessibilità energetica, rappresentando essenzialmente un catalizzatore di essa. Ciò diventa interessante perché una maggior presenza di queste persone, non solo nei progetti ma anche a livello del continente europeo, suggerisce:

- **Capacità di gestione maggiore** in quanto un numero di aggregatori più elevato può portare ad una gestione più efficiente della potenza, ad una resilienza maggiore della rete elettrica e ad un migliore utilizzo delle risorse energetiche disponibili.
- Un numero maggiore di aggregatori significa una più **ampia copertura geografica** e una risposta alle esigenze energetiche più efficiente nelle diverse regioni.
- La presenza degli aggregatori può promuovere lo sviluppo di **sistemi energetici avanzati** e interconnessi. Gli aggregatori agiscono come facilitatori che

collegano veicoli elettrici, reti elettriche e servizi di gestione energetica, creando una sinergia che contribuisce a un ecosistema energetico più integrato. Tra l'altro possono favorire l'integrazione di tecnologie emergenti che potrebbero includere soluzioni innovative, blockchain e intelligenza artificiale.

- Con la partecipazione dei proprietari dei veicoli elettrici ai progetti V2G, gli aggregatori promuovono una **partecipazione più attiva** dei consumatori nel mercato dell'energia. I proprietari dei veicoli hanno l'opportunità di contribuire in modo attivo alla flessibilità energetica e, allo stesso tempo, trarre vantaggi economici dalla loro partecipazione, diventando così una figura cruciale all'interno del panorama energetico.

Una volta evidenziati i motivi per cui è importante la figura dell'aggregatore nel contesto della flessibilità energetica, è possibile esaminare nel grafico a barre sottostante, la situazione nella nazione europea, confrontando il numero di progetti con il numero di aggregatori. Ciò fornisce un'illustrazione chiara delle relazioni tra i due fattori.

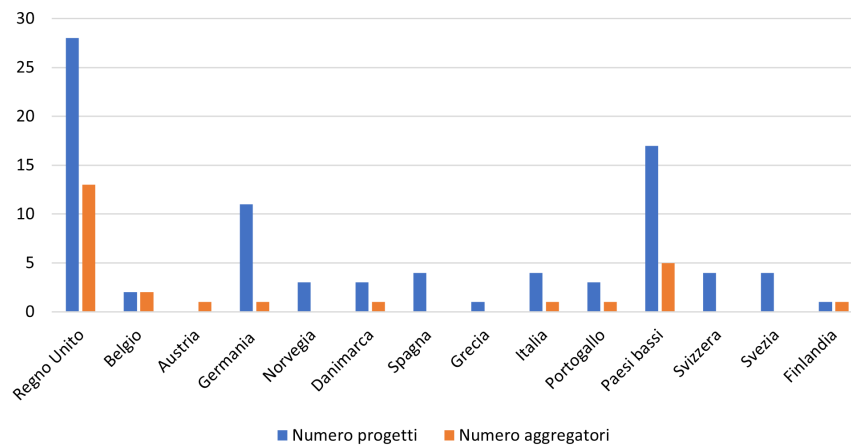


Figura 3.20: Confronto grafico tra numero di aggregatori e numero dei progetti nei paesi europei

A questo punto, è possibile approfondire le differenze tra i paesi, calcolando due indici (I_1 , I_2). Il primo è un indicatore della percentuale di partecipazione di una nazione europea nei progetti V2G sull'intero continente europeo; offre un quadro essenziale per valutare e comprendere l'adozione di questa tecnologia e i suoi effetti a livello europeo e nazionale. Ciò può influenzare la politica, la collaborazione e la transizione verso un sistema energetico più sostenibile. Il secondo indicatore, invece, mostra quanto sia forte la presenza degli aggregatori per ogni progetto che viene eseguito in quella nazione. In altre parole, determina la densità degli aggregatori in

relazione al numero di progetti in un singolo paese. Una percentuale più alta indica che ci sono in media più aggregatori coinvolti in ciascun progetto nella nazione.

$$I_1 = \left(\frac{\text{Numero di aggregatori nel paese}}{\text{Totale degli aggregatori europei}} \right) \times 100 \quad (3.5)$$

$$I_2 = \left(\frac{\text{Numero di aggregatori nel paese}}{\text{Numero totale progetti europei}} \right) \times 100 \quad (3.6)$$

Nella tabella seguente, si potranno osservare i due indici calcolati per i differenti paesi.

