

Piano della Mobilità Elettrica per la città di Salerno

#SalernoElettrica parte II *Inquadramento metodologico*

CIG Z0A3109F7C

Responsible Division:	Responsible Unit:	Document Type:	Distribution Status:	Document State:
PTV	PTV SIS	Piano	Condiviso con il Cliente	Final
Prepared	PTV Sistema PTV			30.11.2022
Verified	Ing. Fabio Ingretolli PTV PM			30.11.2022
Approved	Dott. Ida Parisi RUP			
	Nome / Titolo, Gruppo		Firma	Data
<p>Il presente documento e il suo contenuto sono di proprietà di PTV Group o delle sue controllate. Questo documento contiene informazioni riservate di proprietà. La riproduzione, la distribuzione, l'utilizzo o la comunicazione di questo documento o di qualsiasi parte di esso, senza espressa autorizzazione, è severamente vietata. I trasgressori saranno ritenuti responsabili per il pagamento dei danni.</p>		Identity Number:		
		PTV/SA/FI/002		
		Revision:	Language:	
		4.0	IT	

Revisioni

Versione	Modificato	Data	Descrizione
1.0	PTV SIS	29.07.2022	Inquadramento metodologico
2.0	PTV SIS	03.03.2022	Inquadramento metodologico - aggiornamento
3.0	PTV SIS	28.11.2022	Inquadramento metodologico – aggiornamento
4.0	PTV SIS	30.11.2022	Inquadramento metodologico - finale

L'ultima versione di questo documento sostituisce tutte le versioni precedenti.

Indice

Sezione	Title	Pages
	Indice figure	4
	Indice tabelle	4
1	Terminologia	5
2	Premessa metodologica	6
2.1	Introduzione	6
2.2	Classificazione dei potenziali consumatori e determinanti	9
2.3	Stima dei volumi: Tasso di motorizzazione e scelte di possesso	12
2.4	Ambito di applicazione del presente documento	13
2.5	Riferimenti: documenti correlati in ingresso	14
3	Inquadramento metodologico	15
3.1	Metodo aggregato per la stima di punti di ricarica sul territorio	16
	3.1.1 Lo stato dell'arte di riferimento	16
	3.1.2 Approcci di stima aggregata	21
3.2	Metodi basati sui tassi di crescita	25
3.3	Il modello di diffusione della tecnologia: Bass	26
3.4	Metodo disaggregato per la stima dei punti di ricarica sul territorio	31
3.5	Sintesi della metodologia proposta	34

Indice figure

Figura 1- FOCUS tematico 7
 Figura 2- Stima delle esigenze di ricarica 8
 Figura 3- Cluster principali del mercato della mobilità elettrica veicolare 9
 Figura 4- Scelta del numero di veicoli da possedere 12
 Figura 5- Scelta del tipo di alimentazione 12
 Figura 6- Scelta del segmento di autoveicoli da acquistare 12
 Figura 7- Limiti PNIRE 2015 per posti auto 21
 Figura 8- Procedura euristica del metodo aggregato 23
 Figura 9- Le due classi di adottanti del BM 27
 Figura 10- La curva della densità delle vendite nel modello di Bass per differenti valori di p e q 30
 Figura 11- Diagramma di sintesi dei metodi applicati 35

Indice tabelle

Tabella 1- Parametri del modello di Bass da letteratura 29
 Tabella 2- Parametri del modello di Bass per diverse tipologie di automobili 29
 Tabella 3- Funzione di consumo 32

1 Terminologia

Acronimo	Descrizione
AC	Corrente Alternata
DC	Corrente Continua /Direct Current
PUMS	Piani Urbani per la Mobilità Sostenibile
PNRR	Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza
PGTU	Piano Generale Del Traffico Urbano
PUC	Piano Urbanistico Comunale
PNIEC	Piano Nazionale Integrato Energia e Clima
PNIRE	Piano Nazionale infrastrutturale per la ricarica dei veicoli alimentati ad energia elettrica
MISE	Ministero Dello Sviluppo Economico
ITS	Intelligent Transportation System
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle
E-REV	Range-Extender Electric Vehicle
EV	Electric Vehicle
SPM	Interior Permanent Magnet
IPM	Surface Permanent Magnet
DAFI	Decreto legislativo di attuazione della direttiva 2014/94/UE
ICEV	Internal Combustion Engine Vehicle

2 Premessa metodologica

2.1 Introduzione

Il tema dell'utenza di quella che sarà la mobilità elettrica nei prossimi anni si può suddividere in due problematiche distinte: I) *la stima dei volumi, ovvero della domanda di mobilità elettrica;* II) *la stima di come i volumi si ripartiranno tra i differenti tipi di alimentazione.* È possibile schematizzare le problematiche nel diagramma di flusso riportato di seguito.

