

APRIAMO LA STRADA AL TRASPORTO ELETTRICO NAZIONALE.

Progetto di ricerca
realizzato da
Enel Foundation
e Politecnico di Milano.



POLITECNICO
MILANO 1863

enel
Foundation

APRIAMO LA STRADA AL TRASPORTO ELETTRICO NAZIONALE.

Progetto di ricerca
realizzato da
Enel Foundation
e Politecnico di Milano.

A cura di:

Giovanni Azzone *Rettore
Politecnico di Milano*

Piercesare Secchi *Direttore del Dipartimento
di Matematica
Politecnico di Milano*

Dario Zaninelli *Prorettore
Politecnico di Milano*

RINGRAZIAMENTI



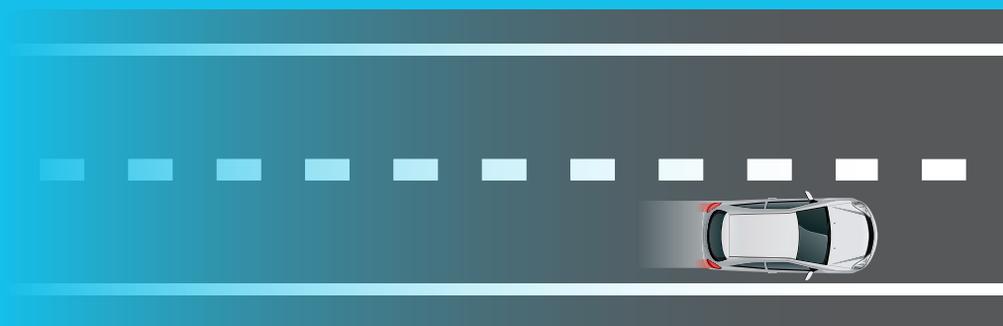
I curatori del presente volume desiderano ringraziare sentitamente il Team di Enel che ha affiancato il Politecnico di Milano in questa ricerca. In particolare, si ringraziano, in ordine alfabetico:

- **Chiara Bronco** (GI&N Network Technology-New Business Solutions);
- **Federico Caleno** (Responsabile New Technology and GI&N Innovation);
- **Mattia Campioli** (Sviluppo Rete Italia);
- **Giulio Caneponi** (Sviluppo Rete Italia);
- **Fabio Cazzato** (Sviluppo Rete Italia);
- **Antonio Coccia** (Sostenibilità Italia);
- **Cinzia Corsetti** (Responsabile Sostenibilità Italia and Project Coordinator Enel-side);
- **Marco Di Clerico** (Sviluppo Rete Italia);
- **Daniela Di Rosa** (Enel Foundation);
- **Michele Imbimbo** (Sostenibilità Italia);
- **Andrea Lolli** (Innovazione e Nuovi Business);
- **Claudia Migliorini** (Sviluppo Rete Italia);
- **Angelo Montini** (Sviluppo Rete Italia);
- **Mariano Morazzo** (Senior Advisor Enel Foundation);
- **Leonardo Padovano** (Sviluppo Rete Italia);
- **Carlo Papa** (Direttore Enel Foundation);
- **Tiziano Valentineti** (Responsabile Soluzioni per la mobilità elettrica-Tecnologia di Rete Italia).

Il loro apporto e le loro precedenti esperienze nel settore della mobilità elettrica hanno contribuito al miglioramento e alla messa a punto dei risultati documentati nel presente studio.

PREFAZIONE

di Francesco Starace, Presidente di Enel Foundation
e Amministratore Delegato di Enel





È ormai sempre più frequente, anche tra i non addetti ai lavori, sentir parlare di auto elettrica. Il fenomeno è in espansione: le principali case automobilistiche ne hanno lanciato modelli a prezzi più competitivi; molte aziende le hanno introdotte nelle loro flotte; i car *sharing* iniziano a posizionarsi in questo nuovo mercato; sempre più famiglie si interrogano sulla convenienza economica e sui benefici quotidiani che la nuova tecnologia potrebbe apportare.

Per un'adeguata diffusione della mobilità elettrica è necessario però dotarsi di una infrastruttura capillare che dia la libertà agli utenti di poter ricaricare la propria auto in modo agevole: a casa, lungo la strada, in ufficio, nel centro commerciale così come sulle autostrade durante i viaggi più lunghi. È fondamentale inoltre che la modalità di ricarica sia semplice, veloce e sicura.

In questo contesto risulta strategico lo studio realizzato dal Politecnico di Milano e da Enel Foundation che mira a determinare la fattibilità di scenari di diffusione dell'auto elettrica in Italia, sulla base della realizzazione di un'infrastruttura di ricarica in tutto il territorio nazionale. Il dimensionamento dell'infrastruttura è relativo alla copertura del sistema di trasporto elettrico privato nella rete urbana, statale ed autostradale, adeguato ad 1 milione di veicoli elettrici previsti per il 2020.

Lo sviluppo della mobilità elettrica rappresenta un orizzonte imprescindibile per la qualità della nostra vita quotidiana. Lo impongono gli obiettivi di Parigi sul fronte del cambiamento climatico e il dato oggettivo che il trasporto rimane uno dei settori responsabili delle emissioni di gas serra, pericolosi per il futuro del nostro pianeta.

Oltre alla riduzione delle emissioni di CO₂, con evidente miglioramento della qualità dell'aria, la rivoluzione nel modello di trasporto comporterebbe importanti implicazioni anche in altri settori: aumenterebbe l'indipendenza energetica dei Paesi importatori di petrolio e ridurrebbe la necessità di manutenzione delle auto generando un'ulteriore piattaforma per lo sviluppo di veicoli connessi digitalmente o guidati senza pilota.

L'auto elettrica sarà la protagonista di un futuro in cui la digitalizzazione delle infrastrutture permetterà l'uso del veicolo elettrico anche come sistema di accumulo distribuito. La gestione intelligente delle ricariche sarebbe infatti uno strumento utile per mitigare gli effetti della non programmabilità, tipica della produzione elettrica da fonti rinnovabili. Una funzionalità che può essere ulteriormente potenziata implementando la tecnologia *Vehicle-to-Grid* che abilita la possibilità di restituire parte dell'energia immagazzinata nelle batterie delle auto elettriche in sosta, fornendo così servizi per la regolazione di rete.

In questo scenario spicca il ruolo chiave delle utilities. La digitalizzazione della rete elettrica, la ricerca e l'innovazione in tecnologie avanzate rappresentano i tasselli fondamentali per uno sviluppo di un'infrastruttura di ricarica all'avanguardia. Mantenere un approccio sistemico e di lungo termine capace di coinvolgere tutti gli stakeholder appare come l'unica strada percorribile per raggiungere gli obiettivi di progresso e di benessere nelle nostre città.

INDICE



Parte 1. Il quadro di riferimento 12

1. La mobilità elettrica privata in Europa 13

- 1.1 La rilevanza della mobilità elettrica privata nel contesto Europeo 13
- 1.2 La diffusione dell'auto elettrica in Europa e in Italia 15
- 1.3 I driver della domanda e il ruolo strategico dell'infrastruttura 21

2. L'evoluzione dei veicoli e delle infrastrutture di ricarica 28

- 2.1 I veicoli elettrici attualmente in commercio 28
- 2.2 La prossima generazione di veicoli elettrici 32
- 2.3 Le modalità di ricarica dei veicoli elettrici 34
- 2.4 Evoluzione dei sistemi di ricarica per veicoli elettrici 40

Parte 2. La progettazione del sistema di infrastrutture di ricarica 42

3. La stima del parco veicoli elettrici 43

- 3.1 La rilevanza della mobilità elettrica privata nel contesto Europeo 43
- 3.2 La stima della domanda: il numero di veicoli elettrici in circolazione nel 2020 45
- 3.3 La stima della domanda: l'autonomia dei veicoli elettrici 47
- 3.4 Gli scenari in sintesi 47

4. La progettazione della rete urbana 48

- 4.1 L'unità di analisi e la stima del parco auto elettrico 48
- 4.2 La struttura del modello 54
- 4.3 I risultati in sintesi 58
- 4.4 Sostituzione infrastrutture *quick* con *fast* 62

5. La progettazione della rete extraurbana 62

- 5.1 Il modello autostradale 63
- 5.2 Il modello delle strade statali 69
- 5.3 I risultati dei modelli extraurbani: infrastrutture di ricarica 70

Parte 3. Gli impatti attesi 72

6. La valutazione degli impatti 73

- 6.1 La selezione del set di indicatori 73
- 6.2 Gli impatti economici 77
- 6.3 Gli impatti ambientali 80
- 6.4 Gli impatti energetici 83

INTRODUZIONE



Lo sviluppo di un'adeguata infrastruttura di ricarica pubblica è oggi considerato l'elemento cardine per l'effettiva diffusione della mobilità elettrica privata in Europa e in Italia (dove per privata ci si riferisce al parco veicoli anche aziendali, ma non di servizio pubblico).

È la presenza dell'infrastruttura di ricarica il fattore che rende possibile la circolazione dei veicoli elettrici e contribuisce a superare la cosiddetta *range anxiety*, ossia l'ansia del guidatore di un veicolo elettrico "terrorizzato" dalla limitata autonomia garantita dalle batterie oggi in uso.

La centralità dell'infrastruttura di ricarica come driver della mobilità elettrica privata ha portato l'Unione Europea a stabilire un quadro comune di misure per la realizzazione di un'infrastruttura per i combustibili alternativi. Gli Stati membri sono chiamati a garantire la creazione entro il 2020 di un numero adeguato di punti di ricarica accessibili al pubblico.

In questo contesto, il progetto svolto dal gruppo di lavoro del Politecnico di Milano si è posto i seguenti obiettivi:

- **dimensionare**, in termini fisici ed economici, la rete di infrastrutture di ricarica ad uso pubblico di **tipo quick**⁽¹⁾ necessarie per assicurare nel 2020 la mobilità elettrica sull'intero territorio nazionale;
- **dimensionare**, in termini fisici ed economici, la rete di infrastrutture di ricarica di **tipo fast**⁽²⁾ necessarie per assicurare nel 2020 la mobilità elettrica autostradale;
- individuare la rete di aree di ricarica necessarie per assicurare una **copertura** del sistema delle **strade statali**;
- individuare una **distribuzione di massima** sul territorio di tali infrastrutture;
- fornire una stima di massima dell'**impatto** del progetto di infrastrutturazione in termini **economici, ambientali ed energetici**.

Per soddisfare questi obiettivi è stato necessario valutare e gestire l'incertezza di alcune variabili progettuali. In primo luogo la domanda rappresentata dal parco veicoli elettrici in circolazione al 2020; poi altri parametri, quali l'autonomia dei veicoli, il tempo di ricarica e la percorrenza media giornaliera dei conducenti di veicoli elettrici, che per loro natura rappresentano gradi di indeterminatezza destinati ad influenzare la qualità della stima finale.

Per gestire queste variabili, nel progetto si è deciso in primo luogo di verificare i dati oggi disponibili sul valore attuale dei parametri e sulla loro possibile evoluzione. I parametri sono stati classificati in:

- grandezze a **basso grado di incertezza**. Ad esse viene associato nei modelli di stima un valore di riferimento. Attraverso un'analisi di sensitività è possibile comprendere le conseguenze di un'evoluzione diversa rispetto alle attese;
- grandezze ad **alto grado di incertezza** a cui vengono associati in generale dei *range* di variabilità, a partire dai quali vengono costruiti scenari differenti.
- In generale, si è deciso di utilizzare **modelli parametrici**, in modo da consentire una revisione delle stime nel tempo, sulla scorta di evoluzioni del contesto eventualmente più chiare.

1 Per ricarica *quick* si intende un sistema di ricarica veloce in corrente alternata, tipicamente da 22 kW e fino a un massimo di 43 kW.

2 Per ricarica *fast* s'intende un sistema di ricarica rapido in corrente continua con potenza di almeno 50 kW.

Il libro è articolato in tre parti. Nella prima parte è delineato il quadro di riferimento, con una speciale attenzione allo stato dell'arte della mobilità elettrica privata. In particolare, nel primo capitolo vengono illustrati in sintesi le dinamiche di diffusione dei veicoli elettrici a livello europeo ed italiano (con riferimento agli obiettivi dei diversi Paesi), il dimensionamento attuale, i driver della domanda e la loro evoluzione. Nel secondo capitolo sono invece analizzate le prestazioni dei veicoli elettrici, con *focus* sia sui veicoli oggi in commercio, sia su quelli della prossima generazione. In modo analogo si illustrano le modalità di ricarica dei veicoli elettrici, in termini di attualità e possibili evoluzioni per il futuro.

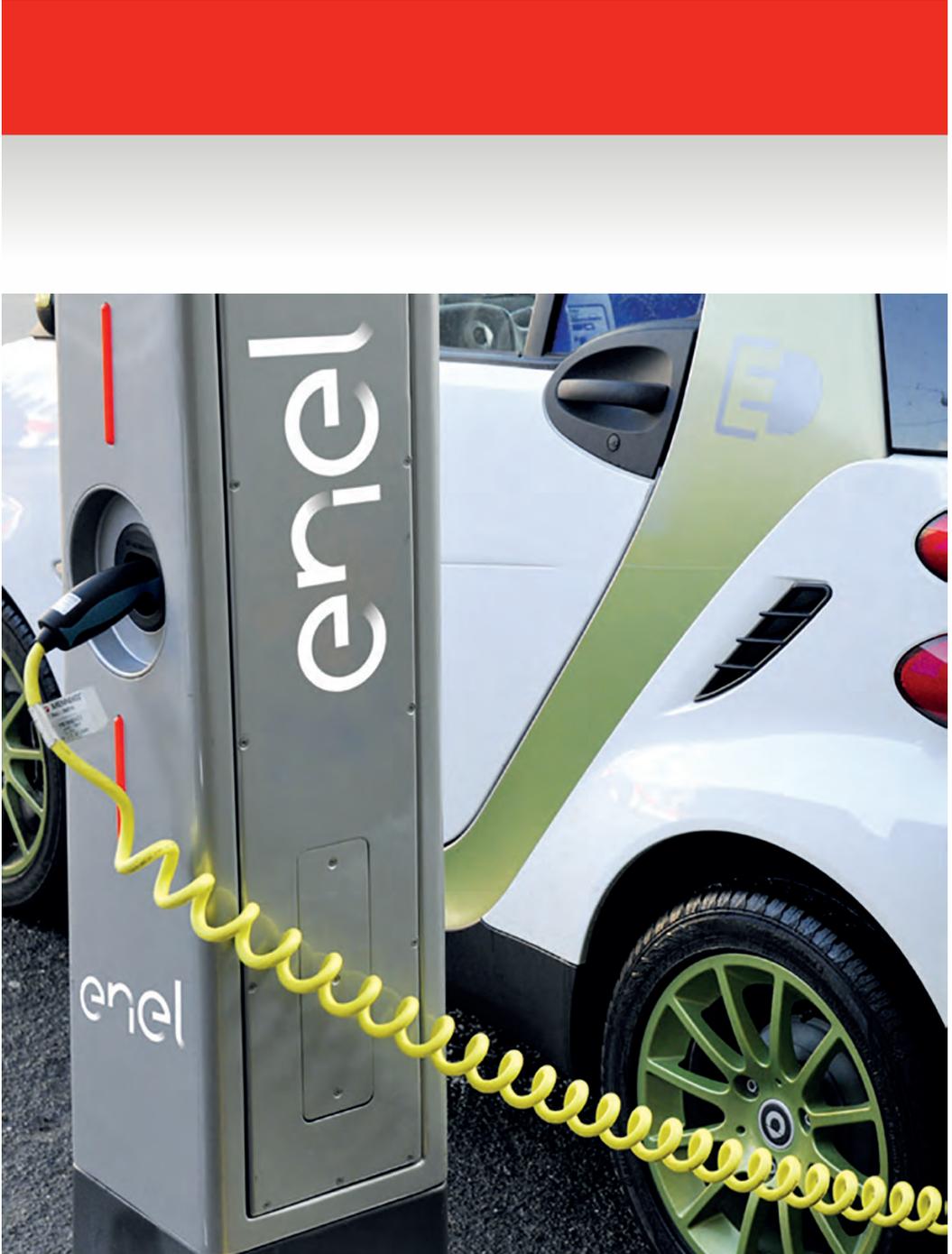
La seconda parte rappresenta il cuore del lavoro. In questa parte, sono presentati la modellistica utilizzata e i risultati della progettazione dell'infrastruttura di ricarica. In particolare, nel terzo capitolo, si descrivono le logiche utilizzate per effettuare la stima della domanda e vengono introdotti gli scenari di riferimento individuati (minimo, intermedio, obiettivo, futuristico).

Nel quarto capitolo è illustrata la progettazione della rete urbana a livello comunale. Nello specifico sono presentate le ipotesi fatte in relazione ai principali parametri di riferimento (utenti e profili d'uso), la struttura del modello e i risultati di sintesi (in appendice sono disponibili i risultati di dettaglio).

Il quinto capitolo è dedicato alla progettazione della rete extraurbana, autostrade e strade statali, che si basa su due modelli dedicati. Per ciascun modello vengono presentate le ipotesi, la struttura e i risultati.

La terza ed ultima sezione è relativa agli impatti attesi derivanti dal progetto di infrastrutturazione. Nel sesto capitolo è introdotto uno speciale set di indicatori che ha la finalità di misurare sinteticamente gli impatti del progetto sul piano economico (investimenti e fattori di utilizzo dell'infrastruttura), ambientale (emissioni di CO₂) ed energetico (consumi di energia elettrica). Il set di indicatori è utilizzato per valutare gli effetti dell'infrastrutturazione nei quattro scenari di riferimento.





PARTE 1.

Il quadro di riferimento



Autori:

Marika Arena (Dipartimento di Ingegneria Gestionale, Politecnico di Milano)

Federica Foiadelli (Dipartimento di Energia, Politecnico di Milano)

Morris Brenna (Dipartimento di Energia, Politecnico di Milano)

Michela Longo (Dipartimento di Energia, Politecnico di Milano)

1. La mobilità elettrica privata in Europa

1.1 La rilevanza della mobilità elettrica privata nel contesto Europeo

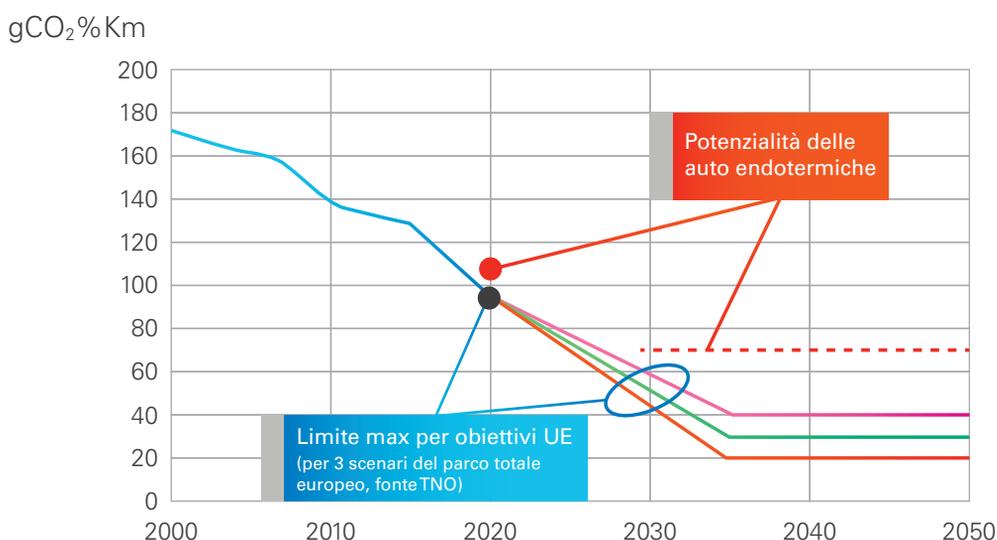
Nonostante la crescente attenzione dedicata al trasporto pubblico, il veicolo privato è ancora oggi il mezzo di trasporto con cui si effettua il maggior numero di spostamenti e, secondo il *Rapporto Isfort 2014*, è il mezzo che riscuote il maggior "successo" in termini di soddisfazione dell'utilizzatore. La diffusione della mobilità elettrica non può non tenere conto di questo dato.

Non a caso, l'auto elettrica è spesso presentata nel dibattito pubblico come una possibile soluzione ai vari problemi della mobilità, in particolare urbana, come l'inquinamento e il rumore, oltre a fornire un'interessante opportunità per limitare e ridurre la dipendenza da combustibili tradizionali.

A livello europeo, la mobilità elettrica privata può giocare un ruolo di primo piano per il raggiungimento degli obiettivi di riduzione delle emissioni di CO₂ nel settore dei trasporti. Il dato è tanto più interessante quanto più si considerano i traguardi ambiziosi che l'Unione Europea si è imposta rispetto a Stati Uniti, Cina e Giappone, puntando ad un cap di 95 gCO₂/km entro il 2020 (**Figura 1**).

Per rispettare le direttive europee, le auto immesse su strada nel 2020 dovrebbero mediamente produrre meno di 40-60 gCO₂/km. Essendo previsto però che le auto a combustione interna per quella data emetteranno un valore superiore ai 100 gCO₂/km, la capacità di rispettare gli obiettivi dipende in larga parte dall'effettiva penetrazione dei veicoli elettrici nel mercato.

Figura 1: Emissione massime di CO₂ per il parco auto Europeo



Su questa base, per ciascun Paese membro dell'Unione sono stati definiti dei valori target, relativi sia al numero di veicoli in circolazione al 2020, sia al numero minimo di infrastrutture di ricarica⁽³⁾ (**Tabella 1**), in modo da garantire un'effettiva penetrazione della mobilità elettrica privata (fonte: http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-13-24_en.htm).

Tabella 1 Obiettivi fissati della Commissione Europea riguardo le installazioni di punti di ricarica e il numero di veicoli elettrici entro il 2020 (fonte: http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-13-24_en.htm)

Stato membro	Target infrastruttura 2020	Target veicoli 2020
Austria	12.000	250.000
Belgium	21.000	-
Bulgaria	7.000	-
Cyprus	2.000	-
Czech Republic	13.000	-
Germany	150.000	1.000.000
Denmark	5.000	200.000
Estonia	1.000	-
Greece	13.000	-
Finland	7.000	-
France	97.000	2.000.000
Hungary	7.000	-
Ireland	2.000	350.000
Italy	125.000	130.000 (entro 2015)
Lithuania	4.000	-
Luxembourg	1.000	40.000
Latvia	2.000	-
Malta	1.000	-
Netherlands	32.000	200.000
Poland	46.000	-
Portugal	12.000	200.000
Romania	10.000	-
Spain	82.000	2.500.000
Slovakia	4.000	-
Slovenia	3.000	14.000
Sweden	14.000	600.000
United Kingdom	122.000	1.550.000

Com'è evidente dai dati riportati in tabella, gli obiettivi relativi sia ai punti di ricarica, sia al numero di veicoli elettrici, variano sensibilmente all'interno dell'UE: i Paesi che si sono dati obiettivi più ambiziosi sono Germania, Francia, Regno Unito, Italia e Spagna.

Un caso limite è poi rappresentato dalla Norvegia (Paese esterno alla UE), dove è stato stilato un accordo trasversale tra le quattro principali formazioni politiche del Paese, il cui obiettivo è

³ È interessante sottolineare che nell'ambito di questa proposta, sia stato stabilito anche un numero minimo di punti di ricarica che utilizzeranno lo stesso tipo di connettore, al fine di creare una massa critica di punti di ricarica.

addirittura l'azzeramento delle immatricolazioni di auto con motore a combustione interna a partire dal 2025. Benché l'accordo non sia ancora stato formalizzato a livello legislativo, sembra tuttavia confermare l'indirizzo previsto dal Piano Nazionale dei Trasporti 2018-2029, presentato ad aprile 2016, che indica la via delle emissioni zero per tutti i veicoli nel giro di dieci anni.