Paese	Numero progetti	Numero aggregatori	I1	I2
Regno Unito	28	13	52%	46%
Belgio	2	2	8%	100%
Germania	11	1	4%	9%
Danimarca	3	1	4%	33%
Italia	4	1	4%	25%
Portogallo	3	1	4%	33%
Paesi Bassi	17	5	20%	29%
Finlandia	1	1	4%	100%

Tabella 3.16: Indici calcolati per i diversi paesi europei

Si procederà ora ad esaminare i risultati ottenuti per gli otto paesi considerati:

1. **Regno Unito:** presenta una quantità considerevole di progetti, come era già noto dalle analisi precedenti, e una significativa presenza di aggregatori. Entrambi gli indici risultano essere elevati. In particolare, l'indice I_1 ha raggiunto un valore ottimale, indicando che oltre la metà degli aggregatori presenti nei progetti europei si concentra esclusivamente nel Regno Unito. Nonostante ciò, la loro presenza non copre tutti i progetti, ma si limita al 46% di essi.
2. **Belgio, Finlandia:** entrambi i paesi mostrano una presenza aggregativa completa (l'indice I_2 risulta massimo) in proporzione al numero di progetti.
3. **Germania:** questa nazione non ha ottenuto ottimi risultati in questa analisi. Infatti, presenta 11 progetti e solo un aggregatore, mostrando due indici relativamente bassi. Ciò suggerisce che la presenza aggregativa è meno diffusa rispetto ad altri paesi.

4. **Danimarca, Italia, Portogallo:** questi tre paesi sono considerati insieme perché presentano risultati molto simili. Essi mostrano un numero modesto di progetti (3/4) e una presenza aggregativa abbastanza buona.
5. **Paesi Bassi:** nei Paesi Bassi, nonostante il numero considerevole di progetti V2G, la presenza degli aggregatori risulta un po' limitata in proporzione al numero dei progetti stessi. Tuttavia, confrontando il risultato con gli altri paesi, risulta essere comunque positivo.

3.4 Considerazioni finali e limiti delle analisi

Nel presente capitolo, l'obiettivo principale è stato quello di fornire un'analisi aggiornata e dettagliata dei progetti e delle infrastrutture di ricarica legati alla tecnologia V2G in Europa. In seguito a ciò, si è proceduto a formulare una previsione della crescita della tecnologia bidirezionale fino al 2025. In questa fase, i grafici presentati (come la figura 3.11) illustrativi della tendenza di crescita delle infrastrutture di ricarica con tecnologia bidirezionale nei vari paesi europei, hanno unanimemente evidenziato una direzione positiva. Tuttavia, è importante notare che c'è una notevole variabilità tra i vari paesi. Questa diversità può essere dovuta ad una varietà di fattori. Tra questi, si manifestano sicuramente le politiche governative, gli investimenti nel settore delle energie rinnovabili, l'adozione di veicoli elettrici e la disponibilità di risorse. Alcuni paesi potrebbero avere un maggiore coinvolgimento politico e finanziario che tende a promuovere la tecnologia, mentre altri potrebbero essere più lenti nell'adottare questa innovazione. Ecco alcune osservazioni e possibili spiegazioni per le discrepanze trovate:

- **Regno Unito:** il Regno Unito si è distinto come leader nella promozione e nell'adozione della tecnologia V2G. Il mercato britannico, infatti, si è dimostrato essere il più maturo e ha riconosciuto il potenziale rivoluzionario di tale strumento tecnologico sostenendo attivamente il suo sviluppo attraverso numerose iniziative progettuali.
- **Italia:** curiosamente, l'Italia mostra una crescita notevolmente elevata nonostante abbia implementato un numero relativamente basso di progetti V2G. Tale fenomeno potrebbe essere il risultato della rapida adozione della tecnologia V2G e degli investimenti significativi nel settore. Infatti, dal 2019 al 2022 sono state implementate circa 600 infrastrutture di ricarica bidirezionali, grazie all'attuazione di uno dei progetti pilota più importanti nel contesto europeo (Fiat-Chrysler V2G). Si può affermare che l'Italia sta compiendo grandi passi per promuovere la tecnologia V2G e in generale la diffusione della mobilità elettrica. Uno dei fattori che potrebbe contribuire ad un'ulteriore crescita è un decreto pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale il 14 febbraio 2020

[20] il quale stabilisce standard e procedure per promuovere la tecnologia di integrazione tra veicoli elettrici e reti elettriche, ovvero il V2G.

- **Svezia:** la Svezia è uno dei leader mondiali in termini di numero di veicoli elettrici venduti rispetto al totale di tutte le auto in circolazione. Sono nel 2022, ha venduto in totale, 163 mila veicoli elettrici [14]. Tuttavia, le infrastrutture bidirezionali e i progetti relativi al V2G sono abbastanza limitati. Uno tra questi progetti risulta essere particolarmente importante poiché punta allo sviluppo di una centrale elettrica virtuale che collega tutte le auto Polestar 3 alla rete.
- **Svizzera:** la Svizzera ha mostrato un trend positivo nella crescita di caricatori V2G attribuibile non solo alle politiche energetiche favorevoli e alla diffusione massiccia dei veicoli elettrici, ma anche all'alta consapevolezza ambientale. La Svizzera, infatti, è rinomata per la sua solida cultura ambientale e il forte impegno per la sostenibilità, ciò potrebbe diffondere la necessità di migliorare costantemente e adottare nuove tecnologie sempre più *smart* che riducono le emissioni di carbonio e supportano l'integrazione di fonti di energia rinnovabile nella rete.
- **Germania:** l'impegno nell'attuazione di progetti e nello sviluppo di infrastrutture di ricarica avanzate e intelligenti ha rafforzato la posizione della Germania, rendendola uno dei paesi chiave nella transizione verso la mobilità elettrica.
- **Portogallo:** è un paese in cui i punti di ricarica con tecnologia bidirezionale si stanno diffondendo e si diffonderanno sempre di più perché la sua posizione geografica e il clima lo rendono ideale per l'energia solare ed eolica; infatti, ha stabilito nel corso degli anni molti record nella produzione di energia rinnovabile.
- **Paesi Bassi, Norvegia:** nei Paesi Bassi, la crescita potrebbe essere attribuita al fatto che in Europa tale paese si posiziona al primo posto per la distribuzione delle infrastrutture di ricarica. Alla fine del 2022 esse risultano essere pari a circa 124 mila, pertanto i Paesi Bassi rappresentano una realtà all'avanguardia con significativi progressi nella mobilità elettrica. Dall'altro canto, la Norvegia è tra i leader mondiali nella mobilità elettrica. Nel 2022 la percentuale di vendita dei veicoli elettrici risultava essere pari al 88% sul numero totale di veicoli venduti. [14]