Dallo schema proposto (Figura 1) emerge, chiaramente, che la definizione del numero di punti di ricarica, la loro distribuzione e tipologia non può essere un semplice calcolo tabellare, ma si deve confrontare con una conoscenza e previsione del complesso sistema di trasporto. Allo stesso modo la segmentazione dell'utenza può essere attività "concettuale" ma la quantificazione dei singoli segmenti deve essere il risultato delle citate attività di stima previsione della domanda di spostamento "elettrica".

Tutte le citate problematiche presentano, ovviamente, differenti livelli di complessità al variare del contesto: se singola destinazione dello spostamento e singola origine (mono-utente o multiutente); se singola destinazione e molteplici origini (mono-utente o multi-utente), se in presenza di sistema urbano complesso che va studiato nella sua globalità di interazioni.

La caratterizzazione spaziale è fondamentale alla individuazione delle possibili problematiche ed esigenze strutturali. Essa consente di segmentare 3 tipologie di macro-utenza completamente differenti e, allo stesso tempo, individuare i luoghi ove posizionare delle stazioni di ricarica.

La stima del tasso di motorizzazione e del parco veicolare è, probabilmente, una delle tematiche più delicate. Essa richiede: (a) la stima di quale sia/sarà il tasso di motorizzazione dell'area di studio; (b) quale sarà la il mix veicolare medio per famiglia (segmento auto); (c) quale sarà il mix di alimentazione (ICEV, Hybrid-ICEV, PHEV, BEV);

Le stima dei punti di ricarica necessari e della relativa tipologia richiede l'analisi preventiva delle **esigenze di ricarica** (Figura 2). La problematica dipende dal segmento di utenza in esame e, nello specifico, l'analisi della domanda di spostamento origine-destinazione, la stima delle caratteristiche con cui di realizza (frequenza, distanze spostamento, velocità, durata media della sosta, ecc..) e, infine, la stima dei consumi energetici per segmento e tipologia di veicolo. A partire dalle suddette informazioni, sarà possibile stimare le esigenze medie di ricarica a base settimanale e, pertanto, stimare il numero di punti di ricarica. In base ai motivi dello spostamento e la durata media della sosta, sarà quindi possibile ipotizzare le più coerenti tipologie di ricarica (e.g. lenta, fast, ultra-fast).

Noto il numero e la tipologia di punti di ricarica, si procede alla distribuzione coerente con la effettiva diffusione della tecnologia in oggetto e la rispettiva distribuzione spaziale nelle aree idonee.