Per capire a che punto sono i diversi Paesi rispetto agli obiettivi che si sono dati, è necessario tracciare un quadro della diffusione attuale.

1.2 La diffusione dell'auto elettrica in Europa e in Italia

Per tracciare un quadro dell'effettiva diffusione dell'auto elettrica in Europa e in Italia, si analizzano di seguito i dati relativi:

- alla dimensione attuale (il parco auto elettriche in circolazione);
- al trend (l'andamento delle nuove immatricolazioni).

I dati relativi alla dimensione attuale del parco auto elettriche circolante in Europa confermano una situazione molto diversificata (**Tabella 2**). Secondo l'Osservatorio Europeo sui Combustibili Alternativi (*European Alternative Fuel Observatory*) in Europa oggi circolano oltre 370.000 veicoli elettrici, di cui circa 174.000 elettrici a batteria (BEV) e circa 197.000 ibridi plug-in (PHEV). In termini assoluti, i primi cinque Paesi europei per diffusione dei veicoli elettrici sono Paesi Bassi, Norvegia, Francia, Regno Unito e Germania.

A tale proposito è utile evidenziare alcune specificità. In particolare il dato dei Paesi Bassi è influenzato dalla componente di veicoli ibridi che sono più diffusi degli elettrici puri, con un rapporto quasi di 8 a 1. Al contrario, in Francia e in Germania si verifica una netta prevalenza dei veicoli elettrici a batteria rispetto agli ibridi, come risultato sia dei recenti incentivi, sia delle strategie messe in atto dalle case automobilistiche nazionali (in Francia in particolare).

La Norvegia anche stavolta rappresenta un caso limite perché vanta il più alto tasso di diffusione della propulsione elettrica (calcolato come media dei veicoli elettrici per abitante) non solo a livello europeo, ma addirittura a livello mondiale. Come si discuterà in seguito, si tratta di un risultato a cui hanno contribuito diversi fattori tra cui il piano di incentivi messo a punto dal governo di Oslo e la capillarità delle infrastrutture di ricarica messe a disposizione dell'utenza.

Rispetto alla media europea, l'Italia presenta una diffusione ancora modesta delle auto elettriche: secondo i dati dell'Osservatorio, oggi circolano sul territorio nazionale circa 7.000 veicoli elettrici, corrispondenti a poco più di un veicolo elettrico ogni 10.000 abitanti.

Tabella 2: Il parco auto in circolazione in Europa, dato aggiornato a giugno 2016 (fonte: <http://www.eafo.eu>)

Country	Motocicli (BEV)	Quadricicli (BEV)	Veicoli commerciali leggeri (BEV)	Auto (BEV)	Auto (PHEV)	Auto (BEV+PHEV)	Auto elettriche ogni 1000 abitanti
Netherlands	319	957	1.522	11.041	81.887	92.928	5,47
France	246	4.367	25.376	57.662	12.916	70.578	1,06
United Kingdom		602	1.935	27.045	41.769	68.814	1,05
Germany		4.559	2.601	34.813	24.679	59.492	0,72
Sweden		338	1.178	6.404	15.501	21.905	2,22
Belgium	722	903	513	4.868	7.760	12.628	1,12
Austria		524	1.069	6.789	2.392	9.181	1,06
Denmark		416	520	7.733	708	8.441	1,48
Spain	588	2.382	1.706	5.313	2.453	7.766	0,17
Italy		2.713	1.016	4.642	2.347	6.989	0,12
Portugal		238	159	1.633	1.181	2.814	0,27
Finland	114		106	680	1.573	2.253	0,41
Ireland		14	92	1.218	287	1.505	0,32
Estonia			26	1.129	50	1.179	0,90
Czech Republic			66	790	268	1.058	0,10
Luxembourg		4	111	670	376	1.046	1,82
Poland		8	18	258	399	976	0,03
Hungary			2	107	53	567	0,06
Croatia	141	32	34	114	48	436	0,10
Slovenia	16	38	50	238	90	328	0,16
Latvia	35	26	7	227	24	251	0,13
Romania		22	7	83	79	162	0,01
Greece						139	0,01
Slovakia			6	98	23	121	0,02
Lithuania	15	4	5	78	35	113	0,04
Malta		80	22	87	7	94	0,22
Cyprus			1	9	42	51	0,06
Bulgaria		9		17	31	48	0,01
EU 28	2.196	18.236	38.148	173.745	196.978	370.723	0,73
Norway		945	1.992	70.530	20.501	91.031	17,27
Switzerland		1.096	490	8.068	5.245	13.313	1,6

Parliamo di numeri ancora ridotti e poco rappresentativi, soprattutto se confrontati con il parco auto in circolazione, che secondo l'Associazione Europea dei Costruttori di Automobili (ACEA) ammonta a 252,7 milioni di veicoli (dato 2015).

Tuttavia si registra un *trend* in crescita, come emerge dai dati riportati in **Tabella 3** e **Tabella 4** relativi alle nuove immatricolazioni per il 2014 e 2015: su scala europea, nel 2015 il numero di nuove immatricolazioni è più che raddoppiato. Anche in questo caso i Paesi più virtuosi sono stati i Paesi Bassi, con un numero di veicoli elettrici in circolazione quasi triplicato, seguiti da Regno Unito, Germania, Francia e Svezia che lo hanno quasi duplicato. Solo in pochi casi si è registrato un segno meno.

Tabella 3: Nuove immatricolazioni di veicoli elettrici (*battery electric vehicles* (BEV) + *extended-range electric vehicles* (EREV) + *plug-in hybrid electric vehicles* (PHEV) + *fuel cell electric vehicles* (FCEV) (fonte: NATIONAL AUTOMOBILE MANUFACTURERS' ASSOCIATIONS)

	2015	2014	Change
Netherlands	43.441	14.805	193,4
United Kingdom	28.715	14.608	96,6
Germany	23.481	13.118	79,0
France	22.867	12.497	83,0
Sweden	8.588	4.667	84,0
Denmark	4.643	1.616	187,3
Belgium	3.837	2.047	87,4
Austria	2.787	1.718	62,2
Italy	2.283	1.420	60,8
Spain	2.224	1.405	58,3
Portugal	1.083	289	274,7
Finland	658	445	47,9
Ireland	583	256	127,7
Czech Republic	298	197	51,3
Poland	259	141	83,7
Hungary	130	39	233,3
Greece	67	59	13,6
Slovakia	66	117	-43,6
Lithuania	37	9	311,1
Latvia	35	194	-82,0
Estonia	34	340	-90,0
Romania	24	7	242,9
Bulgaria	21	2	950,0
European Union	146.161	69.996	108,8
Norway	33.721	19.771	70,6
Switzerland	6.288	2.688	133,9

Tabella 4: Nuove immatricolazioni di veicoli elettrici (*battery electric vehicles (BEV) + extended-range electric vehicles (EREV) + plug-in hybrid electric vehicles (PHEV) + fuel cell electric vehicles (FCEV)*) (fonte: NATIONAL AUTOMOBILE MANUFACTURERS' ASSOCIATIONS)

	Q1-Q2 2016	Q1-Q2 2015	% Change
United Kingdom	19.505	14.838	31,5
France	16.164	10.427	55,0
Germany	10.524	9.663	8,9
Sweden	5.870	3.400	72,6
Netherlands	4.652	13.086	-64,5
Belgium	4.532	2.083	117,6
Austria	2.570	1.313	95,7
Spain	1.815	660	175,0
Italy	1.451	1.367	6,1
Portugal	816	401	103,5
Finland	683	333	105,1
Denmark	488	1.397	-65,1
Ireland	437	371	17,8
Poland	223	135	65,2
Hungary	148	35	322,9
Czech Republic	86	147	-41,5
Lithuania	47	22	113,6
Latvia	32	25	28,0
Estonia	25	26	-3,8
Slovakia	23	36	-36,1
Greece	18	19	-5,3
Romania	16	11	45,5
Bulgaria	2	20	-90,0
European Union	70.127	59.815	17,2
Norway	22.099	17.046	29,6
Switzerland	3.010	2.862	5,2

Sempre per quanto riguarda le nuove immatricolazioni, un dato interessante è evidenziato dalla ripartizione del mercato dei veicoli elettrici. Già dallo scorso anno, il crescente interesse per le auto elettriche ha indotto i produttori di auto europei ad introdurre un maggior numero di modelli

a bassissime e zero emissioni, offrendo ai clienti una scelta allargata in termini di modelli e prestazioni.

Figura 2 e **Figura 3** forniscono una rappresentazione della ripartizione del mercato europeo, per il 2015 e 2016, dei veicoli elettrici a batteria (BEV) ed elettrici ibridi (PHEV), sulla base dei dati forniti dall' *Osservatorio Europeo sui Combustibili Alternativi (European Alternative Fuel Observatory)*. I dati evidenziano come nel vecchio continente Renault, Nissan e Tesla siano oggi i principali player, con un notevole incremento della quota di mercato della casa automobilistica francese tra il 2015 e il 2016.

Figura 2: Top Selling BEV in EU in 2015-2016 (Fonte: *European Alternative Fuel Observatory*)

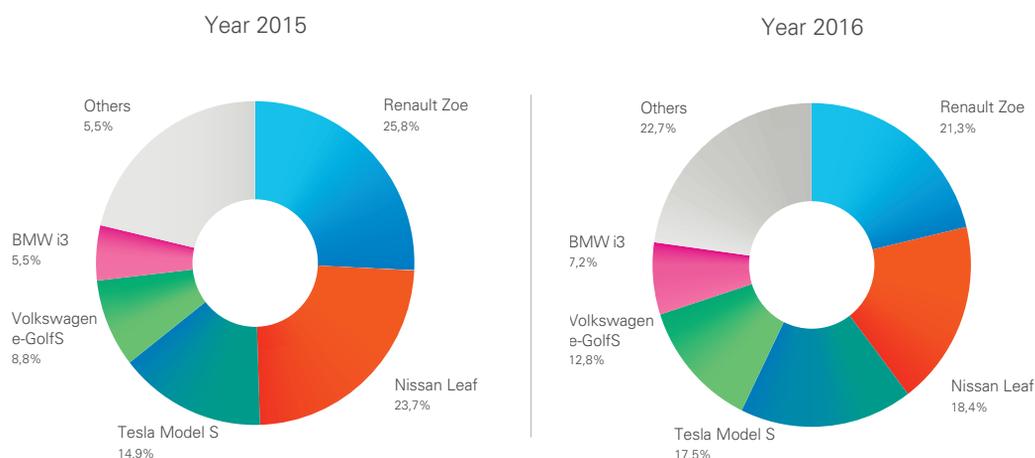
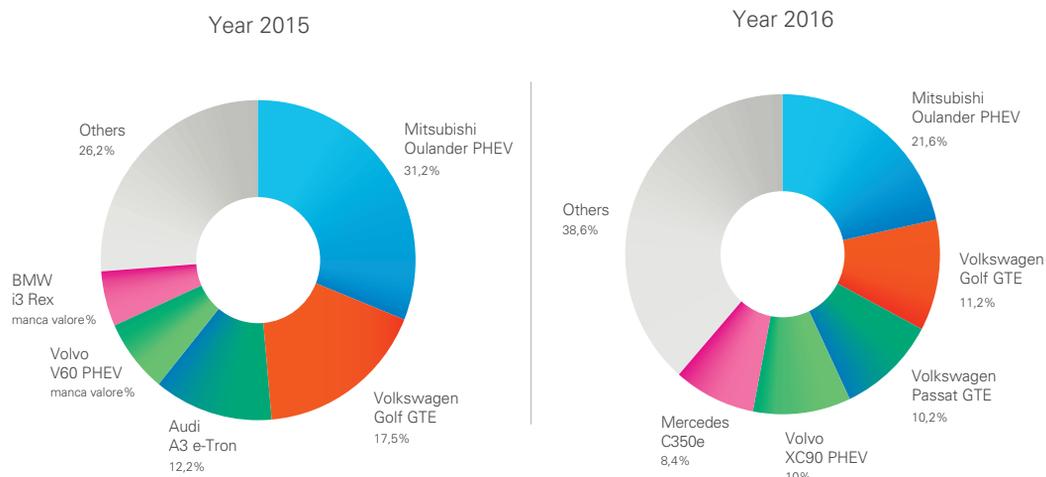


Figura 3: Top Selling PHEV in EU in 2015-2016 (Fonte: *European Alternative Fuel Observatory*)



Come per gli altri principali Paesi europei, anche in Italia si è assistito ad un incremento progressivo d'interesse per i veicoli elettrici, nonostante la consistenza del parco auto sia ancora piuttosto limitata.

In dettaglio, in **Figura 4** sono riportati i dati relativi alle nuove immatricolazioni di veicoli BEV e PHEV negli ultimi sei anni (dati aggiornati a giugno 2016). Per quanto i risultati siano modesti, con una quota di mercato dell'elettrico pari a meno dell'1% del mercato complessivo, si evidenzia anche in questo caso un trend in crescita (**Figura 5**).

Figura 4: Nuove immatricolazioni i veicoli BEV e PHEV (fonte: <http://www.eafo.eu>)

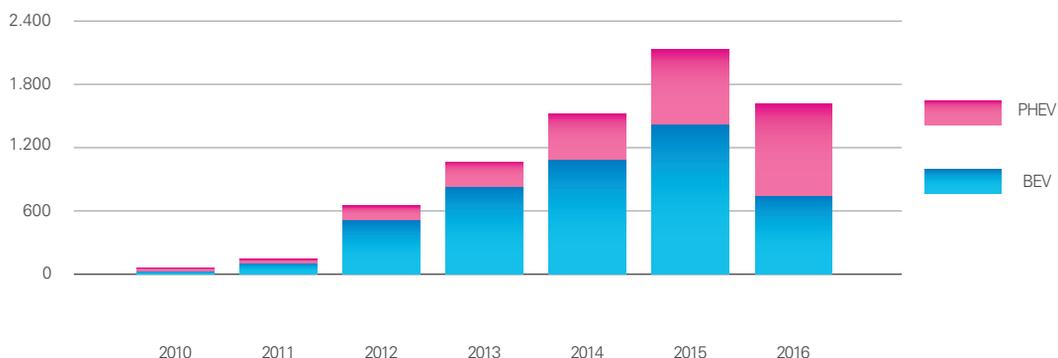
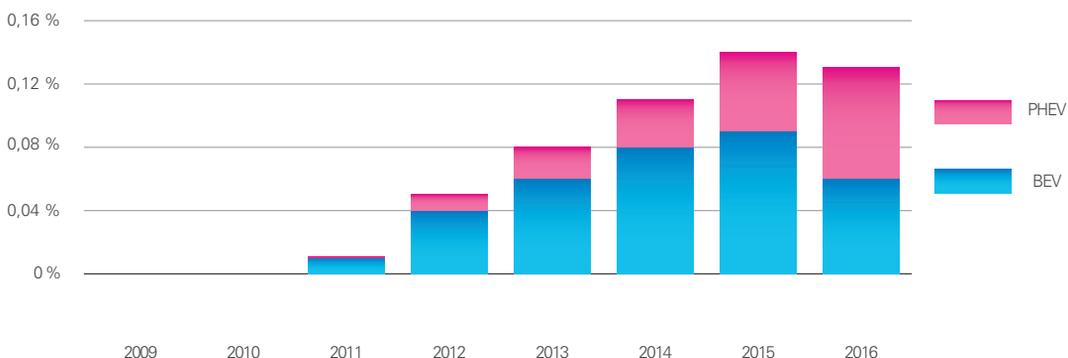


Figura 5: Evoluzione della quota di mercato per BEV e PHEV (fonte: <http://www.eafo.eu>)



Osservando i dati relativi alle nuove immatricolazioni per i veicoli elettrici a batteria (BEV), si nota come il mercato italiano sia dominato da produttori giapponesi e francesi. Appare quindi evidente che un cambio di strategia delle case automobilistiche nazionali rispetto alla mobilità elettrica, potrebbe rappresentare un importante stimolo per il mercato.

Tabella 5: Nuove immatricolazioni di veicoli elettrici a batteria (BEV) per marca e modello (fonte: UNRAE)

Marca E Modello	N. Immatricolazioni 2015 (Unrae)	N. Immatricolazioni 2014 (Unrae)
Nissan Leaf	390	336
Renault Zoe	326	156
Citroen C-Zero	164	15
Tesla Model S	134	55
Smart Fortwo	115	252
Bmw I3	111	124
Mercedes Classe B	80	0
Volkswagen Up!	54	52
Kia Soul	30	10
Nissan Evalia	17	5
Altre	39	105
Totale	1.460	1.110

1.3 I driver della domanda e il ruolo strategico dell'infrastruttura

Dopo aver delineato il quadro della diffusione delle auto elettriche in Europa, si analizzano di seguito i principali driver della domanda e la loro evoluzione nel tempo.

In generale, è ampiamente riconosciuto che la diffusione dei veicoli elettrici sia influenzata da tre fattori principali (Egbue e Long, 2012; Sierzchula et al., 2014; Spina et al., 2016):

- la rispondenza delle caratteristiche dei veicoli alle aspettative e alle abitudini dei consumatori;
- il costo dei veicoli;
- la disponibilità di un'adeguata rete di infrastrutture di ricarica.

Partendo dal primo punto, le caratteristiche dei veicoli non devono tradire gli standard di comportamento abituale degli utenti che ruotano intorno a tre elementi tipici dei veicoli con motore termico tradizionale: elevata varietà della gamma; autonomia estesa; possibilità di rifornimento rapido.

Come evidenziato in precedenza, dallo scorso anno i produttori di auto europei hanno iniziato a introdurre un maggior numero di modelli a bassissime e zero emissioni, offrendo ai clienti una scelta allargata in termini di modelli e prestazioni. Anche se oggi le caratteristiche dei veicoli elettrici con riguardo ad autonomia e comfort non sono ancora del tutto allineate alle aspettative dei consumatori, grazie allo sviluppo della tecnologia si assiste ad un progressivo incremento delle distanze di percorrenza e a una riduzione dei tempi di ricarica (come verrà discusso più in dettaglio nel capitolo 2).

Il secondo driver della domanda è rappresentato dal costo associato alla scelta dell'auto elettrica, che si articola nelle componenti di acquisto ed uso. Se da una parte i possessori di veicoli elettrici possono beneficiare di una riduzione dei costi del carburante (dovuta al fatto che i prezzi dell'energia elettrica sono inferiori ai prezzi del carburante in virtù della tassazione inferiore e di minori costi energetici, così come a una maggiore efficienza dei veicoli elettrici), il costo di acquisto del veicolo è ancora sensibilmente superiore rispetto a un tradizionale veicolo a combustione interna, innanzitutto a causa del costo ancora elevato delle batterie.

Negli ultimi anni tuttavia, una maggiore competizione tra case automobilistiche e un graduale aumento dei volumi hanno avviato una riduzione dei prezzi. Secondo *IHS Automotive*, si tratta di un primo passo che potrebbe innescare su scala più ampia quanto si è già verificato in passato negli Stati Uniti, dove l'abbassamento del prezzo della *Nissan Leaf* di 6.000 dollari è stato determinante per le vendite del modello elettrico (+130%), influenzando anche sul comportamento delle altre case automobilistiche presenti sul mercato (Honda, Chevrolet, Ford, FCA e Toyota). La concorrenza si estenderà inoltre anche ai produttori di batterie, come ad esempio LG Chem (fornitrice per General Motors), Panasonic (per Tesla Motors), GS Yuasa (per Mitsubishi), Samsung (per BMW, Fiat e Tesla), con un conseguente impatto sui prezzi lungo tutta la filiera.

Va inoltre rilevato che in diversi Paesi europei sono stati sviluppati dei piani di incentivi, risultati poi determinanti, che comprendono misure volte a favorire l'acquisto e la diffusione dei veicoli elettrici.

Le principali forme d'incentivo mirate a supportare la domanda di veicoli elettrici sono:

- sussidi diretti, come ad esempio bonus una tantum erogati al momento dell'acquisto di un veicolo elettrico;
- incentivi fiscali, come riduzioni ed esenzioni fiscali sull'acquisto di un veicolo elettrico, che possono riguardare diverse voci di imposizione fiscale (l'IVA, la tassa annuale di circolazione, il bollo auto aziendale);
- agevolazioni a livello locale (gratuità strisce blu, accesso ZTL e corsie preferenziali, ecc...).

A livello europeo, lo Stato che elargisce più incentivi è ancora una volta la Norvegia, dove è stato predisposto un pacchetto articolato di agevolazioni studiate ad hoc: esenzione da pedaggi stradali e tasse di circolazione; parcheggi e traghetto gratuiti; possibilità di circolare nelle corsie dedicate ai mezzi pubblici (si veda box 1).

Anche altri Paesi, come Francia e Regno Unito hanno puntato su un mix di esenzioni e contributi (si veda box 2).

In modo analogo, la Germania ha recentemente modificato il pacchetto di agevolazioni per i proprietari di auto elettriche. Mentre in passato il principale incentivo era l'esenzione dalla tassa annuale di circolazione per un periodo di dieci anni, ad aprile 2016 Berlino ha annunciato un ulteriore programma di contributi focalizzati sull'acquisto.

Un caso a parte è quello dell'Estonia dove per favorire la diffusione delle auto elettriche il governo ha preferito puntare sulla stipula di contratti con imprese private (si veda box 3).

Per quanto riguarda l'Italia, la legge 134/2012 ha fornito un quadro normativo per lo sviluppo della mobilità sostenibile, prevedendo da un lato una prima assegnazione di incentivi per auto elettriche,

a metano e GPL (solo relativamente agli anni 2013, 2014 e 2015 e ridotti con successive Leggi di Stabilità), e dall'altro portando alla definizione del *Piano nazionale per l'infrastruttura di ricarica dell'auto elettrica* (PNIRE), con l'obiettivo di uno sviluppo omogeneo di infrastrutture su tutto il territorio nazionale, integrando competenze di Governo, Regioni ed enti locali.

Tale quadro normativo verrà presto completato con l'adozione di un decreto legislativo per il recepimento della Direttiva europea 2014/94 sulla realizzazione di un'infrastruttura per i combustibili alternativi. Il Decreto e la prossima Legge di Stabilità potrebbero essere gli strumenti decisivi per avviare un reale sviluppo della mobilità elettrica nel nostro Paese. In particolare sarebbe utile poter prevedere non solo incentivi all'acquisto dei veicoli elettrici ma anche un quadro normativo armonico, teso a implementare un'adeguata infrastruttura di ricarica.

Proprio la rete di infrastrutture di ricarica rappresenta il terzo *driver* della domanda e forse l'elemento intorno a cui ruota il futuro della diffusione delle auto elettriche in Europa e in Italia. Oltre a rendere fisicamente possibile la circolazione dei veicoli, contribuisce a superare le diffidenze dei consumatori nei confronti della nuova tecnologia (la cosiddetta "*range anxiety*", ossia l'ansia di rimanere bloccati in strada senza rifornimento). È inoltre presumibile che quando la diffusione di massa sarà una realtà, un'efficiente infrastruttura di ricarica sarà un ulteriore incentivo all'utilizzo dei veicoli elettrici perché tutti gli utenti che non dispongono di impianti di ricarica privata dovranno necessariamente rivolgersi a quelli pubblici.

Guardando alla situazione attuale in Europa, il livello di sviluppo dell'infrastruttura appare diversificato e non immune da criticità che rendono spesso difficile gli spostamenti da un Paese all'altro. Come emerge dai dati presentati in **Tabella 6**, in alcuni Stati si rileva la presenza di una rete capillare di infrastrutture di ricarica pubbliche, mentre in altri casi l'infrastruttura è ancora da sviluppare. La Commissione Europea ha così sollecitato i Paesi membri a dotarsi di un'adeguata infrastruttura interoperabile, atta a consentire la libera circolazione dei veicoli elettrici.