Successivamente, dopo aver osservato le differenze tra i diversi paesi europei nell'attuazione di progetti pilota V2G e nello sviluppo di caricabatterie intelligenti e bidirezionali, è stata fatta un'analisi sulla correlazione, utilizzando il coefficiente

di Spearman. Il risultato pari a circa 0,85 ha mostrato una forte correlazione tra i progetti V2G e il numero di infrastrutture V2G, suggerendo che l'infrastruttura è strettamente associata all'implementazione di progetti V2G. Questo potrebbe indicare un approccio strategico e coordinato, dove lo sviluppo di progetti è accompagnato dalla creazione di infrastrutture a supporto. Il forte legame tra i progetti V2G e il numero di infrastrutture V2G suggerisce un ambiente favorevole alla collaborazione degli aggregatori di energia. L'ultima fase di analisi, infatti, consiste nell'osservare il numero di aggregatori presenti nei vari progetti europei attraverso l'utilizzo di due indici. I risultati ottenuti, mostrano che tra i paesi in cui la presenza di aggregatori è forte ci sono principalmente il Regno Unito e i Paesi Bassi. Nelle altre nazioni, come ad esempio in Germania, in Italia e in Portogallo, gli aggregatori sono presenti ma in una bassa percentuale rispetto al numero di progetti attuati. È possibile concludere affermando che i paesi con un numero limitato di aggregatori dovrebbero promuovere attivamente la collaborazione con questi attori, considerando tale rapporto come un'opportunità strategica per potenziare l'efficienza dei progetti nel proprio territorio. Dall'altra parte, quelli che hanno registrato già un numero elevato, dovrebbero preservare in questa direzione, consolidando ulteriormente le relazioni esistenti e in seguito crearne delle nuove. Infine, è bene ricordare che gli aggregatori sono dei catalizzatori della flessibilità energetica. Pertanto, quanto più diffusa è la loro presenza in un paese, tanto maggiore sarà la stabilità e l'efficienza della rete energetica.

Questa analisi presenta certamente delle limitazioni. Innanzitutto, nel database considerato, spesso molti dati risultavano insufficienti o non disponibili, riducendo progressivamente le dimensioni del campione e portando all'esclusione di alcuni paesi. Anche l'analisi della correlazione risulta limitata, poiché non implica causalità e non può stabilire una relazione causa-effetto tra le variabili considerate. In particolare, non è in grado di verificare la presenza o l'effetto di altre variabili oltre alle due prese in esame.

Capitolo 4

Conclusioni e prospettive future

In un contesto di transizione energetica, dove le fonti rinnovabili presentano una natura incostante, la flessibilità energetica emerge come un elemento principale per modellare un futuro sostenibile. La transizione verso fonti energetiche più sostenibili è oggi più impellente che mai, e la mobilità elettrica sta emergendo come un settore di notevole rilevanza economica. Tuttavia, l'ampia adozione di veicoli elettrici potrebbe comportare sfide per il sistema elettrico, specialmente in caso di ricarica non coordinata durante i periodi di picco della domanda. Questo potrebbe causare sovraccarichi locali nelle reti di distribuzione, rendendo necessaria ulteriore generazione di elettricità. Tra le soluzioni principali, presentate nel capitolo 2, per affrontare l'imprevedibilità delle fonti rinnovabili e bilanciare dinamicamente l'offerta e la domanda di energia, l'utilizzo della tecnologia *vehicle to grid* si rileva particolarmente promettente. Oggigiorno, la tecnologia V2G sta guadagnando terreno in tutto il mondo, con molte nazioni che mostrano un crescente interesse nello sviluppo e nell'attuazione di soluzioni innovative. Il trend è dimostrato da più di 130 progetti V2G avviati in tutto il mondo con la partecipazione attiva di 27 nazioni. Queste iniziative presentano una varietà di prospettive e metodi, sottolineando la diversità di sfide e opportunità affrontate a livello internazionale. L'analisi Pestel, condotta all'interno del progetto Parker, ha evidenziato due barriere particolarmente ostiche da superare per la diffusione su vasta scala del V2G, ovvero la barriera tecnologica e quella economica. Vista l'analisi sulla tendenza di crescita delle infrastrutture di ricarica intelligenti e bidirezionali riportata nel capitolo 3, è chiaro che i driver e gli ostacoli variano da paese a paese e dipendono fortemente dalle politiche governative, dagli incentivi e dalle iniziative proprie del paese stesso. Al termine della sezione, il Regno Unito risulta essere il mercato più maturo e pronto per tale tecnologia, mostrando, rispetto agli altri paesi, una tendenza di crescita

straordinariamente positiva. L'ultima sezione dell'analisi è dedicata ad osservare la partecipazione degli aggregatori, all'interno di alcuni progetti pilota. Essa rivela il loro ruolo chiave nel superare le sfide legate alla coordinazione e all'integrazione del V2G. La presenza attiva di tali attori, infatti, indica un potenziale per la crescita e la maturazione del mercato V2G a lungo termine.