Stima del numero e tipologia dei «punti» di ricarica

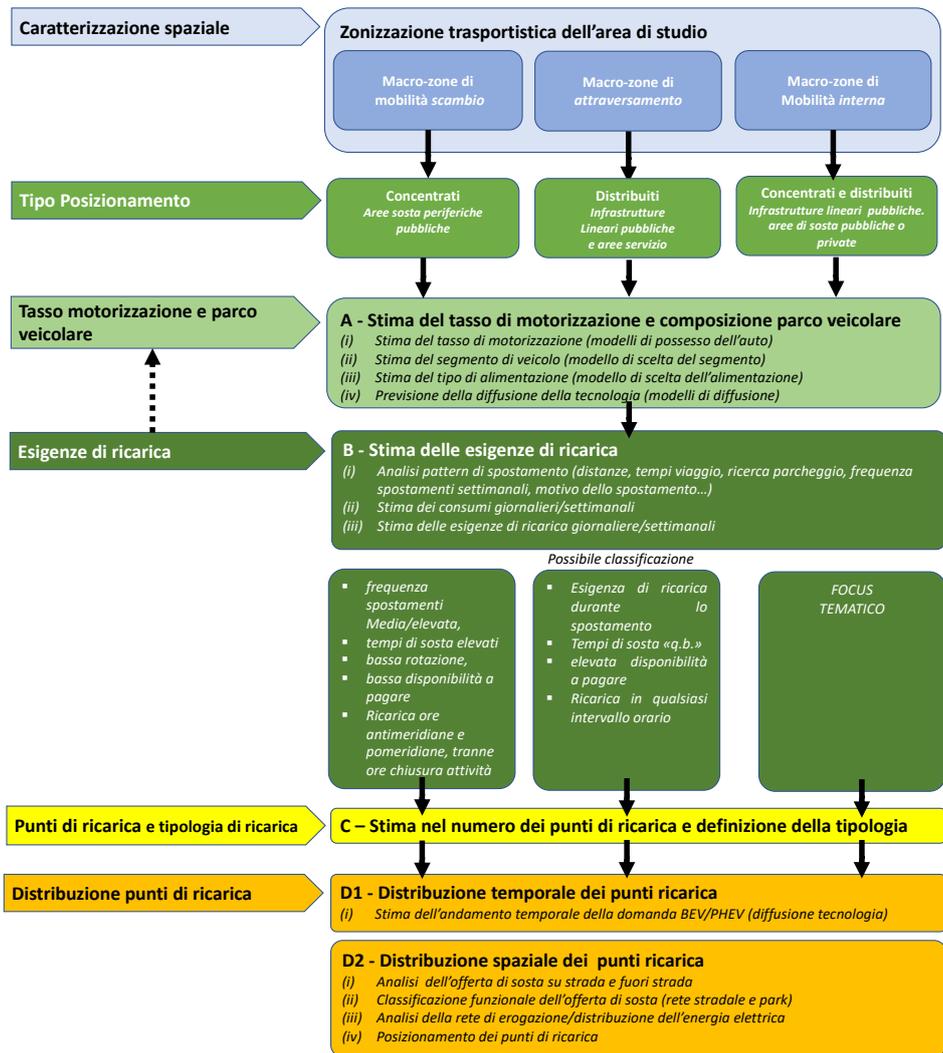


Figura 1- FOCUS tematico



Figura 2- Stima delle esigenze di ricarica

In estrema sintesi, il numero di punti di ricarica e la tipologia di ricarica dipendono dalla combinazione di fattori endogeni e esogeni.

Fattori endogeni

- Tipologia e numero degli spostamenti effettuati giornalieri/settimanali (e.g. sistematico, non sistematico, vincolato o non vincolato).
- Motivo degli spostamenti (e.g. lavoro, acquisti, servizi, svago).
- Durata dell'attività in destinazione.
- Frequenza settimanale degli spostamenti.
- Tipologia dell'utente che si sposta (alto, basso, medio reddito) e disponibilità a pagare.
- Segmento automobile (e.g. A, ..E).
- Tipologia alimentazione (e.g. BEV, PHEV, ..).
- Lunghezza spostamento.
- Velocità media dello spostamento.
- Caratteristiche plano-altimetrico del/i percorso/i.
- Caratteristiche della rete stradale (numero e tipo di intersezioni).
- Condizioni di deflusso (e.g. non congestionato, mediamente congestionato, fortemente congestionato).
- Comportamenti del guidatore: stile di guida, "range anxiety"

Fattori esogeni

- Superfici disponibili.
- Rete di distribuzione dell'energia.
- Contesto tecnologico esistente.
- Disponibilità di superfici di ricarica private e/o possibilità di ricarica privata.

2.2 Classificazione dei potenziali consumatori e determinanti

L'utente potenziale del mercato della mobilità elettrica veicolare può essere inizialmente suddiviso in due cluster principali:

A) Utenti "privati", rappresentata dagli utenti che decidono di acquistare un'automobile di proprietà.

La suddetta utenza, a sua volta, può essere suddivisa in:

- i. utenza "privata" con ricarica "privata": utenti che acquistano un'auto elettrica e prevedono di ricaricare prevalentemente presso aree private, presso il proprio domicilio e/o presso il proprio luogo di lavoro.
- ii. utenza "privata" con ricarica "pubblica": utenti che acquistano un'auto elettrica e prevedono di ricaricare prevalentemente presso aree "pubbliche", presso il proprio domicilio (aree pubbliche di sosta su strada o fuori strada) e/o presso il proprio luogo di lavoro (aree pubbliche di sosta su strada o fuori strada). In questo caso è, quindi, ragionevole individuare due ulteriori sub-segimenti di utenza:
 - a. utenti che preferiscono ricaricare nelle aree di origine dei propri spostamenti
 - b. utenti che preferiscono ricaricare nelle aree di destinazione dei propri spostamenti.