Una prima considerazione che si può evidenziare confrontando i dati di **Tabella 6** con quelli di **Tabella 1** è che allo stato attuale tutti i Paesi sono lontani dal target ipotizzato dall'Unione Europea per quanto riguarda le installazioni di infrastrutture di ricarica. Presumibilmente l'obiettivo ambizioso previsto inizialmente dall'UE era sproporzionato rispetto alle reali esigenze di ricarica dei veicoli elettrici che, col progredire degli studi di settore, diventano invece sempre più definiti e calibrati alle reali necessità.

Un altro importante commento che emerge dalla **Tabella 6** riguarda il fatto che i Paesi maggiormente impegnati ad incentivare l'acquisto di veicoli elettrici (come Francia, Germania, Norvegia), tendono a promuovere la mobilità sostenibile attraverso una capillare rete di ricarica, sia in corrente alternata (*quick AC*) che veloce in corrente continua (*fast DC* usata prevalentemente sulle autostrade). Quest'ultimo dato riguarda soprattutto il Regno Unito che possiede una rete di ricarica *fast DC* più estesa rispetto agli altri Paesi, grazie ad un continuo ricorso ai programmi di finanziamento europeo TEN-T prima e CEF ora.

Come ultimo rilievo, si può evidenziare come la rete di ricarica sia più sviluppata nell'Europa centrale che nelle regioni periferiche del continente.

Tabella 6: Infrastrutture di ricarica nei principali Paesi europei aggiornate a settembre 2016
(Fonte: Chargemap.com)

Nazione	Numero di aree di ricarica	Numero di punti di ricarica	Quick AC [%]	Fast DC [%]
Austria	3.254	1.098	88,7	11,3
Belgium	2.042	745	93,4	6,6
Bulgaria	26	23	100	0
Cyprus	2	1	100	0
Czech Republic	456	181	81,7	18,3
Germany	15.771	5.545	92,5	7,5
Denmark	1.768	476	80,5	19,5
Estonia	348	163	51,7	48,3
Greece	42	24	90,5	9,5
Finland	1.184	283	89,4	10,6
France	31.160	7.240	94,8	5,2
Hungary	245	106	82,9	17,1
Iceland	22	17	36,4	63,6
Ireland	897	495	87,5	12,5
Italy	2.874	1.155	93,3	6,7
Lithuania	69	30	76,8	23,2
Luxembourg	258	95	97,3	2,7
Latvia	84	25	91,7	8,3
Malta	102	54	100	0
Netherlands	11.679	6.346	94,7	5,3
Norway	8.646	1.988	88,6	11,4
Poland	187	75	89,8	10,2
Portugal	1.233	465	96,6	3,4
Romania	66	28	92,4	7,6
Spain	2.025	777	88,6	11,4
Slovakia	180	65	68,9	31,1
Slovenia	503	206	83,5	16,5
Sweden	2.838	972	20,9	79,1
Switzerland	4.606	1.801	95,3	4,7
United Kingdom	8.877	2.706	78,3	21,7

Per quanto riguarda l'Italia, le infrastrutture per la ricarica dei veicoli elettrici sono localizzate per lo più in alcune grandi città, nel Nord e nel Centro Italia. La rete attuale rimane comunque del tutto insufficiente per promuovere la mobilità elettrica all'interno del Paese.

Si nota poi che mentre negli Stati confinanti come Francia, Svizzera, Austria e Slovenia, si continua ad investire sull'infrastrutturazione dei principali corridoi con sistemi di ricarica *fast DC*, in Italia non c'è stato ancora nessuno sforzo in tale direzione. Un approccio diverso permetterebbe una maggiore mobilità da e verso l'Europa e sarebbe utile alla creazione di arterie di mobilità più veloci attraverso le regioni del Nord. L'Italia avrebbe un'occasione per iniziare a colmare il gap grazie al progetto EVA+, finanziato dall'Unione Europea nell'ambito del programma *CEF (Connecting Europe Facilities)*, con cui si prevede l'installazione di 180 stazioni di ricarica *fast DC* lungo i due principali corridoi autostradali che attraversano il territorio italiano.

Proprio al fine di incentivare lo sviluppo dell'infrastruttura, la direttiva *Alternative Fuel* varata dalla

Commissione Europea prevede un pacchetto di misure volte a garantire la creazione di stazioni di combustibili alternativi in tutta Europa, con standard comuni di progettazione e utilizzo. Con questa iniziativa si garantisce a molti proprietari di veicoli elettrici di poter accedere alle stazioni di ricarica in parcheggi collettivi, all'interno di complessi abitativi, negli uffici o nelle sedi di attività commerciali, e si suggerisce agli Stati membri una maggiore concentrazione nelle aree urbane densamente abitate. Si tratta di un passo importante, poiché per la prima volta si focalizza l'attenzione normativa non solo su combustibili e veicoli, ma anche sulla distribuzione

Box 1: Il caso Norvegese

Come si è detto, la Norvegia è oggi lo Stato con il maggior numero di veicoli elettrici in Europa. Questo risultato è stato raggiunto grazie a un articolato schema di incentivi e alla diffusione capillare delle stazioni di ricarica sul territorio.

I principali incentivi di cui godono i cittadini norvegesi sono:

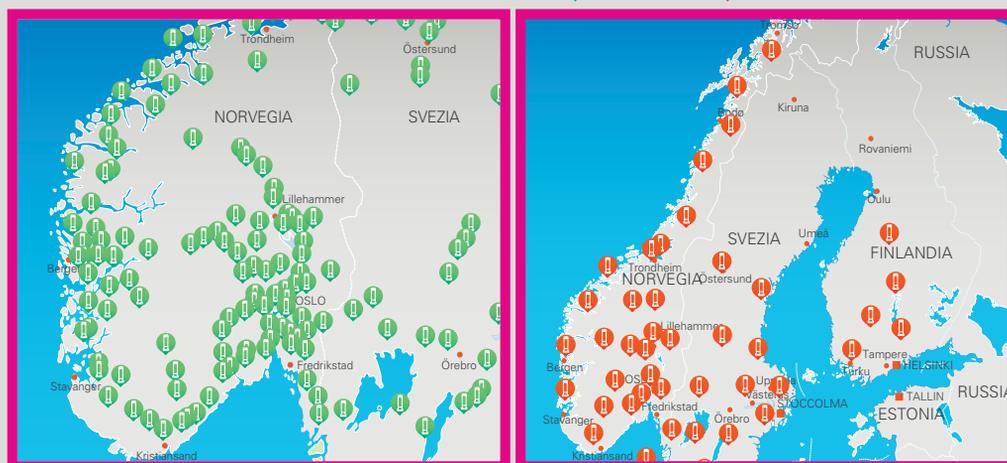
- esenzione dalla tassa sulla CO₂;
- sconto del 25% sull'IVA;
- uso gratuito di traghetti, parcheggi e stazioni di ricarica pubbliche;
- Libera circolazione su strade dedicate ad autobus e tram.

Non a caso uno studio condotto riportato in [1], ha rilevato che il 41% dei possessori di un veicolo elettrico in Norvegia lo ha acquistato spinto essenzialmente dal "risparmio economico", dal momento che un'utilitaria tradizionale con motore a combustione interna costa quasi il doppio rispetto ad altri Stati europei.

Un altro motivo per cui sempre più cittadini norvegesi decidono di scegliere veicoli elettrici, riguarda la possibilità di ricarica. Gli utenti hanno accesso alla ricarica innanzitutto nella propria abitazione, in secondo luogo sul posto di lavoro e infine presso stazioni di ricarica pubbliche.

La **Figura 6** mostra la diffusione delle colonnine di ricarica, rispettivamente per la ricarica *fast* DC, secondo gli standard CCS e CHAdeMO, e per la ricarica *fast* della Tesla (Tesla Supercharger).

Figura 6: Diffusione delle colonnine di ricarica in Norvegia (🔌 CHAdeMOe 🔌 Tesla Supercharger)



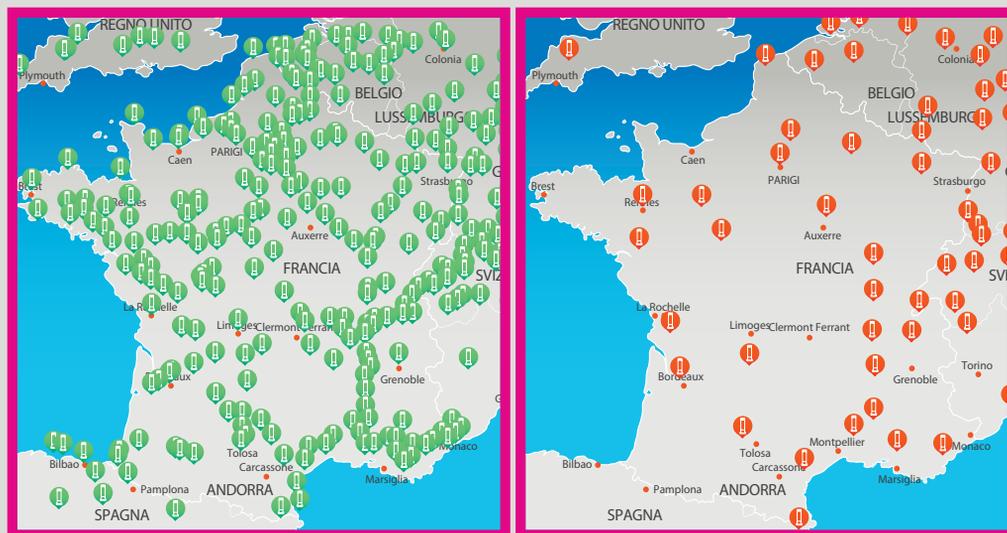
Box 2: Gli incentivi in Francia

In Francia la diffusione di veicoli elettrici è stata agevolata dall'impegno dell'industria automobilistica nazionale che ha sviluppato diversi modelli di vendita di veicoli elettrici con particolare attenzione alla batteria, pagabile interamente all'acquisto oppure in leasing. Altri incentivi presenti in Francia sono:

- un bonus di 3.700 euro per la vendita di un'auto diesel e per l'acquisto di una e-car (dal 1° aprile 2015);
- un contributo massimo di 6.300 euro per l'acquisto o il noleggio di un'auto elettrica o ibrida;
- esenzione dalla tassa auto aziendale per i veicoli elettrici;
- esenzione per i primi due anni dopo la registrazione per i veicoli ibridi che emettono meno di 110 g/km.

Più nel dettaglio la Francia offre un incentivo di 7.000 euro per un'auto ad emissioni inferiori a 10 g/km, cioè sostanzialmente un'auto elettrica; per i veicoli che emettono tra 20 e 60 g/km, il premio è di 4.000 euro, mentre per un'auto con emissioni tra 61 e 110 g/km (come ad esempio un'auto a gas, GPL o metano) è previsto circa un centinaio di euro [10].

Figura 7: Diffusione delle colonnine di ricarica in Francia (🔌 CHAdeMO e 🔌 Tesla Supercharger)



Box 3: Gli incentivi in Estonia

L'Estonia è stato il primo Paese al mondo con un'infrastruttura per la ricarica dei veicoli elettrici a copertura nazionale. Per ottenere questo risultato, il governo ha avviato un progetto in collaborazione con Mitsubishi e ABB che ha portato alla costruzione di una vasta rete di impianti a ricarica veloce (in 30 minuti): sono stati installati 165 *fast chargers* con tecnologia CHAdeMO (la tecnologia fast DC conforme allo standard giapponese) ed è stato garantito che in ogni città con almeno 5.000 abitanti ci sia almeno una stazione.

Analoga strategia è stata seguita da altri Stati, caratterizzati da dimensioni ridotte e da alta densità di popolazione, come Danimarca, Belgio, Paesi Bassi e Lussemburgo.

Figura 8 riporta la diffusione delle sole infrastrutture CHAdeMO (non sono presenti *fast charger* Tesla).

Figura 8: Diffusione delle colonnine CHAdeMO di ricarica in Estonia



2. L'evoluzione dei veicoli e delle infrastrutture di ricarica

La grande innovazione in termini di prestazioni e autonomia di marcia rende gli attuali veicoli elettrici stradali sempre più simili, se non addirittura superiori, ai veicoli tradizionali.

Per capire come saranno gli EV che approcceranno prossimamente il mercato, o quelli che saranno introdotti nei prossimi cinque anni, è utile confrontarli con quelli attualmente in commercio o presenti sulle nostre strade.

2.1 I veicoli elettrici attualmente in commercio

I diversi modelli di veicoli elettrici oggi in commercio sono riportati in **Tabella 7**, considerando le principali caratteristiche in termini di autonomia, velocità massima, tempi di ricarica, potenza e capacità della batteria.

Come si può osservare, l'autonomia media dei veicoli attuali è attorno a 100-150 km garantita da batterie con taglie mediamente da 16 kWh a 24 kWh a seconda dei modelli.

L'unica eccezione è la Tesla Model S dotata di batterie fino a 90 kWh che le garantiscono un'autonomia superiore a 500 km.

Tabella 7: Modelli e principali caratteristiche di veicoli elettrici attualmente in circolazione

Marca	Modello	Velocità massima [km/h]	Potenza [kW]	Capacità batteria [kWh]	Autonomia [km]	Tempi di ricarica [h]
Audi	 A2 concept	150	60	-	200	4 h ricarica standard; 1,5 h ricarica rapida
	Classe B Electric Drive	160	132	28	140	- 230V/13A: 9 h - 400V/16A: 2,40
Bolloré Pininfarina	 Bluecar	130	50	-	250	6 h ricarica standard e 2 h ricarica rapida
BMW	 i3	150	125	19	160	6-8 h ricarica lenta e sotto i 30 min ricarica veloce
Chevrolet	 Volt	160	111	-	80 km, 560 km con generatore ausiliario	4 h ricarica standard

Marca	Modello	Velocità massima [km/h]	Potenza [kW]	Capacità batteria [kWh]	Autonomia [km]	Tempi di ricarica [h]
Citroën	 C-Zero	130	47	16.28	150	6 h ricarica standard, 30 min. per l'80% da ricarica rapida
Fiat & Micro-Vett	 Panda Elektra	-	28	-	100	-
	 e500	115	30 e 60	-	145	8 h ricarica standard, 30 min. per il 90% da ricarica rapida
Mercedes	 Smart For two	100	30	-	135	8 h ricarica standard
Mitsubishi	 i-MiEV	130	47	16	160	7 h ricarica standard, 30 min. per l'80% da ricarica rapida
Nissan	 Leaf	145	80	24 – 30	175 – 250	6-7 h ricarica standard, 30 min. per l'80% da ricarica rapida
Opel	 Ampera	161	111	-	40/80	3 h ricarica standard
Peugeot	 iOn	130	47	16	150	5-6 h ricarica standard, 30 min. per ricaricare 80% da ricarica rapida
Piaggio	 Porter electric power	55	10.5	17	110	8 h ricarica standard, 2,5 h da ricarica rapida
	Fluence Z.E.	135	70	22	185	6-8 h ricarica standard
Renault	 Kangoo Z.E.	130	44	22	170	6-8 h ricarica standard
	Zoe	130	60 kW	22	160	6-7 h ricarica standard, 30 min. per ricaricare 70% da ricarica rapida

Marca	Modello	Velocità massima [km/h]	Potenza [kW]	Capacità batteria [kWh]	Autonomia [km]	Tempi di ricarica [h]
Tesla	 Roadster Sport 2.5	201	215	53	400	10 h ricarica standard, 3 h da ricarica rapida
	Model S	250	568	60, 70, 85, 90	509	Supercharger Tesla Connettor
Toyota	 Prius plug in	180	60	4.4	20	1,5 h ricarica standard
Volkswagen	 E-up	130	60	18.7	Fino a 160	-
	e-Golf	140		24.2	Fino a 190	ricarica domestica: 13 h-wallbox: 8 h-CC (sistema di ricarica combinato CCS): 80% in 30 minuti

Accanto alle automobili più tradizionali, è interessante presentare anche l'ampia gamma di quadricicli leggeri elettrici dedicati al servizio urbano. I diversi modelli in commercio sono riportati in **Tabella 8** considerando le principali caratteristiche in termini di autonomia, velocità massima, tempi di ricarica, e potenza.

Tabella 8: Modelli e principali caratteristiche di quadricicli elettrici attualmente in circolazione

Marca	Modello	Velocità massima [km/h]	Potenza [kW]	Autonomia [km]	Tempi di ricarica [h]
Aixam Mega	 e-CITY	64	11	60	8-10 h ricarica standard
Ducati	 FreeDUCK	45	4	45	8 h ricarica standard

Marca	Modello	Velocità massima [km/h]	Potenza [kW]	Autonomia [km]	Tempi di ricarica [h]
EFFEDI	 Maranello 4cycle	45	4	50/70	6-8 h ricarica standard
ESTRIMA	 Birò	45	4	70	Da 7 a 14 h ricarica standard
FAAM	 Smile	45	4	65	8 h ricarica standard
Geo Vehicles	 GEM e2	45 km/h	5 kW	50 km	7 h ricarica standard
Micro-Vett	 Ydea	45	4	150	8 h ricarica standard
MOVITRON	Teener	45	4	70	4,5 h ricarica standard
	Pick up	45	4	70	4,5 h ricarica standard
Piaggio	 Porter electric power	55	10.5	110	8 h ricarica standard, 2,5 h da ricarica rapida
Renault	Twizy urban	80	12.5	100	3,5 h per la ricarica completa, 3 h per ricaricare 80% da ricarica standard
	Twizy urban 45	45	3.7	100	3,5 h per la ricarica completa, 3 h per ricaricare 80% da ricarica standard

Marca	Modello	Velocità massima [km/h]	Potenza [kW]	Autonomia [km]	Tempi di ricarica [h]
Start Lab 	Street 2008	45	4	80	6 h per ricaricare il 70%, 8 h per ricaricare 80% da ricarica standard
Tazzari 	ZERO	100	15	140	9 h ricarica standard

Dall'analisi delle paratteristiche dei veicoli sopra riportati si può osservare come già ora esista un'ampia gamma di automobili e quadricicli elettrici, prodotti da diversi costruttori e con gradi di prestazione differenti.

La ridotta autonomia garantita comune a quasi tutti modelli, non permette però un utilizzo diverso da quello prevalentemente urbano. Si distinguono solo i veicoli di alta gamma come la Tesla Model S che già oggi assicura spostamenti su lunghe distanze come un veicolo tradizionale.

2.2 La prossima generazione di veicoli elettrici

La tendenza oramai consolidata verso la propulsione elettrica ha spinto le case automobilistiche a creare nuovi modelli con caratteristiche tali da avvicinarsi ai veicoli tradizionali, riducendone al contempo il prezzo di vendita. Questa nuova generazione di automobili è attesa in commercio entro i prossimi cinque anni con alcuni modelli che saranno disponibili sul mercato già dal 2017.

L'autonomia che garantiranno supererà i 300 km, così da permettere la maggior parte degli spostamenti con una singola ricarica. Ciò comporterà l'aumento della capacità della batteria che tenderà a valori intorno ai 40-60 kWh (più del doppio di quelle attuali). È quindi fondamentale che questi veicoli siano compatibili con sistemi di ricarica rapida DC che permettano, in caso di necessità, di ridurre notevolmente i tempi di rifornimento.

Alcuni dei principali modelli di veicoli elettrici di prossima generazione attesi sul mercato sono riportati in **Tabella 9** dove si prendono in considerazione le principali caratteristiche riferite ad autonomia e presenza di sistemi di ricarica rapida.

Tabella 9: Modelli e principali caratteristiche dei veicoli elettrici di prossima generazione

Marca	Ricarica DC	Ricarica AC	Autonomia [km]	Capacità batteria [kWh]	anno	
Tesla		fino a 10 kW?	345	< 60	2018	
					11 kW (di serie) 16,5 kW (opz)	fino a 557
BMW i3		CCS Combo	7,4 kW	160	18,8	2015
				300	33	2016
Opel Ampera-e		CCS Combo	7,2 kW	>400	60	2017
Nissan Leaf		CHAdeMO	6,6 kW	fino a 200	fino a 30	2016
					fino a 320	fino a 60
Citroën E-Elysée		Si	Si	250	n.d.	2017
Ford Model E		?	?	320	?	2019
Hyundai Ioniq		CCS Combo	?	150	28	2017
Volkswagen e-Golf		CCS Combo	Si	300	35,8	2017
Renault Zoe		CCS Combo	22	>300	41	2018/ 2019

La necessità di contenere il più possibile il costo del veicolo porta a ridurre la potenza del caricabatteria di bordo per il collegamento alle infrastrutture di ricarica AC, demandando la ricarica veloce al sistema DC in cui il caricabatteria è invece integrato nell'infrastruttura di ricarica.

Mediamente, la potenza di ricarica in AC per questi veicoli sarà nell'intervallo 6 – 10 kW.

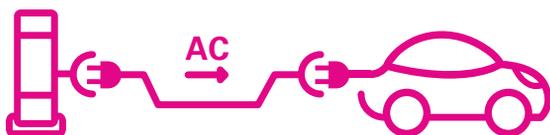
Per quanto riguarda invece la taglia delle batterie installate a bordo, la tendenza è quella aumentarne la capacità per estendere l'autonomia, non solo per i nuovi modelli, ma anche come rinnovo di veicoli già in circolazione. Si può quindi stimare una capacità media delle batterie nell'intervallo 40 – 60 kWh, con punte più elevate per i veicoli di alta gamma.

2.3 Le modalità di ricarica dei veicoli elettrici

Esistono diversi modi di ricarica codificati dalle norme. Si distinguono:

- per il tipo di connessione tra veicolo e sorgente di alimentazione;
- per i livelli di potenza e per le misure di sicurezza adottate.

Modo 1



La ricarica in **modo 1** è un sistema di ricarica lento, consentito per normativa solo in ambiente domestico non accessibile a terzi. Prevede una corrente che varia da 10 A a 16 A, una tensione monofase di 230 V e una potenza massima di 3,7 kW. È quindi un tipo di ricarica disponibile già oggi nelle abitazioni con un normale allacciamento monofase, o nei piccoli impianti industriali. Il tempo di ricarica, ipotizzando una batteria del veicolo di 24 kWh, è stimato in 6-8 h (per una ricarica completa).

I vantaggi di questo tipo di ricarica sono la disponibilità già presente della necessaria potenza in abitazioni o garage e l'impatto relativamente scarso sulla rete di alimentazione, purché vengano adottate misure atte a privilegiare la ricarica del veicolo nelle ore notturne. La connessione con la presa di alimentazione può avvenire tramite una normale presa domestica, con una corrente di 10 A, e tempi di ricarica di circa 12 h, oppure utilizzando una presa industriale (*schuko*) con una corrente di 16 A e tempi di ricarica che si riducono a 8 h.

Si tratta comunque di una modalità di ricarica prevalentemente di emergenza.

Modo 2



La ricarica in **modo 2** è una ricarica lenta consentita in ambienti privati non accessibili a terzi; utilizza sempre una tensione alternata di 230/400V, con corrente massima di 16A.

La differenza rispetto al **modo 1** di carica consiste nella presenza sul cavo di un dispositivo che svolge la funzione di EVSE (*Electric Vehicle Supply Equipment*), che implementa funzioni sicurezza instaurando una opportuna comunicazione col veicolo.

Questa modalità permette di caricare completamente il veicolo in circa 6-8 h e prevede la necessità di un dialogo tra il veicolo e il dispositivo EVSE.

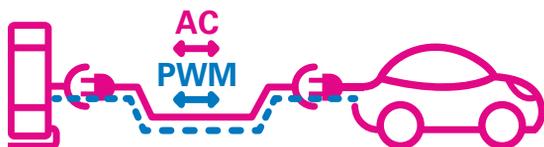
Le potenze in gioco sono le stesse della ricarica in **modo 1** e la connessione dell'EVSE con la sorgente di alimentazione può essere costituita da un collegamento appositamente installato oppure da una presa a 16 A.