Guardando al futuro della tecnologia V2G e della flessibilità energetica, si possono intravedere una serie di sviluppi chiave. Innanzitutto, per una maggiore adozione della tecnologia su scala globale, dovranno essere definiti standard internazionali, permettendo una maggiore interoperabilità tra i veicoli e le reti elettriche. Attualmente, l'unico connettore disponibile a livello commerciale che permette la ricarica bidirezionale è lo CHAdeMO, come osservato nella panoramica sulla mobilità elettrica nella sezione 2. Al tempo stesso, si spera che nei prossimi anni gli avanzamenti tecnologici continuino, superando le sfide e le barriere tecnologiche del V2G, descritte nella sezione pertinente, portando a miglioramenti delle batterie e ulteriori soluzioni di ottimizzazione delle risorse disponibili. Inoltre, le politiche governative e gli incentivi potrebbero svolgere un ruolo fondamentale nell'accelerare l'adozione del V2G. Ciò potrebbe includere sussidi, agevolazioni fiscali e tariffe energetiche vantaggiose. In questo modo, sia i consumatori che le aziende sarebbero spinti ad investire in questa tecnologia, consolidando il suo ruolo nel panorama energetico. Pertanto, la flessibilità energetica, incorporata in soluzioni come il V2G, diventa il collante che unisce tutti gli sforzi per una transizione energetica sostenibile. I progetti V2G in corso in tutto il mondo mostrano chiaramente che la combinazione di mobilità elettrica, *vehicle to grid* e flessibilità energetica è essenziale per costruire un futuro in cui l'energia è gestita con intelligenza e responsabilità.

Bibliografia

- [1] Francis Mwasilu, Jackson John Justo, Eun-Kyung Kim, Ton Duc Do e Jin-Woo Jung. «Electric vehicles and smart grid interaction: A review on vehicle to grid and renewable energy sources integration». In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 34 (2014), pp. 501–516. ISSN: 1364-0321. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.03.031>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114001920> (cit. a p. 2).
- [2] V2G Hub. *V2G Hub*. 2024. URL: <https://www.v2g-hub.com/insights/> (cit. alle pp. 3, 33).
- [3] Social e Tech. *Energia sostenibile e flessibile: a che punto è l'Italia?* 2023. URL: <https://socialandtech.net/energia-sostenibile-e-flessibile-a-che-punto-e-litalia/#:~:text=Il%20futuro%20dell%E2%80%99energia%20dipender%C3%A0%20dalla%20capacit%C3%A0%20di%20adattarsi,ma%20anche%20per%20il%20benessere%20delle%20generazioni%20future.> (cit. a p. 6).
- [4] Sadam Hussain, Chunyan Lai e Ursula Eicker. «Flexibility: Literature review on concepts, modeling, and provision method in smart grid». In: *Sustainable Energy, Grids and Networks* 35 (2023), p. 101113. ISSN: 2352-4677. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.segan.2023.101113>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352467723001212> (cit. alle pp. 6, 7).
- [5] Rinnovabili.it. *Flessibilità energetica, cos'è e perché deve aumentare 7 volte*. 2023. URL: <https://www.rinnovabili.it/energia/politiche-energetiche/flessibilita-energetica-cosa-deve-crescere/> (cit. a p. 6).
- [6] Enel X. *Cosa è il Demand Response e perché conviene*. 2024. URL: <https://www.enelx.com/it/it/faq/cosa-e-il-demand-response-perche-conviene> (cit. alle pp. 7, 8).
- [7] M. H. Albadi e E. F. El-Saadany. «Demand Response in Electricity Markets: An Overview». In: *2007 IEEE Power Engineering Society General Meeting*. 2007, pp. 1–5. DOI: 10.1109/PES.2007.385728 (cit. alle pp. 8, 10, 11).