B) Aziende private/pubbliche che acquistano automobili elettriche per erogare differenti tipologie di servizi:

- i. Noleggio Lungo Termine (NLT)
- ii. Noleggio Breve Termine (NBT / servizi carsharing)
- iii. Automobili aziendali.

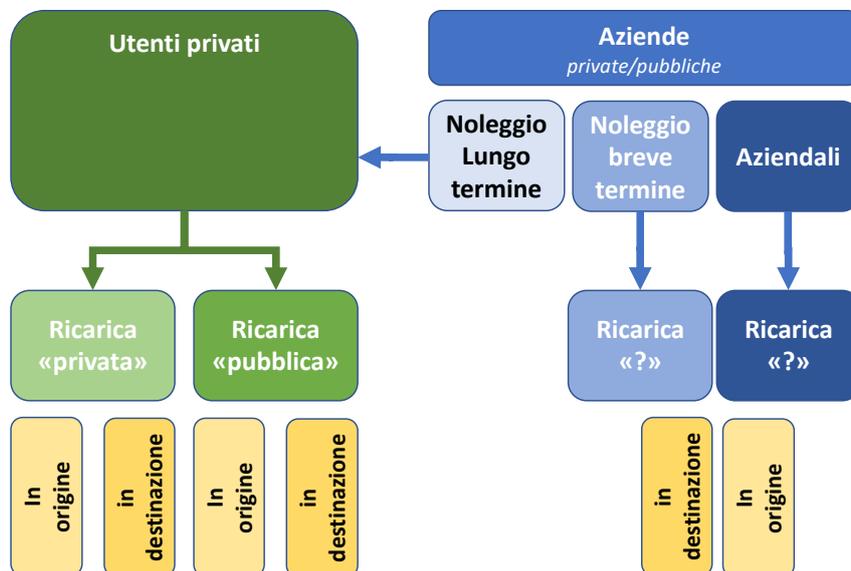


Figura 3- Cluster principali del mercato della mobilità elettrica veicolare

È evidente che le esigenze di ciascuna utenza può essere completamente differente e, a sua volta, dipende da differenti fattori di seguito sintetizzati.

Utenti privati e ricarica “privata”

È l'unico segmento di utenza che autonomamente provvede all'installazione di punti di ricarica che, presumibilmente, saranno coerenti con le esigenze specifiche. In questo caso è ragionevole immaginare che la ricarica avvenga nelle ore notturne e che, pertanto, le tecnologie per la ricarica siano coerenti con suddette esigenze, nonché con le tipologie di utenza domestica offerte.

Utenti privati e ricarica “pubblica”

È il segmento di utenza a cui è necessario garantire un adeguato numero di punti di ricarica e garantire tipologie di ricarica coerenti con le esigenze. Come già introdotto in precedenza, la ricarica può essere effettuata in origine e/o in destinazione e le esigenze di ricarica dipendono dalle seguenti caratteristiche.

1) Numero di auto in famiglia e numero di utilizzatori dell'automobile della/e auto elettrica/che.

Un'automobile solitamente è a disposizione di tutti i componenti patentati del nucleo familiare. Il numero di utilizzatori è informazione determinante per comprendere per quanti “motivi” dello spostamento l'automobile è utilizzata e, soprattutto, per quante volte al giorno/settimana è utilizzata.

2) Segmento e tipologia di automobile.

Il segmento (A, B, C, D, E) cui appartiene l'automobile determina i consumi di energia e, quindi, le esigenze di ricarica. La tipologia (HEV, PHEV, BEV) determina il tipo di ricarica e la frequenza di ricarica necessaria.

3) Il Motivo, la tipologia e la fascia oraria degli spostamenti che l'automobile compie al giorno/settimana.

Ciascuna automobile può compiere uno o più spostamenti al giorno e il motivo dello spostamento determina la reale possibilità/disponibilità di ricaricare l'automobile in destinazione (in futuro anche durante lo spostamento).