La connessione al veicolo avviene normalmente con connettori di tipo 1 o più frequentemente di tipo 2.

Figura 9: Connettore di tipo 2 per la connessione di veicoli elettrici



Modo 3



La ricarica in **modo 3** abilita la ricarica rapida (30 min- 1 ora, ricarica *quick AC*) ed è obbligatoria in ambiente pubblico e in ambienti privati accessibili al pubblico.

L'infrastruttura di ricarica può essere connessa a reti con tensioni di 230/400V con correnti che arrivano fino a 63 A con potenze fino a 43kW.

Naturalmente in questo caso è necessario avere un'infrastruttura dedicata, che abiliti una comunicazione con il veicolo tramite protocollo PWM. Tramite questo avviene lo scambio di dati relativi allo stato della connessione tra l'infrastruttura di carica e il veicolo elettrico; in particolare mediante il protocollo PWM vengono inviati segnali utili a capire se il veicolo è correttamente connesso, se è pronto o meno alla carica e se eventualmente sia richiesta anche ventilazione di raffreddamento; finché il segnale PWM non corrisponde agli stati che consentono la ricarica, questa non può essere avviata.

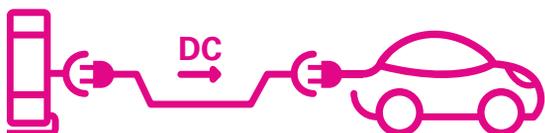
Per la ricarica in Corrente Alternata, tutti i veicoli sono attualmente equipaggiati con connettori di tipo 1 e di tipo 2, che in base alle normative previste, gradualmente resterà l'unico connettore standard in uso in Europa.

Anche per quanto riguarda la connessione all'infrastruttura di ricarica, malgrado la norma IEC 62196-1 e 2 preveda, relativamente al modo 3, tre possibili tipologie di connettori, riportate in **Tabella 10**, la scelta in Europa si sta focalizzando sul tipo 2 .

Tabella 10: Connettori per la ricarica in modo 3 secondo la normativa IEC 62196-1 e 2

Mennekes	Scame ed EV Plug Alliance	
Tipo 2	Tipo 3a	Tipo 3c
<ul style="list-style-type: none"> • Monofase 16A, • 250Vac; • Trifase 32A, 480 Vac, 22 kW cavo staccabile • Trifase 63A, 480 Vac, 43kW cavo fisso; • 2 contatti pilota • IPXXB • Obbligo del sistema di ritenuta della spina nella presa 	<ul style="list-style-type: none"> • Monofase 16A, 250Vac 22kW • 1 contatto pilota • IPXXD sulla presa • Sistema di ritenuta opzionale 	<ul style="list-style-type: none"> • Monofase 16A,250Vac 22kW • Trifase 63A, 480Vac 43 kW • 2 contatti pilota • IPXXD su presa e spina • Sistema di ritenuta opzionale
		

Modo 4



In base alla normativa IEC 61851-1, la ricarica in modo 4 norma la ricarica rapida in corrente continua, con correnti fino a 200 A e tensione di 400 V (ricarica *fast DC*).

La ricarica in corrente continua mette in gioco potenze più elevate rispetto a quella in alternata, prevedendo che il caricabatteria (convertitore da corrente alternata a corrente continua) si trovi all'interno della stazione di ricarica e non sul veicolo.

La ricarica in corrente continua è effettuata secondo due standard: lo standard CHAdeMO, nato in Giappone e diffuso nel mondo grazie alla commercializzazione di vetture elettriche prodotte in Giappone, e lo standard CCS (*Combined Charging System*) che è stato adottato da tutti i costruttori di veicoli elettrici europei. Le infrastrutture oggi in esercizio hanno una potenza di 50 kW, con tensioni di 400V e correnti di 125 A.

Entrambi gli standard consentono in un futuro immediato di arrivare a potenze dell'ordine di 80-100 kW prima e di 150-350 kW nell'arco del prossimo biennio, riducendo ulteriormente i tempi di ricarica.

Dal punto di vista degli utenti i vantaggi di questa tecnologia sono notevoli, perché pur aumentando le capacità delle batterie per consentire autonomie maggiori, sarà possibile compiere lunghi viaggi grazie a ricariche in brevi pause: in un tempo di poco superiore a quello di un rifornimento di benzina la batteria viene ripristinata all'80% della sua carica.

Figura 10: Connettore CHAdeMO



Figura 11: Connettore CCS Combo



Accanto a questi due standard, Tesla sta creando un'infrastruttura proprietaria di ricarica rapida per favorire la vendita delle sue vetture. Le stazioni, denominate Tesla Supercharger (**Figura 12**), sono progettate per fornire una potenza fino a 120 kW e permettono di ripristinare metà dell'autonomia di una Tesla Model S in 30 minuti.

Figura 12: Tesla Supercharger



2.4 Evoluzione dei sistemi di ricarica per veicoli elettrici

A differenza dei veicoli, soggetti a importanti e rapide innovazioni, l'evoluzione dei sistemi di ricarica sono orientati ad un graduale innalzamento delle potenze di ricarica, ma sono stabili come soluzioni tecnologiche, essendo ormai consolidata la ricarica conduttiva.

Alcune applicazioni di ricarica induttiva sono in corso, ma per una maggiore diffusione sono necessari diversi passi in termini di standardizzazione per assicurare un uso sicuro della tecnologia. Per questa ragione si ritiene che non si potrà diffondere prima di un quinquennio.

I sistemi di ricarica lenta (*slow*) e veloce (*quick*) in corrente alternata (AC) tendono ad adottare il connettore di tipo 2 con potenze pari a 22 kW e in alcune applicazioni fino a 43kW. Tale limite di potenza è fissato dal caricabatteria a bordo dei veicoli .

Non sono quindi previste a breve innovazioni significative nella ricarica in AC, essendo ormai standardizzata e consolidata a livello europeo.

Diverso è invece il caso dei sistemi di ricarica ultraveloce (*fast*) in corrente continua (DC).

In questo caso la potenza è condizionata dalle prestazioni dell'infrastruttura di ricarica, da quelle delle batterie a bordo dei veicoli e dal tipo di connettore. Tra i costruttori di veicoli c'è la volontà di aumentare la potenza per ridurre drasticamente il tempo di ricarica e renderlo paragonabile a quello di un rifornimento di un veicolo tradizionale.

Ciò si concretizzerà nell'aumento di potenza fino a 150 kW per la ricarica DC, ottimizzando la tecnologia già esistente. Con sistemi di ricarica a 350 kW, che comunque comporteranno l'aumento della tensione delle batterie fino a 1.000 V, sarà necessaria una profonda revisione dei sistemi a bordo dei veicoli e delle infrastrutture di terra. La ricarica completa di una batteria da 60 kWh garantirebbe un'autonomia di almeno 300 km e richiederebbe solo una decina di minuti. Praticamente come per un veicolo tradizionale.

PARTE 2.

La progettazione
del sistema di
infrastrutture di ricarica



Autori:

Marika Arena (Dipartimento di Ingegneria Gestionale, Politecnico di Milano)

Morris Brenna (Dipartimento di Energia, Politecnico di Milano)

Alessandra Menafoglio (Dipartimento di Matematica, Politecnico di Milano)

Anna Calissano (Dipartimento di Matematica, Politecnico di Milano)

Simone Vantini (Dipartimento di Matematica, Politecnico di Milano)

3. La stima del parco veicoli elettrici

La progettazione della rete di infrastrutture richiede innanzitutto una stima del parco dei veicoli elettrici al 2020. Questa grandezza è però caratterizzata da un alto grado di incertezza, perché dipende da fattori molto variabili, tra cui in particolare:

- l'evoluzione dei veicoli elettrici, non solo relativamente alle prestazioni, ma anche e soprattutto in termini di prezzo. Come discusso nel **capitolo 1**, i modelli oggi sul mercato presentano costi che sono in linea con volumi produttivi bassi; nel caso di un deciso "scale up" della produzione, si potrebbero avere miglioramenti nell'ingegnerizzazione dei prodotti (veicolo e batterie) ed effetti di scala tali da modificare completamente il posizionamento dei veicoli elettrici rispetto a quelli tradizionali;
- l'evoluzione del quadro normativo relativo agli incentivi pubblici all'acquisto di veicoli elettrici e al loro uso (in termini di agevolazioni sul costo dell'energia), alle facilitazioni su circolazione e parcheggio, ai vincoli al traffico urbano per i veicoli tradizionali;
- i comportamenti dei consumatori che in tema di sostenibilità ambientale possono essere influenzati da caratteristiche reali dei prodotti (prezzo, incentivi, prestazioni) e da elementi di tipo valoriale. Nell'ultimo decennio, in diversi settori industriali, si è assistito a una crescente sensibilità dei consumatori rispetto a scelte di consumo sostenibili sul piano ambientale e sociale, con un progressivo aumento dei cosiddetti green consumer.

Come anticipato nell'introduzione, si è scelto di fare riferimento a modelli parametrici, associando alle grandezze ad alto grado di incertezza, come appunto il parco veicoli elettrici al 2020, dei range di variabilità, a partire dai quali vengono formulati quattro scenari differenti.

Di seguito sono illustrate in primo luogo le logiche alla base della stima della domanda e successivamente sono presentati i quattro scenari rispetto a cui è stato effettuato il dimensionamento dell'infrastruttura a livello urbano (**capitolo 4**) ed extraurbano (**capitolo 5**).

3.1 La rilevanza della mobilità elettrica privata nel contesto Europeo

Nel **capitolo 1** abbiamo analizzato i principali dati di diffusione dei veicoli elettrici su scala europea, prestando particolare attenzione alla situazione italiana. Richiamando in sintesi i dati di dimensionamento discussi, si è evidenziato che:

- il parco circolante in Italia (comprensivo di veicoli in car sharing e di veicoli aziendali) è pari a poco più di 4.600 veicoli elettrici a batteria (BEV);
- nel 2015 sono stati immatricolati 1.460 veicoli, contro i 1.110 del 2014 (+32%);
- nei primi tre trimestri del 2016 sono stati immatricolati 951 veicoli elettrici, contro i 1182 dei primi tre trimestri del 2015 (-24%).

Questi numeri sono troppo poco rappresentativi per essere riferimento di una stima della domanda basata su modelli d'interpolazione, e rendono necessaria l'adozione di un diverso approccio. La determinazione del numero di veicoli in circolazione si basa su una stima legata al comportamento di altri Paesi che sono più avanzati rispetto al nostro per quanto concerne la diffusione dei veicoli elettrici. A tal fine, è possibile seguire due diverse logiche.

La prima logica assume un'evoluzione "naturale" della diffusione di auto elettriche, sulla base del miglioramento dell'offerta (introduzione di nuovi modelli competitivi con altri sistemi di mobilità, promozione da parte dei produttori in logica di mercato). Come evidenziato nel **capitolo 1**, si tratta di un trend già in atto da uno-due anni che ha portato ad un aumento del livello di competizione tra le diverse case automobilistiche, con Renault-Nissan, Peugeot-Citröen, Daimler, BMW, gruppo VW e Opel in concorrenza con Toyota, Tesla, Honda e Mitsubishi. Tra i grandi Paesi europei, quello che si muove maggiormente in anticipo in quest'ambito è la Francia, le cui case automobilistiche (Renault-Nissan in primis) sono molto attive nella produzione di veicoli elettrici (si veda **Tabella 11**: Vendite dei principali modelli di veicoli BEV a livello europeo (Fonte: European Alternative Fuel Observatory)). L'alleanza Renault-Nissan in particolare oggi produce la metà dei veicoli elettrici venduti a livello globale: la Nissan Leaf è l'auto elettrica più venduta al mondo con 230.000 unità; la Zoe Renault è la più venduta in Europa.

Tabella 11: Vendite dei principali modelli di veicoli BEV a livello europeo (Fonte: *European Alternative Fuel Observatory*)

Rank	Casa automobilistica	Modello	Anno 2016 (dati a luglio)	Quota sul mercato veicoli elettrici (2016)	Anno 2015	Quota sul mercato veicoli elettrici (2015)	Anno 2014	Anno 2013	Anno 2012	Anno 2011
1	Renault	Zoe	12.907	9,90%	18.572	5,50%	11.030	8.833	68	0
2	Nissan	Leaf	11.851	9,10%	15.230	4,50%	14.674	10.894	5.383	1.740
3	Tesla	Model S	7.474	5,80%	15.986	4,70%	9.550	3.975	0	0
4	Volkswagen	e-Golf	4.394	3,40%	11.161	3,30%	2.931	0	48	0
5	BMW	i3	2.774	2,10%	6.290	1,90%	5.412	996	0	0
6	Kia	Soul EV	2.371	1,80%	5.782	1,70%	598	0	0	0
7	Mercedes	B250e	1.727	1,30%	2.818	0,80%	185	0	0	0
8	Volkswagen	e-Up!	1.500	1,20%	2.964	0,90%	5.838	940	0	0
9	Peugeot	iOn	1.109	0,90%	1.460	0,40%	577	695	3.125	1.849
10	Citroen	C-Zero	847	0,70%	1.105	0,30%	605	825	3.215	1.781

La seconda logica è incentrata sull'effetto degli incentivi alla domanda. In questo scenario la Germania, che nel merito ha fatto delle scelte molto chiare, può essere presa come riferimento. Oggi in Germania chi compra un'auto elettrica può ottenere un incentivo di 4.000 euro (3.000 euro per i modelli ibridi), grazie ad un bonus finanziato per metà dallo Stato e per metà dai costruttori. La sovvenzione è applicabile ai veicoli prodotti sia dalle case tedesche sia dalle case straniere con un prezzo di listino netto fino a 60.000 euro.

Il processo di costruzione degli scenari quindi, prende come riferimento questi due Paesi e si basa su ipotesi di sviluppo della domanda coerenti con le logiche di evoluzione dell'offerta e degli incentivi alla domanda. In questo modo è possibile identificare tre scenari (nel seguito indicati come minimo, obiettivo e intermedio), a cui è poi possibile affiancare uno scenario futuristico, volto a comprendere le implicazioni di un'eventuale esplosione futura della domanda.

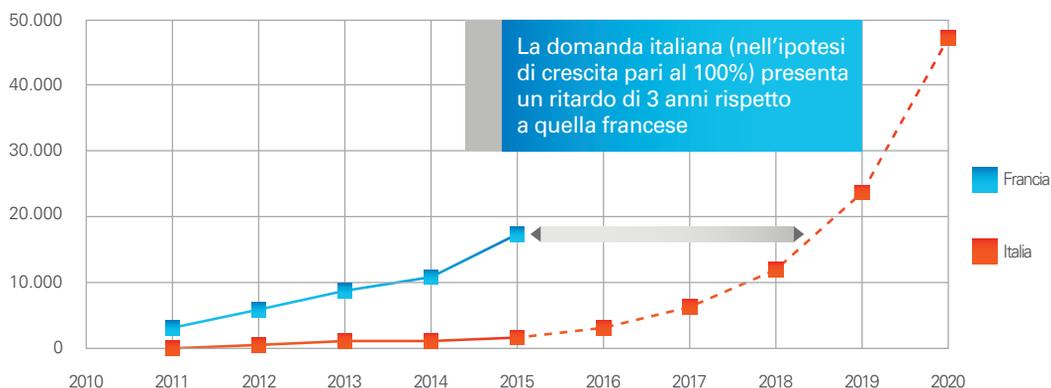
3.2 La stima della domanda: il numero di veicoli elettrici in circolazione nel 2020

Il primo scenario si basa su ipotesi di sviluppo della domanda guidato dalla crescita dell'offerta e prende come riferimento il modello francese. Si considera che:

- il tasso di crescita del mercato francese di auto elettriche è stato superiore nel primo trimestre del 2016 al 100%. Assumendo il mantenimento di una stessa dinamica nei prossimi anni, il livello delle vendite raddoppia ogni anno;
- il numero di veicoli elettrici per abitante in Italia è circa un decimo di quello francese. Assumendo un raddoppio annuo delle vendite, si delinea un ritardo della domanda italiana di tre anni rispetto a quella francese;
- la popolazione francese è pari a circa 66 milioni, il 10% in più rispetto all'Italia.

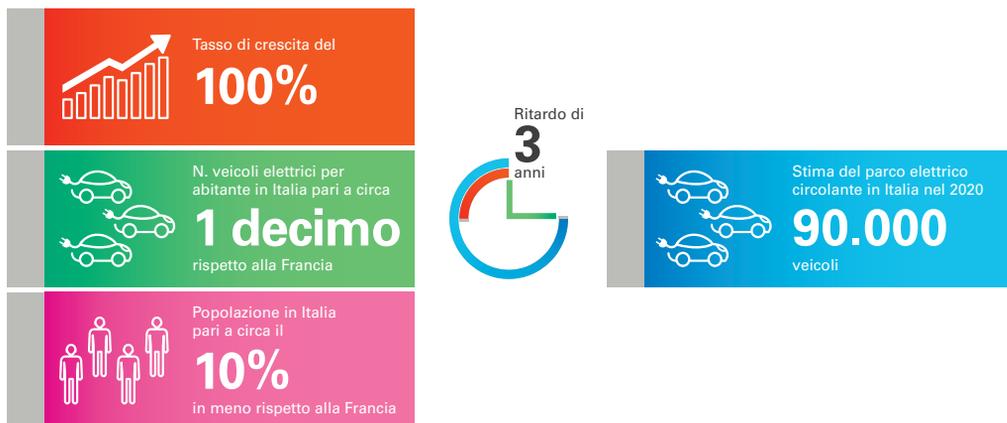
Sulla base di questi valori, è possibile stimare il mercato italiano a partire dall'evoluzione del mercato francese, introducendo un ritardo di 3 anni e riducendo i valori ottenuti del 10%.

Figura 13: L'evoluzione della domanda in Italia e in Francia a confronto



Con questo approccio si può considerare il parco auto elettriche in Italia nel 2020 pari a circa 90.000 veicoli, che rappresenta il valore stimato della domanda nello "scenario minimo".

Figura 14: Costruzione dello scenario minimo



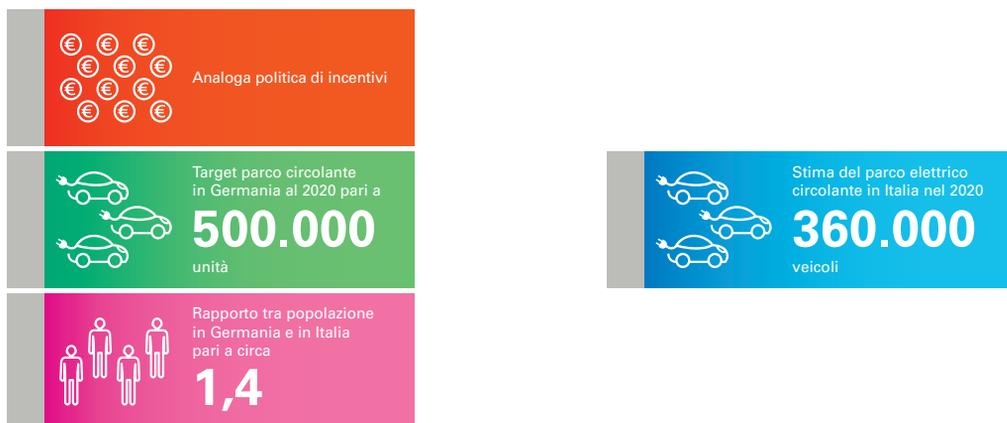
Il secondo scenario si basa su ipotesi di sviluppo della domanda guidato dall'effetto degli incentivi e prende come riferimento il modello tedesco.

In questo secondo scenario si è considerato:

- il target in termini di parco veicoli elettrici al 2020, recentemente rivisto dalla Germania, pari a 500.000 unità;
- il rapporto tra la popolazione tedesca e quella italiana (pari a circa 1,4);

Ipotizzando che l'Italia con un adeguato pacchetto di incentivi riesca ad ottenere un livello di diffusione dei veicoli elettrici tra la popolazione pari a quello tedesco, è possibile stimare per il mercato italiano un parco di circa 360.000 veicoli elettrici.

Figura 15: Costruzione dello scenario obiettivo



Rispetto a questa stima è tuttavia opportuno sottolineare che il target di 360.000 veicoli elettrici rappresenta un limite superiore all'effetto della politica di incentivi, in quanto:

- in Italia non c'è un quadro normativo analogo a quello tedesco; anche nel caso in cui il nostro Paese decida di seguire l'esempio della Germania, va comunque calcolato un ritardo temporale;
- il tasso di penetrazione dei veicoli elettrici in Italia è meno di un quarto di quello tedesco.

Proprio per questa ragione è opportuno considerare anche uno scenario intermedio, rispetto ai due valori sopra riportati (90.000 e 360.000), in cui si può ipotizzare il parco veicoli elettrici in circolazione al 2020 pari a 180.000 unità.

3.3 La stima della domanda: l'autonomia dei veicoli elettrici

Per completare gli scenari di riferimento per il parco veicoli elettrici in circolazione al 2020, è necessario fare delle ipotesi coerenti su un dato progettuale fondamentale: l'autonomia dei veicoli elettrici. Questo parametro comporta notevoli implicazioni in relazione al dimensionamento dell'infrastruttura.

Nel **capitolo 2** abbiamo analizzato i dati principali sui veicoli elettrici oggi sul mercato e su quelli in fase di progettazione. Su questa base è possibile fare due considerazioni:

- tutti i veicoli oggi presenti sul mercato consentono un'autonomia di almeno 100 km con una ricarica completa;
- c'è una tendenza chiara a muoversi verso veicoli con un'autonomia dell'ordine di grandezza di 300 km con una ricarica completa.

Alla luce di quanto detto, per il calcolo dell'autonomia dei veicoli si ipotizza che il parco auto disponibile fino al 2018 sia prevalentemente costituito da veicoli con autonomia di 100 km e che la maggioranza delle vetture acquistate a partire dal 2019 abbiano viceversa un'autonomia di 300 km. Queste ipotesi sono coerenti con i piani di sviluppo più recenti diffusi dalle case automobilistiche.

Nello scenario "minimo", questo equivale ad assumere che circa 18.000 veicoli, pari al 20% del Parco auto al 2020, abbiano un'autonomia di 100 km.

Nel caso degli scenari "intermedio" e "obiettivo", la parte principale del parco veicoli sarà acquistata verso la fine del quinquennio 2016-2020 (visto che il sistema di incentivi nel nostro Paese è oggi ancora in fase progettuale ed è quindi difficile immaginare effetti prima del 2018). Di conseguenza, si assume che anche in questi scenari i veicoli con autonomia di 100 km siano pari a 18.000, corrispondenti rispettivamente al 10% e al 5% del parco veicoli dello scenario.

3.4 Gli scenari in sintesi

Integrando le considerazioni precedenti, i quattro scenari oggetto di analisi in questo studio possono essere così sintetizzati:

- scenario minimo, corrispondente alla stima in assenza di incentivi e al limite inferiore in presenza di incentivi, che prevede un parco di veicoli elettrici pari a 90.000 auto nel 2020 (18.000 con autonomia di 100 km, 72.000 con autonomia 300 km);
- scenario intermedio, che prevede un parco di veicoli elettrici pari a 180.000 auto nel 2020 (18.000 con autonomia 100 km, 162.000 con autonomia 300 km);
- scenario obiettivo, che prevede un parco di veicoli elettrici pari a 360.000 auto nel 2020 (18.000 con autonomia 100 km, 342.000 con autonomia 300 km).

- scenario futuristico (1.000.000 di veicoli, 800.000 dei quali con autonomia di 300 km), per comprendere le implicazioni di una possibile esplosione futura della domanda.