-
- [8] Pierluigi Siano. «Demand response and smart grids—A survey». In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 30 (2014), pp. 461–478. ISSN: 1364-0321. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.10.022>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032113007211> (cit. a p. 9).
- [9] Energy5. *The Future of Distributed Generation Implications and Benefits*. 2023. URL: <https://energy5.com/the-future-of-distributed-generation-implications-and-benefits> (cit. a p. 11).
- [10] Henrik Lund, Poul Alberg Østergaard, David Connolly, Iva Ridjan, Brian Vad Mathiesen, Frede Hvelplund, Jakob Zinck Thellufsen e Peter Sorknæs. «Energy Storage and Smart Energy Systems». In: 11 (2016), pp. 3–14. DOI: 10.5278/ijsepm.2016.11.2. URL: <https://journals.aau.dk/index.php/sepm/article/view/1574> (cit. a p. 12).
- [11] Enel. *Cos'è lo stoccaggio di energia?* 2023. URL: <https://corporate.enelx.com/it/question-and-answers/what-is-battery-energy-storage> (cit. a p. 13).
- [12] Enel. *Energy storage: un elemento fondamentale della transizione energetica*. 2023. URL: <https://corporate.enel.it/storie/articoli/2023/08/energy-storage> (cit. a p. 13).
- [13] International Energy Agency (IEA). *Global EV Outlook 2023*. Rapp. tecn. Licenza: CC BY 4.0. Paris: IEA, 2023. URL: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023> (cit. alle pp. 16, 23).
- [14] IEA. *Global EV Data Explorer*. 2023. URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/global-ev-data-explorer> (cit. alle pp. 18, 48, 73).
- [15] Rebeka Raff, Velimir Golub, Denis Pelin e Danijel Topić. «Overview of charging modes and connectors for the electric vehicles». In: *2019 7th International Youth Conference on Energy (IYCE)*. 2019, pp. 1–6. DOI: 10.1109/IYCE45807.2019.8991586 (cit. a p. 20).
- [16] International Renewable Energy Agency. *Innovation Outlook: Smart Charging for Electric Vehicles*. Rapp. tecn. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2019 (cit. alle pp. 24, 26).
- [17] Benjamin K Sovacool, Lance Noel, Jonn Axsen e Willett Kempton. «The neglected social dimensions to a vehicle-to-grid (V2G) transition: a critical and systematic review». In: *Environmental Research Letters* 13.1 (gen. 2018), p. 013001. DOI: 10.1088/1748-9326/aa9c6d. URL: <https://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/aa9c6d> (cit. a p. 28).

- [18] Abdulgader Alsharif, Abdussalam Ali Ahmed, Mohamed Mohamed Khaled, Ahmed Salem Daw Alarga, Omer. S. M. Jomah e Ibrahim Imbayah. «Comprehensive State-of-the-Art of Vehicle-To-Grid Technology». In: *2023 IEEE 3rd International Maghreb Meeting of the Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (MI-STA)*. 2023, pp. 530–534. DOI: 10.1109/MI-STA57575.2023.10169116 (cit. a p. 28).
- [19] Parker. *The Parker Project Final report-Appendices*. 2019. URL: https://parker-project.com/wp-content/uploads/2019/03/Parker_Final-report_2019_Appendices.pdf (cit. a p. 31).
- [20] *Criteri e modalita' per favorire la diffusione della tecnologia di integrazione tra i veicoli elettrici e la rete elettrica, denominata vehicle to grid*. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana. 2020. URL: <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2020/02/14/20A00891/sg> (cit. a p. 73).