Il motivo dello spostamento influenza la durata della sosta in destinazione e, quindi, le finestre temporali utili per la ricarica della batteria. La tipologia di spostamento (home-based o trip-chain) e l'intervallo temporale in cui si realizza lo spostamento a loro volta incidono sulla propensione a ricaricare o meno un veicolo in destinazione.

È possibile distinguere le seguenti casistiche:

- motivi sistematici-vincolati (casa-lavoro destinazione fissa, casa-università) che sono tipicamente home-based e possono avere tempi di sosta in destinazione coerenti con una ricarica lenta, ma saranno necessari più punti di ricarica. Si realizzano sempre negli stessi intervalli orari e tipicamente nelle ore di punta del mattino.
- Motivi sistematici-non vincolati (casa- lavoro senza destinazione fissa) avranno durate della sosta minori e, presumibilmente, saranno caratterizzati da una tipologia di spostamento trip-chain con molteplici destinazioni. In tale contesto potrebbero essere più coerenti punti di ricarica fast-charge. È ragionevole aspettarsi una maggiore disponibilità dovuta al ridotto tempo di sosta (alta rotazione). Si realizzano sempre negli stessi intervalli orari e tipicamente nelle ore di punta del mattino.
- Motivi dello spostamento non-sistematici per motivi personali (casa-servizi, casa-cure personali, etc..) avranno durate della sosta di media durata, possono essere di tipo home-based ma anche all'interno di uno spostamento trip-chain. Si possono realizzare in qualsiasi intervallo orario.

- Motivi dello spostamento non-sistematici per motivo acquisti (casa-acquisti beni non durevoli, casa-acquisti beni durevoli. Possono avere durate della sosta sia di breve che media durata e possono realizzarsi in qualsiasi ora della giornata, oltre che in modalità home-based o trip-chain. Si possono realizzare in qualsiasi intervallo orario, eccetto quelli tipici degli spostamenti sistematici e, ovviamente, nelle ore di chiusura delle attività commerciali.
 - Motivi dello spostamento non-sistematici per motivi di svago o tempo libero, Possono avere durate della sosta di media durata e possono realizzarsi in specifici intervalli orari.
- 4) Lunghezza e andamento altimetrico dei percorsi dei singoli spostamenti.
La lunghezza dei percorsi è caratteristica fondamentale per potere comprendere le esigenze di ricarica giornaliere/settimanali. L'andamento altimetrico ha un ruolo fondamentale nel consumo energetico, sia in termini di consumi per la trazione, ma anche in termini di recupero energetico.
- 5) Condizioni e regolazione del deflusso veicolare.
È dimostrato che le condizioni di deflusso influenzano significativamente i consumi e i recuperi energetici. Il grado di congestione stradale, in particolare, ha un ruolo molto importante se si è in presenza di numerosi fenomeni di start-and-stop. Allo stesso modo la geometria della rete stradale e la regolazione delle intersezioni possono incidere significativamente sul consumo reale.

Aziende e NLT

Il mercato è sempre più ricco di formule di noleggio a lungo termine con cui privati. In questo caso è ragionevole immaginare che il comportamento possa essere assimilato a profili visti in precedenza.

Aziende e NBT e/o auto aziendali

Esiste mercato crescente di automobili elettriche acquistate da aziende che vengono utilizzate per garantire servizi di sharing elettrico. Suddetto segmento, anche per ovvi motivi di convenienza economica, utilizza soluzioni di ricarica private e, spesso, proprie fonti di energia rinnovabili. Pur tuttavia, suddetto mercato è quello che potrebbe utilizzare, a tariffe convenienti in fasce orarie predefinite, punti di ricarica non utilizzati dai segmenti di utenza citati finora.

Il presente quadro evidenzia la estrema complessità soggiacente la stima dei punti di ricarica e della tipologia dei punti di ricarica. Il numero di informazioni necessario non è banale e le stime richiedono approcci previsionali, non esistendo statistiche consolidate.