Tabella 12: Gli scenari in sintesi

	scenario minimo	scenario intermedio	scenario obiettivo	scenario futuristico
Numero veicoli elettrici	90.000	180.000	360.000	1.000.000
Numero veicoli con rispettiva autonomia (km)	18.000: 100	18.000: 100	18.000: 100	200.000: 100
	72.000: 300	162.000: 300	348.000: 300	800.000: 300

4. La progettazione della rete urbana

La progettazione della rete di infrastruttura urbana è finalizzata alla copertura dei centri abitati con punti di ricarica di tipo *quick*. Gli impianti hanno lo scopo primario di garantire il soddisfacimento della richiesta di ricarica da parte della popolazione residente.

Per la progettazione della rete urbana occorre in primo luogo definire l'unità di analisi, formulando al contempo opportune assunzioni sui profili di utilizzo del corrispondente parco elettrico. Su queste basi, si può procedere alla calibrazione dei parametri di modello a partire dai numeri a disposizione, come i dati di censimento forniti dall'Istituto Nazionale di Statistica (Istat). Il fabbisogno di ricarica viene modellato per ciascuna unità di analisi, dimensionando conseguentemente l'infrastruttura urbana per gli scenari individuati. In questo capitolo, dettaglieremo queste analisi separatamente.

4.1 L'unità di analisi e la stima del parco auto elettrico

Nel modello urbano si è scelta come unità di analisi il Comune. Questa scelta presenta alcuni vantaggi importanti. I dati Istat relativi all'ultimo censimento disponibile (2011), consentono di comprendere e quantificare l'intensità di traffico pendolare con origine e destinazione in ciascun Comune italiano: questo può essere considerato come un indicatore chiave nella valutazione del potenziale parco auto elettrico nel Comune stesso. Inoltre, grazie ai dati delle carte di circolazione, come la residenza del proprietario e la motorizzazione dei veicoli, in futuro sarà possibile associare il parco veicoli elettrici a ciascun Comune in modo chiaro e preciso.

Il parco auto elettrico circolante in ciascun Comune italiano può essere stimato attribuendovi parte di quello ipotizzato su scala nazionale, a sua volta fissato secondo gli scenari individuati nel **capitolo 3**. A questo scopo, sono stati presi in considerazione tre diversi criteri di suddivisione del parco auto complessivo:

- i profili di utilizzo, stimati attraverso l'analisi dei profili di pendolarismo in ciascun Comune;
- il potere d'acquisto, stimato attraverso il reddito familiare medio;
- la propensione all'innovazione, quantificata tramite la distribuzione attuale dei veicoli ibridi.

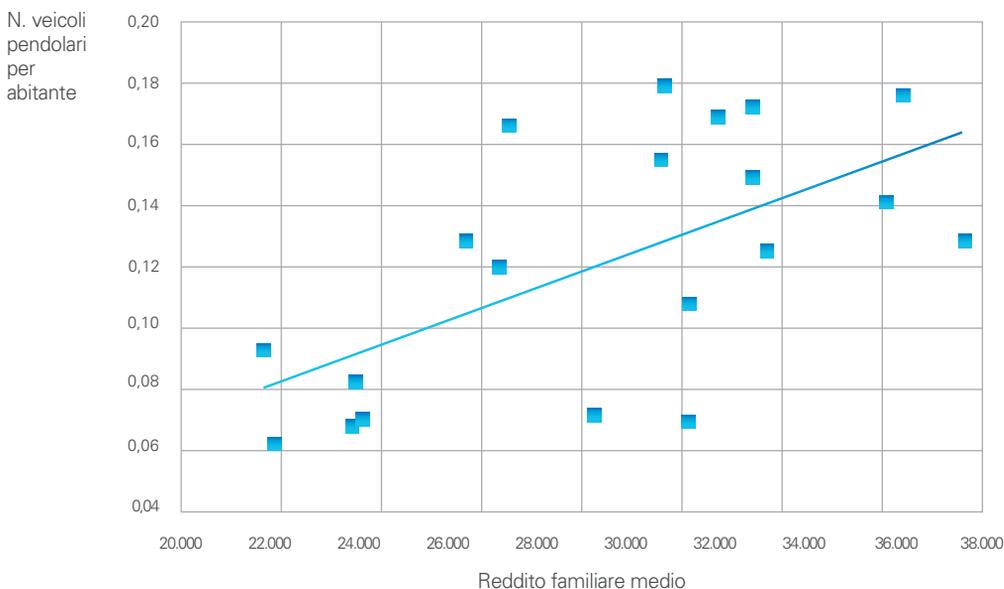
Tra questi si è scelto di considerare il primo criterio, a supporto del quale si dispone di un set informativo molto dettagliato a livello comunale, fornito dai dati di censimento Istat relativi al pendolarismo. D’altro canto, analisi svolte su scala regionale mostrano una correlazione significativa tra i tre parametri, come evidenziato nel paragrafo seguente. Questo suggerisce in particolare che i tre criteri portino a conclusioni coerenti.

4.1.1 La relazione tra i criteri di stima del parco auto elettrico

A livello regionale, i profili di utilizzo, il potere d’acquisto e la propensione all’innovazione risultano parametri positivamente correlati, come si può notare da **Figura 16**: Numero di veicoli pendolari per abitante (asse delle ordinate) in funzione del reddito familiare medio (asse delle ascisse). Ciascun punto del grafico rappresenta una Regione italiana e **Figura 17**: Numero di veicoli pendolari per abitante (asse delle ordinate) in funzione del reddito familiare medio (asse delle ascisse). Ciascun punto del grafico rappresenta una Regione italiana. **Figura 16**: Numero di veicoli pendolari per abitante (asse delle ordinate) in funzione del reddito familiare medio (asse delle ascisse). Ciascun punto del grafico rappresenta una Regione italiana. **Figura 16**: Numero di veicoli pendolari per abitante (asse delle ordinate) in funzione del reddito familiare medio (asse delle ascisse). Ciascun punto del grafico rappresenta una Regione italiana. **Figura 16**: Numero di veicoli pendolari per abitante (asse delle ordinate) in funzione del reddito familiare medio (asse delle ascisse). Il grafico evidenzia come al crescere del reddito familiare medio si verifichi una contestuale crescita del numero di veicoli pendolari per abitante. Il primo si può ritenere rappresentativo del potere di acquisto delle famiglie, che dunque risulta legato all’intensità del pendolarismo.

Figura 16: Numero di veicoli pendolari per abitante (asse delle ordinate) in funzione del reddito familiare medio (asse delle ascisse). Ciascun punto del grafico rappresenta una Regione italiana.

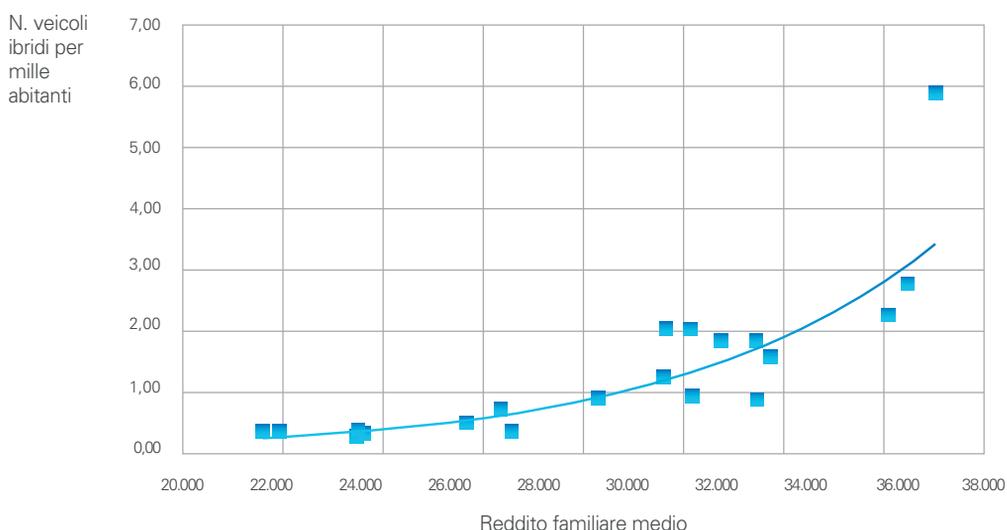
Correlazione tra reddito e n. di veicoli pendolari



Allo stesso modo si riporta in **Figura 17**: Numero di veicoli pendolari per abitante (asse delle ordinate) in funzione del reddito familiare medio (asse delle ascisse). Ciascun punto del grafico rappresenta una Regione italiana. la relazione tra il numero di veicoli ibridi per mille abitanti (asse delle ordinate) e il reddito familiare medio (asse delle ascisse). Anche in questo caso il grafico evidenzia una relazione positiva tra i due indicatori, a ulteriore conferma della coerenza tra i criteri individuati.

Figura 17: Numero di veicoli pendolari per abitante (asse delle ordinate) in funzione del reddito familiare medio (asse delle ascisse). Ciascun punto del grafico rappresenta una Regione italiana.

Correlazione tra n. veicoli ibridi e reddito



Il valore di queste conclusioni, deducibili qualitativamente dall'analisi grafica di Figura 16: Numero di veicoli pendolari per abitante (asse delle ordinate) in funzione del reddito familiare medio (asse delle ascisse). Ciascun punto del grafico rappresenta una Regione italiana. e **Figura 17**: Numero di veicoli pendolari per abitante (asse delle ordinate) in funzione del reddito familiare medio (asse delle ascisse). Ciascun punto del grafico rappresenta una Regione italiana., è stato comprovato con opportune analisi statistiche. In particolare, in Figura 16: Numero di veicoli pendolari per abitante (asse delle ordinate) in funzione del reddito familiare medio (asse delle ascisse). Ciascun punto del grafico rappresenta una Regione italiana. è mostrato l'adattamento di un modello lineare semplice, volto a spiegare il numero medio di veicoli pendolari per abitante come funzione del reddito familiare medio. **Figura 17**: Numero di veicoli pendolari per abitante (asse delle ordinate) in funzione del reddito familiare medio (asse delle ascisse). Ciascun punto del grafico rappresenta una Regione italiana. mostra invece l'adattamento di un modello lineare semplice che descriva il numero medio di veicoli ibridi per abitante al variare del quadrato del reddito familiare medio. In entrambi i casi, test statistici svolti sui parametri stimati mostrano la significatività del modello, confermando inoltre la relazione positiva tra gli indicatori individuati nel range di osservazione dei dati.

4.1.2 I profili di utilizzo

Per la delimitazione dei profili di utilizzo a livello comunale occorre introdurre alcune ipotesi che consentano di formulare un modello per il fabbisogno di ricarica nel Comune stesso. In particolare parliamo di:

- disponibilità di ricaricare presso la propria abitazione o sul luogo di lavoro (ricarica propria);
- utenti dell'infrastruttura di ricarica urbana;
- chilometri mediamente percorsi al giorno;
- numero di ricariche necessarie al soddisfacimento della richiesta urbana.
- Di seguito, per ciascuna di esse vengono definite le scelte progettuali, le motivazioni che le giustificano e le implicazioni relative.

4.1.2.1 Disponibilità di ricarica propria

La delimitazione dei profili di utilizzo richiede in primo luogo una suddivisione degli utenti tra coloro che possono usufruire di una ricarica propria e coloro che invece devono necessariamente ricorrere a ricariche di uso pubblico. A questo scopo il dato dedotto dalle "linee guida" di Regione Lombardia in collaborazione con RSE⁽⁴⁾ porta a stimare la percentuale di utenti che dispongono di ricarica propria tra il 40% e il 60% del totale dell'utenza. Nel modello si è quindi utilizzato come valore base il valore centrale di questo intervallo, dunque considerando una disponibilità di ricarica privata al 50% dell'utenza. In un secondo momento, è stata svolta un'analisi di sensitività dei risultati al variare di tale parametro nell'intervallo 40%-60%.

Si è inoltre assunto che gli utenti possessori di una ricarica propria non ricorrano mai a ricariche di uso pubblico. Questo consente di omettere dal modello la necessità di ricariche per i mezzi pubblici, che disporranno di infrastrutture di ricarica presso la propria sede. Il dato viene parzialmente "rilassato" nello scenario futuristico, dove si ammette che il 20% dell'utenza che dispone di ricarica propria possa ricorrere a ricarica pubblica.

4.1.2.2 Gli utenti della rete

Per l'identificazione degli utenti che usufruiranno dell'infrastruttura di ricarica (pubblica) urbana, sono stati analizzati i profili degli utenti attuali della rete urbana. Questi possono essere classificati in:

- microutenti: il veicolo viene utilizzato per tratti brevi, tipicamente all'interno dello stesso Comune (ad esempio, per recarsi a fare la spesa o accompagnare i figli a scuola); in particolare, rientrano in questa categoria i cosiddetti pendolari intra-comunali;

4 Le "Linee guida" indicate da Regione Lombardia in collaborazione con RSE (fonte:

www.veicolieletricinews.it/infrastrutture-ricarica-le-linee-guida/ - ultima consultazione: 16.09.2016) sono emanate nella Deliberazione X/4593 del 17/12/2015 "Linee Guida per l'infrastruttura di ricarica dei veicoli elettrici" (fonte: www.lavoro.regione.lombardia.it/shared/ccurl/82/416/Linee%20guida%20per%20la%20ricarica%20elettrica.pdf - ultima consultazione: 16.09.2016). In queste ultime viene enunciato che: "I residenti, cioè gli abitanti dei centri urbani, generalmente effettuano percorrenze del tutto compatibili con l'autonomia dei veicoli elettrici e quindi per le esigenze di ricarica si può pensare, in prima istanza, a quella notturna di tipo normale, vale a dire lenta, presso i box privati, tenendo presente che ne dispone oltre il 60% delle abitazioni. In alternativa si deve ipotizzare la possibilità di ricarica presso i punti accessibili nelle aree condominiali o in strade limitrofe oppure alla ricarica veloce da effettuarsi periodicamente presso apposite aree attrezzate. Nel corso della giornata è comunque da prevedersi la possibilità di ricariche di tipo normale in caso di soste presso centri commerciali o in aree di parcheggio pubbliche".

- pendolari: il veicolo è utilizzato da un lavoratore o uno studente, che quotidianamente si sposta dalla località di residenza per raggiungere quella della propria attività di lavoro o studio, situata generalmente in un Comune diverso da quello di residenza (pendolari extra-comunali);
- utenti su lunghe distanze: il veicolo è utilizzato per percorrere lunghe distanze (extra-comunali); in questa classe possono essere trovati anche utenti pendolari il cui luogo di lavoro o studio si trovi a lunga distanza dal luogo di residenza.

Nella formulazione del modello urbano saranno considerati unicamente gli utenti del secondo tipo, ovvero gli utenti pendolari. Si noti tuttavia che grazie alla brevità dei tratti percorsi dai micrountenti, il fabbisogno di ricarica di questi ultimi può essere considerato molto limitato: di fatto si ritiene ragionevole assumere che la richiesta dei micrountenti sia soddisfatta attraverso biberonaggi frequenti, effettuati ogni qualvolta viene incontrato un punto di ricarica libero. D'altro canto gli utenti su lunghe distanze potranno usufruire di ricariche di tipo *fast*; la progettazione della rete di ricariche di tipo *fast* sarà considerata in dettaglio nel capitolo 5.

Sebbene la scelta modellistica di considerare i soli utenti pendolari porti a sottostimare l'effettiva necessità di infrastrutture di ricarica a livello urbano, si può ritenere questo effetto trascurabile, grazie ad alcune scelte modellistiche compensative che saranno dettagliate nel seguito. Tra queste citiamo l'"arrotondamento verso l'alto", che sarà considerato per il dimensionamento dell'infrastruttura a livello comunale, e la considerazione di un basso tasso di utilizzo di ricariche – non superiore al 50% nelle ore diurne –, che consente di lasciare ampio spazio a "rabbocchi" diurni. Si noti inoltre che la classificazione degli utenti introdotta in precedenza identifica utenti «tipo»: l'utente reale della rete urbana potrà risultare da una combinazione di questi tre comportamenti di riferimento. Tuttavia, le scelte modellistiche della presente analisi rendono il modello proposto robusto rispetto alla combinazione lineare di tali comportamenti.

4.1.2.3 I chilometri percorsi al giorno

Un'assunzione cruciale nella formulazione del modello consiste nella valutazione del numero di chilometri percorsi giornalmente da un veicolo utente della rete. Questo parametro ha un impatto diretto sulla necessità di ricarica del veicolo stesso, quindi sulla frequenza con la quale l'utente disporrà di ricarica pubblica. Nel seguito sarà considerata una percorrenza media da parte degli utenti pendolari di 40 km/giorno. La scelta di tale valore è basata sulle stime ottenute dai dati di censimento Istat e su alcune considerazioni correttive dettagliate più avanti.

In primo luogo si è assunto che un utente pendolare utilizzi un veicolo elettrico per spostamenti giornalieri feriali non superiori a 100 km. Ciò garantisce che un viaggio di andata e ritorno possa essere effettuato anche in assenza di una ricarica intermedia. Si noti inoltre che, su percorsi più lunghi, è ragionevole prevedere che almeno una parte della percorrenza avvenga su tratti autostradali o statali, laddove, qualora sia necessario, è possibile ricorrere a ricariche di tipo *fast*, la cui rete è progettata nel capitolo 5.

Per la calibrazione dei parametri del modello, sono dunque stati considerati i dati Istat relativi al pendolarismo, con particolare riferimento alle matrici di pendolarismo estratte dall'ultimo censimento disponibile (anno 2011)⁵. I dati di pendolarismo sono caratterizzati da due possibili

5 Fonte ISTAT: <http://www.istat.it/it/archivio/139381> (ultima consultazione: 16.09.2016)

livelli di dettaglio a seconda dello stato di residenza, in famiglia o convivenza. In particolare, solo per i dati relativi allo stato in famiglia (ovvero i dati denominati di tipo «L») è disponibile la stratificazione per “mezzo di trasporto”, utile per selezionare i soli utenti pendolari che si spostano in automobile, ovvero gli utenti della rete stradale. D’altro canto, il tipo di residenza in famiglia è prevalente rispetto alla residenza in convivenza, in quanto è rappresentativo del 99.93% della popolazione residente in Italia. Nel seguito, sarà considerata la struttura del solo tipo di dato d’interesse per l’analisi, ovvero il dato di tipo “L”, con particolare riferimento alle informazioni rilevanti per la calibrazione dei parametri di modello.

Le unità statistiche, ovvero le righe della matrice di pendolarismo, corrispondono a coppie origine-destinazione (OD) che sono percorse da almeno un utente pendolare residente in Italia. Una coppia OD è identificata in modo univoco dai codici Istat del Comune di origine e del Comune di destinazione. Fissata una coppia OD, è di interesse per la presente analisi il numero di utenti pendolari sulla tratta, che, oltre a quantificare l’intensità del traffico sulla tratta considerata, si riflette sul fabbisogno di ricarica elettrica nel Comune di origine. Si noti che, in questo studio, si presume che l’utente tipico della rete urbana effettui la ricarica del proprio veicolo elettrico nel Comune di origine. Una seconda informazione rilevante è il mezzo di trasporto usato per lo spostamento, dato ad oggi non disponibile per il tipo di residenza in convivenza. Questa informazione consente di identificare ed estrarre i soli spostamenti di tipo “conducente”, escludendo al contrario la tipologia “passeggero”: questo garantisce che la stima del traffico pendolare sia ottenuta in termini di numero di veicoli pendolari e non di persone pendolari.

Per la stima dei chilometri percorsi in media giornalmente dai veicoli pendolari, si è calcolata la distanza aerea che separa ciascuna coppia OD, sulla base delle coordinate dei Comuni reperite in rete⁶. I dati disponibili si riferiscono alle coordinate del baricentro di tutte le località italiane, ovvero centri abitati, nuclei abitati, località produttive e case sparse, aggiornate con i dati Istat del censimento 2001. Tali dati sono stati dapprima aggregati a livello comunale, quindi incrociati con i codici Comune del più recente censimento 2011, forniti da Istat insieme alle matrici di pendolarismo. A ciascuna coppia OD nella matrice di pendolarismo, sono state dunque associate le coordinate di origine e destinazione e, su questa base, è stata stimata:

- a. la distanza aerea di ciascun Comune italiano da ciascuna destinazione meta di pendolarismo con origine nel comune stesso;
- b. il numero di veicoli pendolari associati a ciascuno spostamento OD.

Ai fini delle analisi, e coerentemente con le scelte modellistiche discusse in precedenza, per ciascun Comune di origine sono stati selezionati i soli veicoli pendolari con destinazione extra-comunale, a percorrenza giornaliera inferiore a 100 km nei giorni feriali. È stata così stimata a circa 30 km/giorno la percorrenza media giornaliera feriale dei veicoli pendolari selezionati.

Si noti che le stime ottenute con questo metodo portano a quantificare spostamenti giornalieri nulli (in termini di distanza percorsa) per utenti pendolari con destinazione nello stesso Comune di origine (ovvero di residenza), più avanti denominati pendolari intra-comunali. Per tener conto di questo e dei margini di incertezza dei dati, nella calibrazione dei parametri di modello si è scelto di sovrastimare leggermente la percorrenza media giornaliera dei veicoli elettrici, fissandone il valore a 40 km/giorno.

6 fonte: ISTAT + Gfoss.it (Geospatial Free and Open Source Software), http://geodati.gfoss.it/localita_istat/orig/ (ultima consultazione: 16.09.2016)

Alla luce di queste considerazioni, sono stati ignorati gli spostamenti intra-comunali, con la sola eccezione della città di Roma. Di fatto Roma, per dimensione ed estensione territoriale, è l'unico caso in cui gli spostamenti intra-comunali assumono una consistenza tale da non poter essere gestiti attraverso il meccanismo del biberonaggio. Nella Capitale infatti, pur registrandosi un intenso traffico pendolare e un numero di residenti consistentemente superiore a quello di altre città metropolitane, si verifica un pendolarismo extra-comunale sensibilmente inferiore. Confrontando i dati con la città di Milano, Roma registra una popolazione residente 2.12 volte superiore, un numero di veicoli pendolari 3.19 volte superiore, ma un pendolarismo extra-comunale pari a solo 0.63 volte quello di Milano. Nel caso di Roma, quindi, il riferimento al solo traffico extra-comunale appare incoerente rispetto alle caratteristiche della città stessa. Per tener conto di questi aspetti peculiari della Capitale, la stima del numero di infrastrutture di ricarica sarà quindi allineata a quella di Milano, moltiplicando per un fattore correttivo pari a 4.

4.1.2.4 Il numero di ricariche

Per la stima del numero di ricariche effettuate da un veicolo utente della rete urbana, si è resa necessaria l'introduzione di alcune ipotesi sull'infrastruttura di ricarica installata, ovvero sul tempo atteso di ricarica di un veicolo elettrico presso tale infrastruttura. A questo scopo, sono state analizzate le prestazioni dei veicoli e delle infrastrutture attualmente disponibili (si veda il capitolo 2) stimando che il tempo di ricarica si possa considerare compreso tra 2 e 3.5 ore. Si noti che, sebbene il tempo necessario per una ricarica completa presenti una certa variabilità, le scelte modellistiche dell'analisi garantiscono che tale variabilità non influisca in modo significativo sui risultati del modello. Di seguito, si assumerà che il numero di ricariche complete per punto di ricarica non si sia superiore a due al giorno per punto di ricarica nei giorni feriali e tre ricariche al giorno nei fine settimana. Pertanto, anche in corrispondenza del valore minimo del tempo di ricarica, il numero di ricariche complete difficilmente risulterà superiore a tali valori.

Nonostante si siano finora considerate ricariche complete, il quadro non cambierebbe in modo sostanziale nel caso in cui gli utenti privilegiassero ricariche parziali. Il tempo di ricarica complessivo (che quantifica l'impegno dell'infrastruttura di ricarica) non si ridurrebbe a parità di chilometri percorsi. In tal caso tuttavia aumenterebbe la probabilità che il punto di ricarica sia impegnato da un veicolo carico, riducendo ulteriormente la possibilità di ricarica e il corrispondente fattore di utilizzo. Si noti inoltre che lo studio degli attuali livelli di autonomia suggerisce che, relativamente agli utenti pendolari, sia necessaria una ricarica ogni uno o due giorni, rendendo pertanto più probabile la tendenza a ricaricare il veicolo elettrico in modo completo.

Si osservi infine che le ipotesi formulate risultano compatibili con la presenza di microunteri che usufruiscono di rimbocchi brevi ma frequenti presso l'infrastruttura urbana. Come già discusso in precedenza, questi ultimi non sono considerati nella formulazione del modello, consentendo al contempo di semplificare l'analisi.

4.2 La struttura del modello

L'insieme di assunzioni e metodi di stima discusso nella sezione consente ora di formulare il modello per la progettazione dell'infrastruttura urbana. Per ciascun Comune (unità di analisi), la stima dell'infrastruttura di ricarica si articola in tre fasi:

Fase 1: *Stima del parco auto elettrico che usufruisce di ricarica nel Comune*

Fase 2: Calcolo del fabbisogno settimanale di ricarica nel Comune

Fase 3: Calcolo dell'infrastruttura di ricarica

4.2.1 Fase 1: Stima del parco auto elettrico che usufruisce di ricarica nel Comune

Il parco auto elettrico circolante nell'unità di analisi (il Comune) può essere stimato per ciascuno scenario suddividendo il parco auto totale in modo proporzionale all'intensità del traffico pendolare extra-comunale, calcolato sulla base dei dati di pendolarismo Istat. Si noti che, coerentemente con le considerazioni precedenti, con l'espressione *traffico pendolare extra-comunale* si fa sempre riferimento ai soli veicoli pendolari a percorrenza giornaliera inferiore a 100 km, escludendo pertanto gli utenti su lunghe distanze.

Fissato un Comune, si ha dunque che il numero di veicoli che usufruiscono di ricarica pubblica nel Comune stesso, indicato con **NV**, è stimato come:

$NV = A * \text{numero di veicoli totali da scenario} * \text{numero di veicoli pendolari extra-comunali con origine nel Comune} / \text{numero totale di veicoli pendolari extra-comunali}$

dove il parametro **A** è definito come la percentuale di veicoli utenti che usufruiscono di ricarica pubblica, ovvero 50% come valore di base e 40%-60% per la valutazione di sensitività a tale parametro. Il **numero totale di veicoli pendolari extra-comunali** si riferisce alla stima globale su scala nazionale, secondo i dati di censimento Istat pari a 6.981.383.

Si evidenzia in particolare che il rapporto tra le ultime due variabili, ovvero tra numero di veicoli pendolari extra-comunali con origine nel Comune e numero totale di veicoli pendolari extra-comunali, individua la proporzione di veicoli pendolari extra-comunali che hanno origine nel Comune considerato, ed è quindi il fattore di proporzionalità utile a ottenere la ripartizione del parco auto totale da scenario su base comunale.

4.2.2 Fase 2: Calcolo del fabbisogno settimanale di ricarica nel Comune

Una volta stimato su base comunale il parco auto elettrico afferente a infrastrutture di ricarica pubblica si può procedere al calcolo del fabbisogno di ricarica nel Comune. Questo è quantificato attraverso il numero di ricariche settimanali necessarie per il suddetto parco auto elettrico, ed è ottenuto a partire dall'autonomia attesa dei veicoli (fissata anch'essa da scenario), dalle ipotesi adottate relativamente alla percorrenza media dei veicoli utenti della rete e dalle assunzioni sulle caratteristiche delle infrastrutture di ricarica (ovvero sui tempi di ricarica).

Il numero di ricariche necessarie a settimana per un veicolo pendolare, denotato con **NRV**, è calcolato come

$NRV = \text{distanza media giornaliera percorsa} / \text{autonomia} * 5$

dove la **distanza media giornaliera percorsa** è fissata a 40 km, come discusso nella sezione e l'autonomia è fissata da scenario. Si noti che il fattore 5 riflette il carattere feriale del traffico pendolare stimato dai dati di censimento Istat.

Il numero di ricariche a settimana sul Comune, indicato con **NRC**, è quindi calcolato come

$NRC = NRV * NV$

dove **NV** è il numero di veicoli elettrici che usufruiscono di ricarica pubblica, stimato in **Fase 1**.

4.2.3 Fase 3: Calcolo dell'infrastruttura di ricarica

Una volta disponibili i risultati delle fasi precedenti, il dimensionamento delle infrastrutture di ricarica è svolto sulla base delle ipotesi adottate relativamente alle caratteristiche delle infrastrutture di ricarica e al numero di ricariche effettuate giornalmente presso un punto di ricarica.

Il numero di punti di ricarica (**NPR**) necessario alla ricarica del parco auto elettrico nel Comune è calcolato come

$$\mathbf{NPR} = \mathbf{NRC} / \mathbf{B}$$

dove **B** indica il numero di ricariche a settimana per punto di ricarica. Nel presente studio, quest'ultimo parametro è stato fissato pari a 16, sulla base delle considerazioni sulle caratteristiche attuali delle infrastrutture di ricarica e sui profili di utilizzo, discusse nella sezione . Il nostro assunto presso ciascun punto di ricarica è di 2 ricariche giornaliere nei giorni feriali e 3 ricariche giornaliere nel fine settimana.

Il numero di infrastrutture di ricarica, indicato con **NIR**, è dunque calcolato come

$$\mathbf{NIR} = \mathbf{NPR} / \mathbf{C}$$

dove **C** denota il numero di punti di ricarica per ciascuna infrastruttura di ricarica, qui fissato a 2.

Infine, i valori di **NPR** e **NIR** sono arrotondati all'intero superiore, con lo scopo di garantire la copertura del fabbisogno degli utenti della rete urbana. Si osservi che quest'ultimo arrotondamento appartiene all'insieme di fattori correttivi citati in precedenza, che consentono di compensare eventuali sottostime del fabbisogno di ricarica dovute alle assunzioni del modello. Per valutare l'impatto di tale arrotondamento sulla dimensione dell'infrastruttura e sul conseguente investimento economico, è stato inoltre simulato l'effetto di una mancata copertura dell'ultimo 5% del parco auto elettrico che usufruisce di ricarica pubblica. Quest'ultimo corrisponde ai veicoli pendolari extra-urbani con origine nei Comuni a più basso tasso di pendolarismo, ovvero a minore impiego atteso di auto elettriche. A questo proposito, è interessante notare che l'effetto dell'arrotondamento risulta più evidente negli scenari laddove il parco auto elettrico ipotizzato è più limitato: in questi casi si verificano infatti approssimazioni molto accentuate per i Comuni a minore intensità di traffico pendolare, che si ripercuotono in modo significativo sui risultati globali.

A conclusione della sezione, si discute un esempio di stima dell'infrastruttura in un Comune italiano di media dimensione, rimandando ai risultati di sintesi sul territorio nazionale nella sezione 4.3.

Esempio. Stima dell'infrastruttura di ricarica nel comune di Lodi

A titolo esemplificativo, si considera il caso di Lodi. In questo Comune risiedono 44036 cittadini, di cui si stima che circa 8354 siano conducenti di veicoli pendolari. Di questi ultimi, circa 4893 risultano a destinazione extra-comunale. Dai dati di censimento Istat è possibile ricavare 239 coppie OD con origine a Lodi e destinazione in Italia, con un intervallo di distanze percorse giornalmente variabile tra 0 e 205 km/giorno.

Si considera ad esempio lo scenario base (i risultati degli altri scenari sono ottenuti analogamente). In questo caso si stima che il numero di veicoli elettrici nel Comune (NV) sia pari a:

$$NV = 0.5 * 90000 * 4893 / 6981383 = 31.54 \text{ [veicoli].}$$

Assumendo che sul parco auto complessivo di 90.000 veicoli, 18.000 abbiano un'autonomia di 100 km e 72.000 un'autonomia di 300 km, si stima che per il 20% dei 31.54 veicoli elettrici si abbia un numero di ricariche necessarie per veicolo (NRV) pari a:

$$NRV100 = 40 / 100 * 5 = 2 \text{ [ricariche a settimana per veicolo],}$$

mentre per il restante 80% si abbia

$$NRV300 = 300 / 100 * 5 = 0.67 \text{ [ricariche a settimana per veicolo].}$$

Il numero di ricariche settimanali complessivamente richieste sul Comune di Lodi è quindi stimato come

$$NRC = 0.20 * NV * NRV100 + 0.80 * NV * NRV300 = 0.20 * 31.54 * 2 + 0.8 * 31.54 * 0.67 = 29.52$$

Il numero di punti di ricarica necessari a soddisfare la richiesta di ricarica sul Comune risulta quindi

$$NPR = 29.52 / 16 = 1.84$$

mentre il numero di infrastrutture di ricarica risulta

$$NIR = 1.84 / 2 = 0.92$$

Al fine di soddisfare l'intera domanda di ricarica del Comune di Lodi è dunque necessaria l'installazione di 2 punti di ricarica, ovvero di una sola infrastruttura.

In **Tabella 13**: Stime per il Comune di Lodi si riportano le stime ottenute per Lodi per i quattro scenari considerati.

Tabella 13: Stime per il Comune di Lodi

	Numero di veicoli elettrici da ricaricare	Numero punti di ricarica quick stimato	Numero infrastrutture quick stimato	Numero punti di ricarica quick	Numero infrastrutture quick
Scenario minimo	31,54	1,84	0,92	2	1
Scenario intermedio	63,07	3,16	1,58	4	2
Scenario obiettivo	126,14	5,78	2,89	6	3
Scenario futuristico	420,48	24,52	12,26	25	13

4.3 I risultati in sintesi

In questa sezione riportiamo i risultati di sintesi, aggregati a livello dapprima nazionale, quindi regionale.

Per comodità di lettura riportiamo in **Tabella 14**: Parametri di scenario utili alla progettazione dell'infrastruttura urbana i valori dei parametri di modello negli scenari individuati nel **capitolo 3**, con particolare riferimento all'autonomia dei veicoli e al parco auto elettrico ipotizzato su scala nazionale.

Tabella 14: Parametri di scenario utili alla progettazione dell'infrastruttura urbana

	Scenario minimo	Scenario intermedio	Scenario obiettivo	Scenario futuristico
Numero veicoli elettrici	90.000	180.000	360.000	1.000.000
Autonomia veicoli	18.000: 100	18.000: 100	18.000: 100	200.000: 100
	72.000: 300	162.000: 300	348.000: 300	800.000: 300
Percentuale utilizzo ricarica pubblica dai possessori di ricarica privata	0%	0%	0%	20%

4.3.1 I risultati del modello su scala nazionale

I risultati del modello urbano, aggregati su scala nazionale, sono riportati in **Tabella 15**: I risultati del modello urbano per la stima dei punti di ricarica, aggregati a livello nazionale. e **Tabella 16**.

Tabella 15: I risultati del modello urbano per la stima dei punti di ricarica, aggregati a livello nazionale.

	Scenario minimo	Scenario intermedio	Scenario obiettivo	Scenario futuristico
Punti di ricarica <i>quick</i> (copertura 95%)	5.917	7.290	10.470	36.312
Punti di ricarica <i>quick</i> (copertura ultimo 5%)	3.022	3.022	3.022	3.407
Punti di ricarica totali	8.939	10.312	13.492	39.719

Tabella 16: I risultati del modello urbano per la stima delle infrastrutture di ricarica, aggregati a livello nazionale.

	Scenario minimo	Scenario intermedio	Scenario obiettivo	Scenario futuristico
Infrastrutture di ricarica <i>quick</i> (copertura 95%)	5.256	5.691	6.996	19.265
Infrastrutture di ricarica <i>quick</i> (copertura ultimo 5%)	3.022	3.022	3.022	3.022
Infrastrutture di ricarica totali	8.278	8.713	10.018	22.287

4.3.2 I risultati del modello su scala regionale

I risultati del modello urbano, aggregati su scala regionale, sono infine riportati in **Tabella 17** e **Tabella 18**.

Tabella 17: I risultati del modello urbano per la stima delle infrastrutture di ricarica, aggregati a livello regionale, per gli scenari minimo e intermedio.

Scenario	Scenario minimo			Scenario intermedio		
	Numero veicoli da ricaricare	Numero punti di ricarica <i>quick</i>	Numero infrastrutture di ricarica <i>quick</i>	Numero veicoli da ricaricare	Numero punti di ricarica <i>quick</i>	Numero infrastrutture di ricarica <i>quick</i>
Piemonte	4.308,40	1.281	1.224	8.616,81	1.381	1.266
Valle d'Aosta	146,20	75	74	292,41	75	74
Lombardia	1.1174,16	1.759	1.595	22.348,32	2.117	1.702
Trentino-Alto Adige	856,36	334	331	1.712,72	346	334
Veneto	5.380,68	685	596	10.761,36	867	650
Friuli-Venezia Giulia	1.313,37	234	219	2.626,75	270	228
Liguria	7.02,33	239	235	1.404,66	255	238
Emilia-Romagna	3.918,29	440	365	7.836,57	578	411
Toscana	2.922,94	358	302	5.845,87	466	341
Umbria	597,03	103	93	1.194,06	122	99

Scenario	Scenario minimo			Scenario intermedio		
Regione	Numero veicoli da ricaricare	Numero punti di ricarica quick	Numero infrastrutture di ricarica quick	Numero veicoli da ricaricare	Numero punti di ricarica quick	Numero infrastrutture di ricarica quick
Marche	1.385,11	266	248	2.770,21	302	260
Lazio	2.469,22	475	416	4.938,45	592	456
Abruzzo	994,48	319	307	1.988,96	340	315
Molise	178,75	136	136	357,50	137	136
Campania	3.025,76	613	565	6.051,51	704	596
Puglia	1.644,26	272	260	3.288,51	325	269
Basilicata	240,98	131	131	481,97	132	131
Calabria	839,47	413	409	1.678,95	420	411
Sicilia	1.915,60	413	391	3.831,20	467	406
Sardegna	986,60	393	381	1.973,20	416	390
Totale	45.000	8.939	8.278	90.000	10.312	8.713

Tabella 18: I risultati del modello urbano per la stima delle infrastrutture di ricarica, aggregati a livello nazionale, per gli scenari obiettivo e futuristico.

Scenario	Scenario obiettivo			Scenario futuristico		
Regione	Numero veicoli da ricaricare	Numero punti di ricarica quick	Numero infrastrutture di ricarica quick	Numero veicoli da ricaricare	Numero punti di ricarica quick	Numero infrastrutture di ricarica quick
Piemonte	17.233,61	1.649	1.366	57.445,38	4.013	2.411
Valle d'Aosta	584,82	81	75	1.949,40	158	106
Lombardia	44.696,63	2.949	2.037	148.988,78	9.482	5.171

Scenario	Scenario obiettivo			Scenario futuristico		
Regione	Numero veicoli da ricaricare	Numero punti di ricarica <i>quick</i>	Numero infrastrutture di ricarica <i>quick</i>	Numero veicoli da ricaricare	Numero punti di ricarica <i>quick</i>	Numero infrastrutture di ricarica <i>quick</i>
Trentino-Alto Adige	3.425,44	375	343	11.418,12	825	512
Veneto	21.522,72	1.287	828	71.742,40	4.475	2.390
Friuli-Venezia Giulia	5.253,50	363	264	17.511,66	1.130	630
Liguria	2.809,33	289	248	9.364,42	673	416
Emilia-Romagna	15.673,14	898	553	52.243,80	3.215	1.692
Toscana	11.691,75	696	450	38.972,50	2.416	1.278
Umbria	2.388,13	164	117	7.960,42	516	281
Marche	5.540,43	398	294	18.468,08	1.200	667
Lazio	9.876,90	814	567	32.922,99	2.636	1.433
Abruzzo	3.977,93	398	335	13.259,76	944	580
Molise	715,01	141	136	2.383,35	214	163
Campania	12.103,03	902	677	40.343,43	2.625	1.474
Puglia	6.577,02	447	313	21.923,41	1.415	772
Basilicata	963,93	140	132	3.213,11	255	172
Calabria	3.357,90	444	419	11.192,99	863	564
Sicilia	7.662,41	592	455	25.541,35	1.685	957
Sardegna	3.946,39	465	409	13.154,64	979	618
Totale	180.000	13.492	10.018	600.000	39.719	22.287

4.4 Sostituzione infrastrutture *quick* con *fast*

Si è infine valutata la possibilità di sostituire parte delle infrastrutture di ricarica di tipo *quick* con infrastrutture di tipo *fast*. A questo scopo, si è ipotizzato che un'infrastruttura di tipo *fast* consenta di effettuare 12 ricariche complete al giorno, ovvero un totale di 84 ricariche complete a settimana. Considerando l'assunzione precedente di 16 ricariche settimanali per ogni punto di ricarica, ovvero 32 ricariche settimanali per infrastruttura, questo comporta che potenzialmente si possa sostituire un'infrastruttura di tipo *fast* ogni 3 infrastrutture di tipo *quick* (che per ipotesi consentono di operare complessivamente 96 ricariche settimanali). Si osservi pertanto che questa soluzione alternativa può essere applicata soltanto nei Comuni in cui si sia stimata la necessità di almeno 3 infrastrutture di ricarica *quick*, ovvero nei Comuni a più alto tasso di pendolarismo extra-comunale.

Si noti che la sostituzione di infrastrutture di tipo *quick* con infrastrutture di tipo *fast*, nonostante un investimento maggiore (come discusso nel **capitolo 6**), comporterebbe un miglioramento nel livello del servizio urbano, perché ridurrebbe i tempi di ricarica per l'utente della rete.

In **Tabella 19**: Sostituzione delle infrastrutture di tipo *quick* con infrastrutture di tipo *fast*. sono riportati, per i quattro scenari individuati, i risultati di sintesi su scala nazionale relativi al numero di infrastrutture di tipo *quick* sostituibili con infrastrutture di tipo *fast*, alle rimanenti infrastrutture *quick* e al numero di Comuni interessati nella sostituzione.

Tabella 19: Sostituzione delle infrastrutture di tipo *quick* con infrastrutture di tipo *fast*.

	Scenario minimo	Scenario intermedio	Scenario obiettivo	Scenario futuristico
N. comuni con 3 o più infrastrutture di ricarica	21	93	354	2.430
N. di infrastrutture di ricarica <i>quick</i> sostituibili con <i>fast</i>	96	366	1.350	13.388
N. di infrastrutture di ricarica « <i>fast</i> »	32	122	450	4.446

5. La progettazione della rete extraurbana

La progettazione della rete extraurbana è complementare a quella della rete urbana e si occupa dell'infrastrutturazione in termini di ricariche elettriche di tutti i tratti, autostradali e statali, che si snodano al di fuori dei centri abitati. Con "extraurbano" si fa riferimento a tutta la rete autostradale italiana (per dettagli si veda) e alla rete stradale statale (secondo la definizione dell'Automobile Club d'Italia - ACI).

Considerate queste due tipologie di rete differenti, la progettazione della rete extraurbana ha due obiettivi distinti:

- la rete autostradale delle infrastrutture di ricarica deve assicurare agli utilizzatori di veicoli elettrici un servizio in grado di soddisfare le esigenze del viaggiatore per capillarità e utilizzo della rete, e garantire ai conducenti di veicoli elettrici la possibilità di ricaricare anche nei tratti a bassa intensità di traffico;
- la rete di infrastrutture di ricarica sulle strade statali deve soltanto assicurare una copertura “di salvaguardia”, che garantisca ai conducenti di veicoli elettrici la possibilità di ricaricare.
- In questo capitolo i due obiettivi sono quindi affrontati separatamente.

5.1 Il modello autostradale

Il modello autostradale si basa su un’analisi dei flussi veicolari sulla rete delle autostrade italiane. L’idea base è quella di riuscire a garantire, in qualsiasi situazione di traffico, un’efficiente copertura di rete che permetta ai veicoli elettrici di ricaricare dove e quando necessario, evitando la presenza di tratti scoperti dal servizio e tratti in cui l’infrastruttura non sia in grado di soddisfare la domanda di ricarica in tempi ragionevoli. Per raggiungere questo obiettivo il modello deve combinare i dati di flusso di traffico ad uno studio di capillarità, basato sul chilometraggio della rete.

Il modello è qui presentato con riferimento a:

- unità di analisi;
- ipotesi;
- struttura del modello.

5.1.1 L’unità di analisi

Nella costruzione del modello autostradale si è scelta come unità di analisi il «tratto autostradale» come definito dall’Associazione Italiana Società Concessionarie Autostrade e Trafori (AISCAT), fondata nel 1966 allo scopo di radunare le concessionarie Italiane per migliorarne il servizio offerto. Il «tratto autostradale» corrisponde alla classificazione autostradale italiana (A4, A10 etc.), ad eccezione delle autostrade di lunghezza particolarmente elevata, come la A1, che vengono suddivise in corrispondenza dei nodi principali (e.g. A1- Bologna-Firenze; A1-Firenze-Roma etc.).

La rete autostradale italiana è lunga complessivamente 6.902,7 km⁽⁷⁾. L’ 86,4% dell’intera rete (pari a 5.965 km) è gestita in concessione, mentre la parte restante è gestita da Anas - e da altri gestori minori, come Milano Tangenziali - Milano Serravalle Spa, Tangenziale Esterna Spa, etc.

7 Fonte: AISCAT, III-IV Trimestre 2015

Figura 18: Rete Autostradale Italiana (Fonte: AISCAT, Report III-IV Trimestre 2015).



Per le autostrade in concessione, AISCAT fornisce un report semestrale in cui sono indicati i dati consolidati in merito alla consistenza della rete di autostrade e dei trafori in Italia, nonché dati consolidati su base trimestrale, riguardanti traffico, sicurezza e servizi lungo la rete.

Per ciascun "tratto", AISCAT fornisce quindi i seguenti dati medi di traffico giornalieri (calcolati su base trimestrale), relativi ai soli veicoli leggeri:

- *veicoli-chilometro*: chilometri complessivamente percorsi dalle unità veicolari mediamente in un giorno;
- *veicoli teorici medi giornalieri*: unità veicolari che idealmente, percorrendo l'intero tratto autostradale in uno dei due sensi di marcia, danno luogo ad una percorrenza complessiva pari a quella misurata dai veicoli-chilometro. Tale quantità è definita dal rapporto tra i veicoli-chilometro e la lunghezza del tratto autostradale.

I dati di traffico veicolare presentano una notevole stabilità negli anni, ma una discreta stagionalità intra-annuale con valori più alti registrati nel III° trimestre. Per garantire una migliore copertura, si è dunque deciso di dimensionare l'infrastruttura considerando solo il periodo di massimo carico.

Come detto, non tutti i tratti autostradali italiani sono considerati nel rapporto AISCAT; per alcuni tratti si è dovuto ricorrere ad altre fonti o a stime. In dettaglio, per i tratti di competenza di Milano Serravalle-Milano Tangenziali S.p.a si è fatto riferimento ai dati annui dei veicoli transitanti nei tratti di competenza, raccolti ed illustrati nel Bilancio aziendale 2014. Sulla base di questo valore annuale, si è quindi stimato il numero di veicoli teorici medi giornalieri. I tratti di competenza dell'ANAS risultano invece numerosi e di differente natura; su questi nessun documento risulta pubblicamente disponibile. Pertanto, sono state adottate tecniche diverse di stima a seconda della tipologia di tratto come dettagliato in seguito. Nel caso, ad esempio, in cui il tratto sia di tipologia tangenziale, come il Grande Raccordo Anulare di Roma, si è assunto che il numero di veicoli teorici medi giornalieri fosse proporzionale a quello relativo alla Tangenziale di Milano (Tangenziale Est - Tangenziale Ovest - Tangenziale Nord). Per gli altri tratti di tipologia autostradale, quali la Salerno-Reggio Calabria, si è invece considerato un flusso proporzionale alla media nazionale dei veicoli teorici medi giornalieri.

5.1.2 Le ipotesi

Il modello di calcolo delle infrastrutture di ricarica sulla rete autostradale è basato su alcune ipotesi dettagliate in seguito e riguardanti sia i veicoli che le infrastrutture.

Nel definire le scelte progettuali, si fa riferimento ai quattro scenari previsionali precedentemente identificati:

- scenario minimo;
- scenario intermedio;
- scenario obiettivo;
- scenario futuristico.

Le ipotesi relative ai veicoli

Per effettuare un'analisi della domanda di ricarica dei viaggiatori autostradali, occorre definire la quota del traffico autostradale imputabile ai veicoli elettrici e l'autonomia dei veicoli elettrici in esame.

Si è ipotizzato che l'incidenza dei veicoli elettrici sul traffico autostradale sia pari all'incidenza dei veicoli elettrici sull'intero parco automobilistico. Questa scelta mira a bilanciare due effetti contrapposti: da un lato, una "minore propensione" ai trasferimenti lunghi da parte di utenti di veicoli elettrici che spingerebbe a considerare un'incidenza inferiore a quella relativa all'intero parco automobilistico; dall'altra, la "minore anzianità" del parco veicoli elettrici rispetto ai veicoli a combustione, che al contrario indurrebbe ad incrementare tale incidenza. In Tabella 20: Quota di traffico autostradale imputabile ai veicoli elettrici negli scenari individuati è indicata la quota di traffico autostradale imputabile ai veicoli elettrici nei diversi scenari.

Tabella 20: Quota di traffico autostradale imputabile ai veicoli elettrici negli scenari individuati

Scenario minimo	0,25%
Scenario intermedio	0,50%
Scenario obiettivo	1%
Scenario futuristico	1,4%

Per quanto riguarda l'autonomia dei veicoli, si assume che tutti i veicoli utilizzati sulla rete autostradale dispongano di un'autonomia teorica di 300 km. Date le condizioni di guida autostradale, si considera tuttavia come dato reale un'autonomia media di 220 km. Si ipotizza inoltre che i guidatori richiedano un «margine di sicurezza» che induca a ricaricare con almeno 40 km di autonomia residua. Sottraendo quindi all'autonomia reale del veicolo il margine di sicurezza, si ipotizza che l'utente effettui in media una ricarica ogni 180 km (220 km – 40 km) percorsi sulla rete autostradale.

Le ipotesi sulle infrastrutture di ricarica

Per quanto riguarda le infrastrutture, si è ipotizzato di ricorrere interamente a ricariche di tipo *fast*, più adatte alla tipologia di viaggio autostradale. Si ricordi che, come discusso nel capitolo 4, nelle infrastrutture di ricarica di tipo *fast*, posizionate in aree dedicate ai veicoli elettrici, è installato un solo punto di ricarica. Per la distanza tra due aree di ricarica contigue si sono ipotizzati due scenari: uno più capillare con distanza al massimo pari a 40 km; l'altro meno capillare, con distanza al massimo pari a 60 km. Queste distanze sono anche utilizzate per calcolare il numero minimo di infrastrutture per tronco autostradale necessarie a garantire la copertura indipendentemente dai flussi di traffico stimati.

Individuate le caratteristiche delle infrastrutture occorre definire le loro modalità di utilizzo. Sulla base di un'analisi dei dati di targa dei veicoli elettrici e la frequenza di ricarica (capitolo 4), si ipotizza che il tempo medio di ricarica per veicolo sia di 40 minuti.

Si è ipotizzato infine un tasso di utilizzo dell'infrastruttura del 67%, cioè, in media, una ricarica da 40 minuti ogni 60 minuti, così da lasciare spazio per eventuali rimbocchi. Ne consegue che il numero medio di ricariche al giorno effettuate da ogni infrastruttura *fast* autostradale è pari a 24. Questa è nuovamente una scelta conservativa, volta a garantire una buona efficienza di sistema.

5.1.3 La struttura del modello

Considerate le ipotesi discusse relative ai veicoli ed alle infrastrutture, in seguito è illustrato il modello di calcolo nella sua struttura. Il modello autostradale si articola in tre fasi, ripetute per ogni singolo tratto:

Fase 1: *Calcolo del numero di ricariche giornaliere*

Fase 2: *Calcolo del numero di aree di ricarica*

Fase 3: *Calcolo del numero di infrastrutture di ricarica complessivamente necessarie*

Fase 1: Calcolo del numero di ricariche giornaliere

In questa fase s'intende prevedere il numero medio di ricariche richieste giornalmente sulla base del flusso quotidiano di veicoli elettrici per ogni tratto autostradale.

Per ogni tratto si dispone dei seguenti dati:

- veicoli teorici medi giornalieri nel III° trimestre;
- lunghezza del tratto in chilometri.

Per ogni tratto si calcola quindi il Numero di Ricariche Giornaliere, indicato con **NRG**:

$$\mathbf{NRG = A * veicoli teorici medi giornalieri nel III^{\circ} trimestre * Lunghezza tratto / B}$$

dove

- **A** è definita come incidenza dei veicoli elettrici sul flusso veicolare (il valore di questo parametro è diverso nei diversi scenari);
- **B** è pari a 180 Km (distanza media tra due ricariche per un veicolo elettrico).

Pertanto, dato un tratto autostradale e uno scenario previsionale specifico, NRG rappresenta il numero medio di ricariche che vengono richieste dai veicoli elettrici transitanti giornalmente sul tratto considerato.

Fase 2: Calcolo del numero di aree di ricarica

Dal momento che le infrastrutture sono posizionate in aree di ricarica, il numero di aree per un tratto autostradale è calcolato come:

$$\mathbf{Numero\ di\ aree\ di\ ricarica = 2 * Lunghezza\ tratto / Distanza\ massima\ tra\ aree\ di\ ricarica.}$$

Nelle due situazioni considerate, si assume che la distanza massima tra due aree di ricarica in autostrada sia pari rispettivamente a 40 o 60 km. I tratti autostradali di lunghezza inferiore ai 60 km sono stati aggregati a tratti limitrofi, fino al raggiungimento di un tratto complessivamente lungo almeno 60 km. Per entrambe le analisi a 40 e 60 km è stata considerata la stessa aggregazione a 60, al fine di poter sempre ragionare sulla stessa rete autostradale aggregata.

Nella formula il fattore 2 tiene conto del fatto che le aree di ricarica devono essere presenti nei due sensi di marcia del tratto autostradale. Si noti in particolare che le attuali aree di servizio della rete autostradale italiana solo raramente sono accessibili da entrambi i sensi di marcia.

Fase 3: Calcolo del numero di infrastrutture di ricarica complessivamente necessarie

Una volta determinati il numero medio di ricariche giornaliere e il numero di aree di ricarica, per ogni tratto autostradale si passa al calcolo del Numero di Infrastrutture di Ricarica, indicato con NIR:

$$\text{NIR} = \max (C * \text{NRG} / D ; \text{Numero di aree di ricarica})$$

dove:

- **C** è un coefficiente di sovradimensionamento necessario per coprire le punte di domanda, assunto pari a 2;
- **D** è pari al numero di ricariche giornaliere effettuabili per punto di ricarica *fast*; per le ragioni sopra citate, il valore è stato fissato a 24.

Si noti che il coefficiente di sovradimensionamento C ha la funzione di assicurare tempi di attesa ragionevoli, anche in casi di flussi di traffico intensi. Il valore pari a 2 garantisce la copertura del fabbisogno di ricarica anche in caso di flussi pari al doppio di quello medio giornaliero.

Il valore di NIR di solito non è un numero intero e non necessita di arrotondamenti per eccesso. La scelta è dovuta al fatto che la rete autostradale è divisa in tratte solo ai fini del modello di dimensionamento. I contributi decimali fanno quindi riferimento a infrastrutture di ricarica che soddisfano simultaneamente il fabbisogno di diverse tratte connesse. Nel caso autostradale, un arrotondamento per eccesso porterebbe ad una rilevante sovrastima del numero di infrastrutture necessarie per l'intera rete.

Una volta calcolato il numero di infrastrutture di ricarica necessarie (NIR), queste vengono distribuite nelle aree di ricarica secondo i risultati ottenuti nella Fase 2. Qualora si fosse nel caso approssimato, in cui il numero di aree di ricarica coincide con il numero di infrastrutture di ricarica, verrebbe installata un'infrastruttura per ogni area lungo tutto il tratto in esame.

Esempio. A15 Parma - La Spezia. Calcolo del numero di infrastrutture di ricarica.

Si considera il tratto autostradale A15 che collega Parma a La Spezia. Si ipotizza lo scenario minimo, in cui si prevede che lo 0,25% del parco auto attuale sia elettrico, e si stabilisce la distanza massima tra aree di ricarica contigue pari a 40 km. Si vuole calcolare il numero di infrastrutture di ricarica incontrate viaggiando da Parma a La Spezia o viceversa.

L= 101 Km

A= 0,25%

Veicoli Teorici Medi Giornalieri = 24286

Parametri Fissi: B= 180 Km; C= 2; D= 24; Distanza Massima tra Aree di Ricarica = 40 Km

Si calcola:

*Numero aree di ricarica=2*2,525= 5,05*

*NRG= (0.25% * 24865 * 101) Km / 180 Km= 34,07*

*NIR= max (2 * 34,07 / 24 , 5,05) = max (2,84 , 5,05) = 5.05*

In questo esempio, per soddisfare la richiesta generata dal flusso di veicoli elettrici che viaggiano sulla A15 sarebbero necessarie e sufficienti 2.84 infrastrutture. Tuttavia, essendo il tratto lungo 101 Km e volendo garantire un'area di ricarica ogni 40 Km, sono invece necessarie 2.525 aree per ogni senso di marcia alimentate da 1 infrastruttura, corrispondenti a 5.05 infrastrutture per l'intera

A15. Il numero 2.525 indica quindi la presenza di 2 aree di ricarica per senso di marcia destinate a soddisfare esclusivamente la domanda di 80 dei 101 km dell'A15 e di aree di ricarica situate in prossimità dei raccordi dell'A15 con l'A1 e l'A12 in grado di soddisfare anche la domanda dei 21 km residui.

5.2 Il modello delle strade statali

A differenza del modello autostradale, il modello delle strade statali è di tipo statico, ovvero la sua progettazione non si basa sui flussi di traffico ma sulla lunghezza delle strade in esame. Questa scelta è stata guidata sia dalla difficile reperibilità di dati di flusso relativi al traffico, sia dalla differente fruizione di autostrade e strade statali. Sulle strade statali, l'obiettivo della progettazione è quello di garantire una copertura "di salvaguardia" della rete. Il modello si limita quindi a calcolare il numero di aree di ricarica, senza associarlo al numero di infrastrutture di ricarica necessarie.

Nel seguito il modello è presentato con riferimento a:

- ipotesi
- struttura del modello

5.2.1 Le ipotesi

Il modello di calcolo delle infrastrutture di ricarica sulla rete statale si basa sulle seguenti ipotesi:

- la rete stradale statale (SS) viene interpretata come un grafo approssimativamente lineare;
- la distanza media tra due aree di ricarica è ipotizzata pari a 60 o 40 km, come nel caso autostradale.

Poiché il modello è statico e non considera il numero di veicoli transitanti sulla rete delle statali, il numero di aree di ricarica previste dal modello è indipendente dalle ipotesi relative al numero di veicoli elettrici circolanti ed è quindi costante per i quattro scenari di riferimento:

- scenario minimo;
- scenario intermedio;
- scenario obiettivo;
- scenario futuristico.

5.2.2 Il modello per la rete statale: la struttura del modello

Il modello per la rete statale si basa sull'interpretazione delle strade statali come un grafo approssimativamente lineare.

In termini tecnici, un grafo (o rete) è un insieme di elementi, detti nodi, interconnessi da linee, dette archi. La rete delle strade statali è quindi facilmente rappresentabile come un grafo, dove gli archi corrispondono ai tratti di strade statali in esame e i nodi alle aree di ricarica presenti sulla rete. Dato il numero di archi della rete (ottenuto dividendo per 40 o 60 km la lunghezza della rete), il numero di nodi è determinato dal grado di connessione del grafo ed è potenzialmente calcolabile mediante uno studio di dettaglio della topologia della rete, che però non è oggetto di questo progetto. Dal punto di vista teorico è comunque possibile identificare due situazioni estreme, rispettivamente di massima e minima connessione. La prima è la rete in cui gli archi determinano un grafo a maglia triangolare caratterizzato dal minimo numero di nodi; la seconda è costituita dalla rete lineare in cui

gli archi determinano una linea spezzata caratterizzata dal numero massimo di nodi. In un'ottica cautelativa e sulla base dell'osservazione qualitativa della rete statale italiana, si è scelto di stimare il numero di nodi (e quindi di aree di ricarica) assumendo per la rete delle strade statali italiane l'ipotesi di grafo lineare.

Fatte le suddette ipotesi, si possono applicare alla rete delle strade statali alcuni risultati teorici noti per i grafi lineari. In particolare, la Formula di Eulero applicata permette di calcolare il numero di nodi (le aree di ricarica da installare sulla rete statale) fissando la lunghezza della rete e la distanza tra le aree. Questa operazione si riduce ad una semplice divisione.

Su scala regionale, il modello determina quindi il numero delle aree di ricarica necessarie per coprire il chilometraggio della rete statale, come:

Numero Aree di Ricarica per Regione = L / D

- **L** sono i km di strade statali aggregati a livello regionale⁽⁸⁾;
- **D** è la distanza tra aree di ricarica contigue (40 o 60 km).

Al livello di analisi attuale, si è deciso di installare una infrastruttura di ricarica di tipo *fast* in ogni area di ricarica, causa la non reperibilità di dati di flusso di veicoli. Per ogni Regione si può dunque ottenere il numero di aree di ricarica necessarie al fine di garantire la totale copertura della rete. Si noti che, a differenza del caso autostradale, le aree di ricarica adibite alla rete statale sono accessibili da entrambi i sensi di marcia. Per la calibrazione del modello, è possibile reperire i dati relativi al chilometraggio della rete statale nel report dell'Automobile Club d'Italia(ACI) intitolato "Dotazione di infrastrutture stradali sul territorio italiano" (2011).

Esempio. Regione Sicilia: si vuole calcolare il numero di aree di ricarica necessarie per coprire il chilometraggio di strade statali della regione Sicilia.

$L = 3817$ km (Km di Strade Statali Regione Sicilia)
 $D = 40$ km (distanza attesa tra area di ricarica)

Numero Aree di Ricarica Sicilia = $3817/40$ km = 95,425

5.3 I risultati dei modelli extraurbani: infrastrutture di ricarica

In questo paragrafo sono riassunti i risultati di sintesi dei modelli descritti nelle sezioni precedenti. In particolare, Tabella 21: Numero di infrastrutture di ricarica per i 4 scenari. La distanza massima tra aree di ricarica è ipotizzata di 40 km. e Tabella 22 riportano il numero di infrastrutture di ricarica aggregato a livello nazionale, nel caso in cui la distanza massima tra aree di ricarica sia rispettivamente di 40 km e 60 km.

⁸ Fonte: ACI - Automobile Club d'Italia

Tabella 21: Numero di infrastrutture di ricarica per i 4 scenari. La distanza massima tra aree di ricarica è ipotizzata di 40 km.

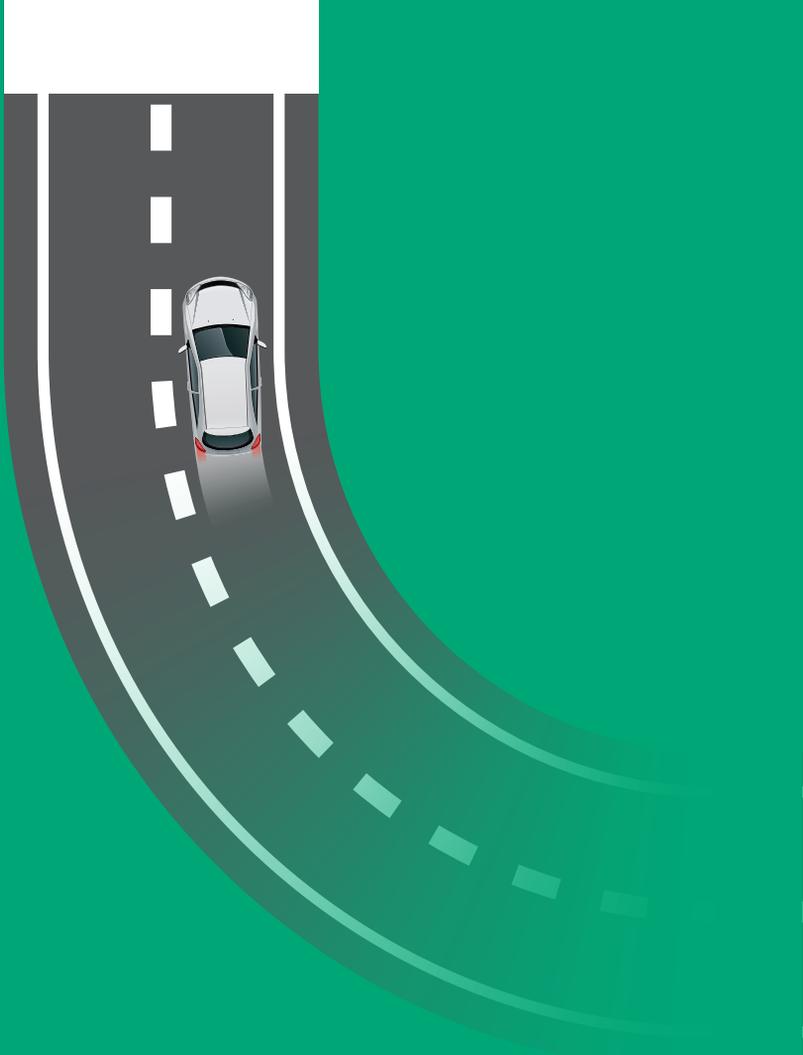
	Scenario Minimo	Scenario intermedio	Scenario Obiettivo	Scenario futuristico
Infrastrutture di ricarica fast autostrade	363	571	1.094	1.529
Infrastrutture di ricariche fast Strade Statali	511	511	511	511
Infrastrutture fast extraurbane	874	1.082	1.605	2.040

Tabella 22: Numero di infrastrutture di ricarica per i 4 scenari. La distanza massima tra aree di ricarica è ipotizzata di 60 km.

	Scenario Minimo	Scenario intermedio	Scenario Obiettivo	Scenario futuristico
Infrastrutture di ricarica fast autostrade	302	550	1.092	1.529
Infrastrutture di ricariche fast Strade Statali	341	341	341	341
Infrastrutture fast extraurbane	643	891	1.433	1.870

PARTE 3.

Gli impatti attesi



Autori:

Marika Arena (Dipartimento di Ingegneria Gestionale, Politecnico di Milano)

Morris Brenna (Dipartimento di Energia, Politecnico di Milano)

6. La valutazione degli impatti

Un progetto di infrastrutturazione a supporto della mobilità elettrica è per sua natura un sistema multi-stakeholder e multi-obiettivo. È multi-stakeholder in quanto coinvolge una pluralità di soggetti interessati: utenti privati, operatori di trasporto pubblico, gestori della rete stradale e autostradale, comunità locali ecc. È multi-obiettivo perché gli impatti associati all'implementazione di un progetto di infrastrutturazione a supporto della mobilità elettrica riguardano le sfere economica, ambientale ed energetica.

La natura multi-stakeholder e multi-obiettivo ha delle implicazioni sulla scelta del sistema di indicatori usati per valutare gli impatti del progetto, che deve riflettere interessi e priorità dei diversi soggetti coinvolti e coprire le varie dimensioni di prestazione.

Nei paragrafi successivi viene prima definito il set di indicatori utilizzati per valutare l'impatto del progetto con le relative metriche e poi si discutono le prestazioni dello stesso sul piano economico, ambientale ed energetico.

6.1 La selezione del set di indicatori

La selezione del set di indicatori è volta ad enucleare le informazioni più rappresentative dell'impatto del progetto. Potenzialmente, nel caso di un progetto di infrastrutturazione a supporto della mobilità elettrica, l'insieme delle interazioni tra l'impresa che lo gestisce e la società è estremamente articolato: accanto agli effetti di natura economica, più diretti e facilmente individuabili, ci sono delle conseguenze indirette, di natura ambientale ed energetica. Da questo punto di vista, quello proposto è un modello semplificato, articolato cioè in pochi selezionati indicatori volti a valutare in maniera sintetica gli impatti del progetto (in termini quantitativi).

Come accennato sopra, gli effetti di un progetto di infrastrutturazione per la mobilità elettrica sono rilevanti non solo per l'impresa che gestisce il progetto ma anche per un ampio sistema di stakeholder. Ad esempio:

- clienti (privati, pubblici, aziende);
- Stato;
- autorità locali (Comuni, Regioni);
- gestori della rete stradale e autostradale;
- produttori di veicoli elettrici, parti e componenti;
- operatori di settori potenzialmente sinergici (gestori dei punti di ristoro in autostrada, gestori dei punti di interesse in aree urbane/interurbane...);
- altri operatori di settore intesi in senso lato (taxi, case automobilistiche, ecc);
- opinione pubblica.

Data la finalità del set di indicatori, il modello di valutazione proposto si focalizza sugli *stakeholder* che hanno un potenziale interesse nel progetto e la possibilità di influenzarne significativamente i risultati, cioè:

- i clienti;
- lo Stato;
- l'opinione pubblica;

e si articola in tre dimensioni:

- economica;
- energetica;
- ambientale.

In **Tabella 23** sono evidenziate le dimensioni di maggiore interesse per le tre categorie di *stakeholders*, a cui si aggiunge l'impresa che gestisce il progetto. Il cliente (che può essere mosso anche da principi di valore come la riduzione dell'impatto ambientale), rispetto alle scelte di mobilità, risulta interessato ad aspetti come la disponibilità, i tempi di ricarica e il relativo costo (quest'ultimo parametro prescinde dalla progettazione dell'infrastruttura). Lo Stato appare invece più attento agli impatti sul piano energetico e ambientale (anche in virtù dell'evoluzione del dibattito a livello europeo). L'opinione pubblica è solitamente molto sensibile alla sfera ambientale. Infine c'è l'impresa che gestisce il progetto, la più interessata ad avere una visione di insieme.

Tabella 23: Mappa stakeholder / obiettivi economici

	Economica	Energetica	Ambientale
Cliente	X		X
Stato		X	X
Opinione pubblica			X
Gestore del progetto	X	X	X

Nel seguito si riportano gli indicatori usati per monitorare ciascuna dimensione e le relative metriche (**Figura 19**).

Figura 19: il set di indicatori



L'impatto economico è misurato sulla base di due indicatori:

- l'investimento richiesto per la costruzione di infrastrutture atte a soddisfare la domanda stimata, nonché quelli necessari per adeguare la rete di distribuzione elettrica e per attivare le nuove connessioni associate alle stazioni di ricarica;
- il fattore di utilizzo dell'infrastruttura in corrispondenza della domanda stimata.

Le metriche degli impatti economici

Indicatore 1: Investimento necessario

L'investimento è calcolato sulla base della seguente metrica:

*Investimento necessario = Numero infrastrutture di ricarica * Costo dell'infrastruttura*

Per il calcolo dell'investimento, il costo dell'infrastruttura è ipotizzato pari a 6.000 € per infrastruttura di ricarica di tipo *quick* e 25.000 € per infrastruttura di ricarica di tipo *fast*.

Indicatore 2: Fattore di utilizzo

Il fattore di utilizzo è calcolato sulla base della saturazione effettiva, come:

Saturazione teorica massima = (ore in carica)/(ore disponibili)

*Saturazione effettiva = Saturazione teorica massima * (Numero punti di ricarica senza arrotondamenti / Numero punti di ricarica totali)*

Al fine del calcolo della saturazione, il numero di punti di ricarica totali è stato assunto pari al numero di infrastrutture di ricarica * 2

L'impatto energetico è misurato sulla base dei consumi di energia elettrica, in corrispondenza della domanda stimata. L'impatto ambientale è misurato in termini di emissioni di CO₂ risparmiate, in corrispondenza della domanda stimata.

Le metriche degli impatti ambientali

Indicatore 1: Emissioni di CO₂ evitate

Le emissioni di CO₂ evitate sono state calcolate sulla base della seguente relazione:

*Emissioni di CO₂ evitate = (emissioni di un veicolo tradizionale – emissioni di un veicolo elettrico) * Numero di veicoli * chilometri percorsi*

Le emissioni di un veicolo elettrico sono state stimate sulla base delle emissioni di CO₂ necessarie per produrre energia elettrica per il loro funzionamento considerando il mix italiano di fonti energetiche primarie.

Le metriche degli impatti energetici

Indicatore 1: Prelievi di energia elettrica dalla rete

Il prelievo è calcolato sulla base della seguente relazione:

*Energia richiesta = Numero di veicoli * Consumo chilometrico di un veicolo * chilometri percorsi*

Il consumo chilometrico è stato stimato in 0,16 kWh/km per il caso urbano e 0,18 kWh/km per il caso autostradale

Indicatore 2: Consumi energetici percentuali

I consumi energetici percentuali sono stati calcolati sulla base della seguente relazione:

Consumo energetico percentuale = energia richiesta / domanda di energia elettrica nazionale

La domanda di energia elettrica nazionale è stata assunta pari a 323.545 GWh come da statistiche di Terna per l'anno 2014.

6.2 Gli impatti economici

In questo paragrafo analizziamo gli impatti economici associati al progetto in termini di investimento necessario e fattore di utilizzo dell'infrastruttura.

Tabella 24 riporta la valutazione degli impatti economici per lo sviluppo dell'infrastruttura a livello urbano, sulla base del numero di punti di ricarica stimati nel capitolo 4, nell'ipotesi di rispondere alla domanda attraverso infrastrutture di tipo *quick*.

In ottica di sviluppo incrementale dell'infrastruttura, si riporta sia l'investimento necessario per garantire una copertura al 95% della domanda, sia l'investimento necessario per garantire la copertura complessiva.

Per completezza, è utile sottolineare che nel calcolo degli investimenti non si tiene conto delle infrastrutture di ricarica già esistenti sul territorio, che consentiranno naturalmente di ridurre l'importo complessivo.

Tabella 24: Impatti economici del progetto a livello urbano

	Scenario minimo	Scenario intermedio	Scenario obiettivo	Scenario futuristico
Investimento (copertura 95%)	€ 31.536.000	€ 34.146.000	€ 41.976.000	€ 115.590.000
Investimento (copertura totale)	€ 49.668.000	€ 52.278.000	€ 60.108.000	€ 133.722.000
Fattore di utilizzo (copertura 95%)	6,9%	10,9%	16,3%	25,0%
Fattore di utilizzo (copertura totale)	4,6%	7,5%	11,9%	22,8%

Rispetto a questi scenari, è inoltre possibile valutare gli impatti economici associati alla possibilità di sostituire delle infrastrutture di tipo *quick* con infrastrutture di tipo *fast*, garantendo quindi un migliore livello di servizio alla clientela grazie alla riduzione dei tempi di ricarica (**Tabella 25**).

Sulla base dei tempi di ricarica, si ipotizza che un'infrastruttura di tipo *fast* consenta in media di effettuare 12 ricariche al giorno (per un totale di 84 ricariche a settimana). Di conseguenza, si potrebbe pensare di sostituire 3 infrastrutture di tipo *quick* (essendo dotate di due punti di ricarica, consentono di effettuare 96 ricariche settimanali) con 1 infrastruttura di tipo *fast*.

Con tutta evidenza questa soluzione alza il livello del servizio (tempi di ricarica ridotti anche a livello urbano) ma implica un maggiore investimento, dato il diverso costo delle due tipologie di infrastruttura.

Tabella 25: Impatti economici della sostituzione di infrastrutture di tipo quick con infrastrutture di tipo fast a livello urbano

	Scenario minimo	Scenario intermedio	Scenario obiettivo	Scenario futuristico
N. comuni con 3 o più infrastrutture di ricarica	21	93	354	2.430
N. di infrastrutture di ricarica quick sostituibili con fast	96	366	1.350	13.388
N. di infrastrutture di ricarica fast	32	122	450	4.446

	Scenario minimo	Scenario intermedio	Scenario obiettivo	Scenario futuristico
Investimento richiesto per infrastrutture quick	€ 576.000	€ 2.196.000	€ 8.100.000	€ 80.328.000
Investimento richiesto per infrastrutture fast	€ 1.600.000	€ 6.100.000	€ 22.500.000	€ 222.300.000
Differenza	€ 1.024.000	€ 3.904.000	€ 14.400.000	€ 141.972.000

Le tabelle successive riportano la valutazione degli impatti economici per lo sviluppo dell'infrastruttura di ricarica a livello extra-urbano, sulla base del numero di infrastrutture e aree di ricarica stimate nel **capitolo 5**. Come discusso in precedenza, in questo caso sono state considerate due diverse ipotesi di copertura, corrispondenti a una distanza media tra le aree di ricarica pari rispettivamente a 60 km (**Tabella 26**) e a 40 km (**Tabella 27**).

È utile sottolineare che il fattore di utilizzo non è stato calcolato per la rete delle strade statali poiché in questo caso l'infrastruttura di ricarica si propone soltanto di assicurare una copertura del territorio, garantendo ai conducenti di veicoli elettrici la possibilità di un rifornimento. L'indicatore così, perde di significatività.

Lo studio effettuato considera che l'infrastruttura di ricarica realizzata con questo piano sia del tutto integrata nella rete di distribuzione. Questo consente di controllare le ricariche tenendo conto dello stato di saturazione della rete e di evitare o limitare drasticamente gli investimenti che sarebbero necessari per adeguare la rete stessa. Un effetto altrettanto importante dell'integrazione fra infrastruttura di ricarica e distribuzione elettrica, è la possibilità di incrementare la capacità della rete di integrare energia prodotta da fonti rinnovabili. La caratteristica di imprevedibilità della produzione delle fonti rinnovabili, associata alla possibilità di modulare tutti i processi di ricarica in funzione dei livelli di produzione da tali fonti, consente infatti di aumentare l'*hosting capacity* della rete elettrica.

Tabella 26: Impatti economici del progetto a livello extra-urbano (copertura 60 km)

	Scenario minimo	Scenario intermedio	Scenario obiettivo	Scenario futuristico
Investimento autostrade	€ 15.100.000	€ 27.500.000	€ 54.600.000	€ 76.450.000
Investimento strade statali	€ 17.050.000	€ 17.050.000	€ 17.050.000	€ 17.050.000

	Scenario minimo	Scenario intermedio	Scenario obiettivo	Scenario futuristico
Fattore di utilizzo autostrade	30%	33%	33%	33%
Fattore di utilizzo strade statali	Nd	Nd	Nd	Nd

Tabella 27: Impatti economici del progetto a livello extra-urbano (copertura 40 km)

	Scenario minimo	Scenario intermedio	Scenario obiettivo	Scenario futuristico
Investimento autostrade	€ 18.150.000	€ 28.550.000	€ 54.700.000	€ 76.450.000
Investimento strade statali	€ 25.550.000	€ 25.550.000	€ 25.550.000	€ 25.550.000
Fattore di utilizzo Autostrade	25,1%	31,9%	33,3%	33,3%
Fattore di utilizzo strade statali	Nd	Nd	Nd	Nd

6.3 Gli impatti ambientali

La valutazione dell'impatto ambientale dei veicoli elettrici può differire a seconda degli aspetti che vengono messi in rilievo. I veicoli elettrici sono considerati a "zero emissioni" dai loro promotori che tendono ad evidenziare solo l'assenza di emissioni locali. Viceversa, i loro detrattori sottolineano come l'energia elettrica necessaria alla loro ricarica venga prodotta tramite combustibili fossili inficiando il miglioramento del problema dell'inquinamento globale.

Entrambi questi approcci sono di per sé errati perché non considerano tutti gli elementi realmente necessari per un confronto oggettivo tra veicoli elettrici e veicoli tradizionali con motore a combustione interna. Innanzitutto bisognerebbe tener conto del diverso rendimento di conversione delle fonti fossili che è più alto per una centrale elettrica rispetto a quello ottenuto dal motore di un veicolo tradizionale. Inoltre, bisogna considerare che nel mix energetico per la produzione di energia elettrica diventa sempre più rilevante la percentuale di fonti primarie rinnovabili di diversa natura, con particolare riguardo all'energia idraulica, eolica e solare.

Un parametro accettabile come elemento comune per la definizione dell'impatto ambientale delle due tipologie di veicoli (elettrici e tradizionali) è ad esempio quello delle emissioni, dirette o indirette, di anidride carbonica (CO₂) per chilometro di strada percorsa.

Nel caso di veicoli tradizionali questo parametro può essere stimato sulla base del parco auto attualmente circolante che, data la varietà di automobili per tipologia e per anzianità, può essere di difficile valutazione.

Per questo motivo si è fatto riferimento ad analisi del settore commissionate dal Ministero delle Infrastrutture e Trasporti e dal Ministero per lo Sviluppo Economico per le quali risulta che le emissioni di CO₂ per il parco veicoli italiano sono mediamente pari a $E_{CO_2-ICE} = 157$ g/km.

Come accennato, un veicolo elettrico non ha emissioni locali dirette di CO₂, ma possono essere stimate le emissioni indirette dovute alla produzione dell'energia elettrica necessaria ad alimentarlo.

A tal fine bisogna prima di tutto considerare il consumo energetico al chilometro di un veicolo elettrico per poi risalire alle emissioni indirette di CO₂.

Come per i veicoli tradizionali, il consumo reale varia in relazione alla tipologia di veicolo, al tipo di percorso, allo stile di guida e alle diverse utenze ausiliarie attivate, come ad esempio l'aria condizionata. Dalle esperienze tratte dallo studio dei veicoli oggi presenti sul mercato, si può stimare un consumo in condizioni reali di guida di $C_{EV-U} = 0,16$ kWh/km per l'ambito urbano e di $C_{EV-A} = 0,18$ kWh/km per gli ambiti extraurbano e autostradale.

Dai valori di consumo al chilometro di energia è possibile risalire alle emissioni indirette di CO₂ tramite la valutazione delle emissioni causate dalla produzione di energia elettrica, considerando il mix di fonti primarie utilizzato.

A tal fine si è fatto riferimento al rapporto *"Fattori di emissione atmosferica di CO₂ e sviluppo delle fonti rinnovabili nel settore elettrico"*, (Rapporto 212/2015 ISPRA), che individua come quantità di emissioni di anidride carbonica un valore pari a $E_{CO_2} = 327$ g/kWh. Il dato considera l'energia in kWh effettivamente consumata presso l'utenza, ossia tiene conto delle perdite di linea dovute al trasporto dell'energia elettrica dalle centrali di produzione verso le utenze finali.

Da questi valori è possibile stimare le emissioni indirette di CO₂ reali di un veicolo elettrico che risultano pari a:

- $E_{CO_2-EV-U} = C_{EV-U} \cdot E_{CO_2} = 52,3$ g/km emissioni indirette di CO₂ in ambito urbano
- $E_{CO_2-EV-A} = C_{EV-A} \cdot E_{CO_2} = 58,8$ g/km emissioni indirette di CO₂ in ambito extraurbano

Come si può osservare dai valori sopra riportati, le emissioni di anidride carbonica causate da un veicolo elettrico sono circa un terzo di quelle di un veicolo tradizionale. Inoltre, l'assenza di emissioni locali tende a migliorare la qualità dell'aria proprio negli ambiti urbani spesso già compromessi da altri fattori di inquinamento, come ad esempio il riscaldamento invernale.

Partendo dai valori di emissioni dirette per i veicoli tradizionali e indirette per quelli elettrici, è possibile stimare i benefici ambientali in termini di risparmio di CO₂/anno per i diversi scenari di penetrazione degli EV assunti in precedenza.

Nel caso dell'ambito urbano si è ipotizzata una percorrenza media di 40 km/giorno (percorso medio andata e ritorno dei pendolari) per 220 giorni/anno, ossia per i giorni lavorativi. Per i percorsi autostradali, invece, si è fatto riferimento ai dati AISCAT presentati e descritti in precedenza.

Dall'elaborazione di questi dati sono emersi i risultati presentati in **Figura 20** e in **Tabella 28**. Per il caso urbano è stata considerata sia la copertura del 95% del territorio, sia la copertura totale degli spostamenti.

Figura 20: Emissioni di CO₂ evitate in ton/anno

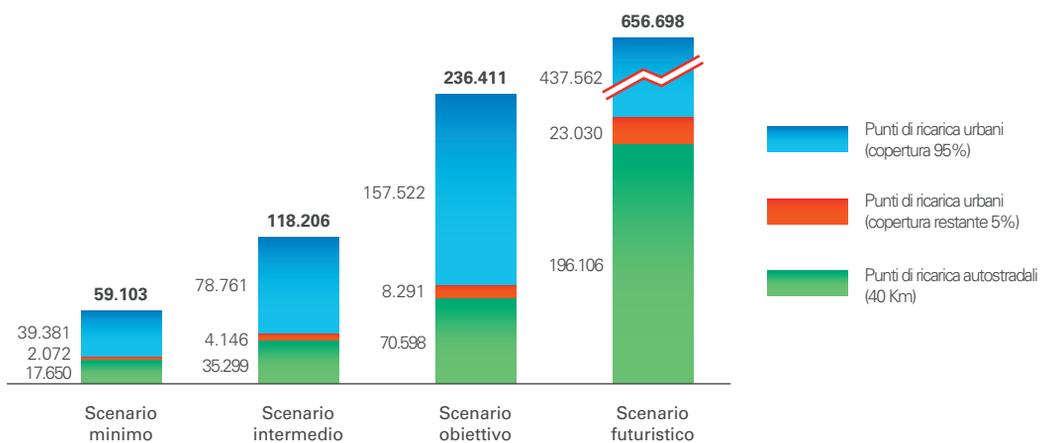


Tabella 28: Emissioni di CO₂ evitate in ton/anno

	Scenario minimo	Scenario intermedio	Scenario obiettivo	Scenario futuristico
Punt di ricarica urbani (copertura 95%)	39.381	78.761	157.522	437.562
Punt di ricarica urbani (copertura restante 5%)	2.072	4.146	8.291	23.030
Punt di ricarica autostradali	17.650	35.299	70.598	196.106
Totale	59.103	118.206	236.411	656.698

6.4 Gli impatti energetici

La ricarica dei veicoli elettrici inevitabilmente causerà un aumento dei consumi di energia elettrica necessaria per i loro spostamenti. A questo proposito è interessante valutare nei diversi scenari fin qui analizzati, i valori di energia prelevata dalla rete elettrica in relazione ai consumi elettrici. Nell'ipotesi dei consumi e delle percorrenze ipotizzati nel paragrafo precedente, si possono stimare i consumi energetici riportati in **Figura 21** e in **Tabella 29**.

Figura 21: Consumi energetici per la ricarica del parco veicoli elettrici nei diversi scenari in GWh/anno

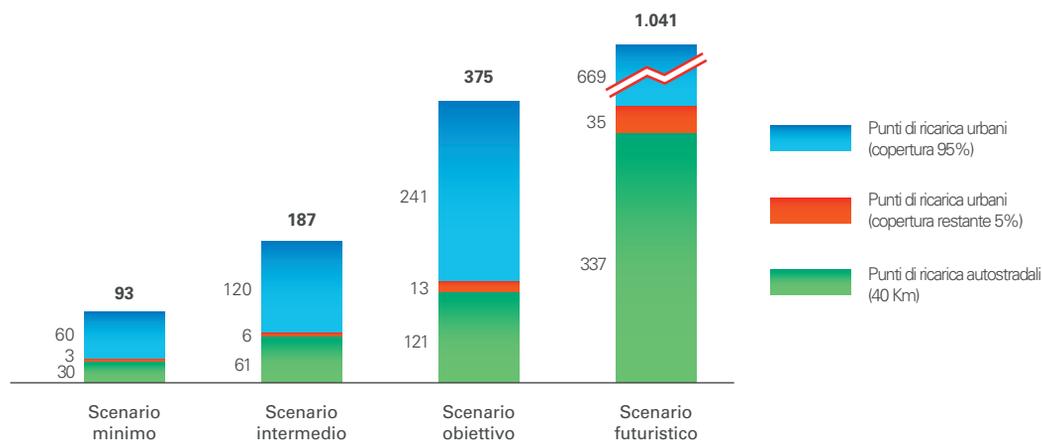


Tabella 29: Consumi energetici per la ricarica del parco veicoli elettrici nei diversi scenari in GWh/anno

	Scenario minimo	Scenario intermedio	Scenario obiettivo	Scenario futuristico
Punt di ricarica urbani (copertura 95%)	60	120	241	669
Punt di ricarica urbani (copertura restante 5%)	3	6	13	35
Punt di ricarica autostradali	30	61	121	337
Totale	93	187	375	1.041

L'analisi ci permette di valutare la percentuale dell'energia richiesta per la ricarica rispetto ai consumi di energia elettrica in Italia che, secondo il rilevamento di Terna per l'anno 2014, ammontano a 323.545 GWh. I risultati sono riportati in **Tabella 30**.

Tabella 30: Consumi energetici percentuali per la ricarica del parco veicoli elettrici rispetto ai consumi nazionali

	Scenario minimo	Scenario intermedio	Scenario obiettivo	Scenario futuristico
Punti di ricarica urbani (copertura 95%)	0,019%	0,037%	0,074%	0,206%
Punti di ricarica urbani (copertura restante 5%)	0,001%	0,002%	0,004%	0,012%
Punti di ricarica autostradali	0,009%	0,019%	0,038%	0,104%
Totale	0,029%	0,058%	0,116%	0,322%

Come si può osservare, anche nell'ipotesi dello scenario futuristico di 1.000.000 di veicoli, l'incremento che si avrebbe sui consumi energetici nazionali per la loro ricarica sarebbe pari a circa lo 0,3%. Questo valore di energia sarebbe già erogabile dalle infrastrutture di generazione esistenti senza la necessità di crearne nuove.

Tuttavia, la diffusione di numerosi sistemi per la ricarica dei veicoli elettrici richiede il prelievo di energia dalla rete elettrica di distribuzione che potrebbe essere causa di congestioni o indisponibilità del sistema di ricarica stesso.

È quindi importante valutare l'impatto che le stazioni di ricarica, sia di tipo *quick* che di tipo *fast*, possono avere sulla rete di distribuzione elettrica attualmente esistente.

Dai calcoli effettuati attraverso lo studio in questione, è emerso che in termini energetici l'impatto di un'infrastruttura di ricarica capillare integrata nella rete di distribuzione elettrica, anche in uno scenario futuristico, sarebbe comunque marginale.

Le problematiche maggiori viceversa, potrebbero nascere dalla potenza richiesta dalle infrastrutture di ricarica per far fronte al rifornimento dei veicoli in tempi ragionevoli. Per diminuire i tempi di ricarica e aumentare al contempo l'autonomia guadagnata dai veicoli elettrici (a differenza dei veicoli tradizionali in cui il rifornimento di carburante viene quantificato in litri, per i veicoli elettrici

si preferisce parlare di km di autonomia acquisiti piuttosto che di kWh di energia caricati), è necessario aumentare la potenza scegliendo soluzioni basate su infrastrutture di tipo *fast* DC.

L'impatto sulla rete elettrica per l'alimentazione delle infrastrutture di ricarica è direttamente proporzionale alla potenza delle stesse, moltiplicata per i coefficienti di contemporaneità e di utilizzazione.

Il coefficiente di contemporaneità considera la probabilità che l'utenza, cioè il veicolo, sia connesso alla presa di alimentazione, in questo caso l'infrastruttura di ricarica. Il coefficiente di utilizzazione invece, tiene conto della reale potenza assorbita rispetto a quella erogabile.

Le infrastrutture di ricarica in AC di Enel hanno una potenza massima di ricarica pari a 22 kW. Dall'analisi delle tipologie di autoveicoli è emerso che la potenza media di ricarica è intorno agli 8 kW. Ne consegue che il coefficiente di utilizzazione delle infrastrutture di ricarica è pari a:

$$k_{util-AC}=0,36$$

Vista la bassa diffusione di veicoli dotati di ricarica *quick* da 22 kW, è poco probabile un coefficiente di utilizzazione pari a 1. Nell'ipotesi di avere collegati alla stessa infrastruttura un'autovettura di nuova generazione e un veicolo con ricarica *quick*, allora il coefficiente di utilizzazione salirebbe a 0,68.

Più articolato è invece il calcolo del coefficiente di contemporaneità, poiché dipende da due elementi aleatori che sono la posizione e lo stato di carica del veicolo.

Avendo ipotizzato che ogni punto di ricarica eroga 16 ricariche a settimana, e precisamente 2 nei giorni feriali e 3 nei fine settimana, e che ogni ricarica completa dura circa 3 ore, si potrebbero definire i coefficienti di contemporaneità come:

$$k_{cont-feriale} = \frac{2 \times 3}{24} = 0,25$$

$$k_{cont-festivo} = \frac{3 \times 3}{24} = 0,375$$

Questo sarebbe vero nell'ipotesi che i veicoli si connettano con un ordine di arrivo casuale. Ciò potrebbe essere vero nel caso dei *biberonaggi*, ossia le ricariche brevi durante il giorno, ma non può essere considerata un'ipotesi plausibile nel caso del traffico pendolare che tenderà a connettere il veicolo prevalentemente al mattino presto nei pressi del luogo di lavoro o alla sera una volta rientrato a casa. In questo caso i coefficienti di contemporaneità tendono verso l'unità, avvalorando anche per questa tecnologia di ricarica la necessità di una infrastruttura integrata nella rete, in modo da modulare le potenze erogate in funzione del livello di saturazione in tempo reale della rete di distribuzione.

Per quanto riguarda le infrastrutture di ricarica in DC, esse sono state dimensionate per fornire tutta e sola l'energia necessaria ai veicoli sui lunghi percorsi. Visto anche il maggior costo delle infrastrutture è auspicabile che le stesse siano sfruttate al massimo delle loro potenzialità. Ne consegue che in questo caso il coefficiente di utilizzazione è pari a 1:

$$k_{util-DC}=1$$

Per quanto riguarda invece il coefficiente di contemporaneità, essendo in questo caso valida l'ipotesi di un arrivo casuale dei veicoli durante l'intera giornata, avendo ipotizzato la durata della ricarica pari a 40 minuti e un numero di ricariche per infrastruttura pari a 24, si può determinare un coefficiente di contemporaneità pari a:

$$k_{cont-DC} = \frac{40/60 \cdot 24}{24} = 0,67$$

Anche in questo caso quindi, per evitare impatti sulla rete di distribuzione è necessario che queste infrastrutture *fast* siano integrate nei sistemi di gestione della rete di distribuzione elettrica.

Riferimenti

- Amsterdam Roundtable Foundation and McKinsey & Company The Netherlands. (2014). EVolution. Electric vehicles in Europe: gearing up for a new phase?
- Bellona Europa. (2015). Electric Vehicles: The Norwegian Experience in Overcoming Barriers
- Egbue, O., & Long, S. (2012). Barriers to widespread adoption of electric vehicles: An analysis of consumer attitudes and perceptions. *Energy policy*, 48, 717-729.
- Sierzechula, W., Bakker, S., Maat, K., & van Wee, B. (2014). The influence of financial incentives and other socio-economic factors on electric vehicle adoption. *Energy Policy*, 68, 183-194.
- Spena, P. R., Rossini, M., Matt, D. T., & Ciarapica, F. E. (2016). Factors and barriers affecting the purchase of electric vehicles in the Italian market. *International Journal of Productivity and Quality Management*, 18(2-3), 210-237.