2.3 Stima dei volumi: Tasso di motorizzazione e scelte di possesso¹

La stima dei volumi di auto elettriche che circoleranno nel futuro è tema estremamente delicato perché unisce differenti fenomeni: la scelta di quanti autoveicoli possedere, la scelta di quali tipologie di alimentazione e la scelta di quale segmento di autoveicolo acquistare. La suddetta problematica è resa ancora più complessa dal fatto che l'acquisto di veicolo elettrico (EV), soprattutto se full electric (BEV) significa adottare una tecnologia innovativa, sia rispetto all'uso della tecnologia stessa, sia rispetto le abitudini di spostamento (ricarica, lunghezza spostamenti, costi di esercizio, ...).

È possibile, pertanto, individuare tre distinte problematiche: (i) *La scelta del numero di veicoli da possedere* (Figura 4); (ii) *la scelta del tipo di alimentazione* (Figura 5); (iii) *la scelta del segmento di autoveicolo da acquistare* (Figura 6) (A, ..., E).

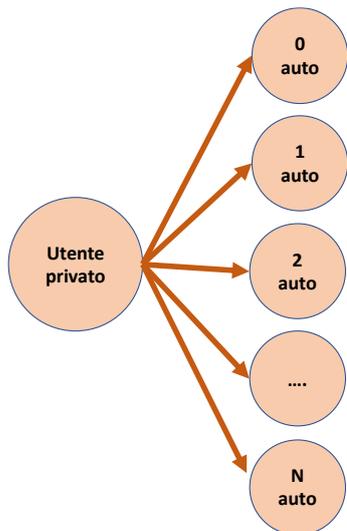


Figura 4- Scelta del numero di veicoli da possedere

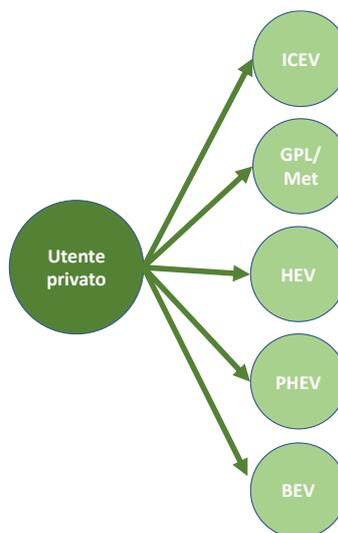


Figura 5- Scelta del tipo di alimentazione

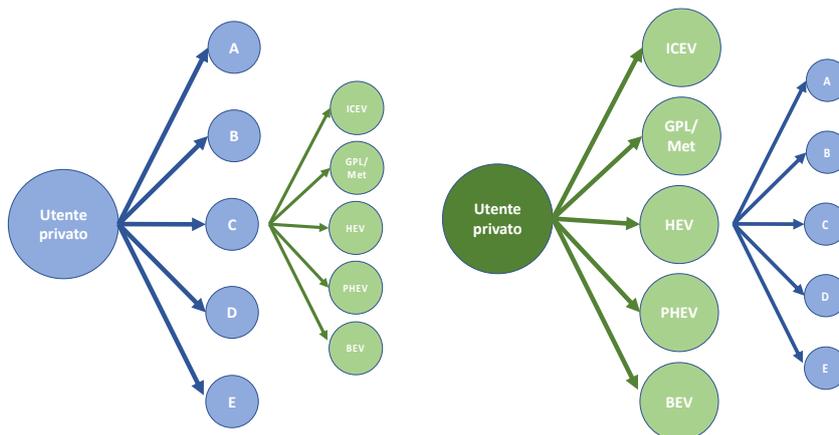


Figura 6- Scelta del segmento di autoveicoli da acquistare

¹ La scelta di possedere la patente, la scelta del numero di veicoli da possedere, la scelta del segmento di auto da acquistare, infine, la scelta del tipo di alimentazione sono scelte usualmente classificate come gerarchicamente superiori rispetto le scelte di spostamento vere e proprie. Tuttavia, in un contesto tecnologico in forte evoluzione, le scelte di spostamento (spostarsi sì o no, la destinazione, il modo) hanno iniziato ad influenzare più di prima le scelte gerarchicamente superiori. Le abitudini di spostamento influenzano la scelta di quanti veicoli possedere, la scelta del tipo di segmento e la scelta della tipologia di alimentazione.

Le suddette problematiche possono essere affrontate mediante distinti approcci.

(i) Mediante osservazione diretta del fenomeno.

Il mercato italiano, tuttavia, consente di fare analisi unicamente su segmenti e tipologie di alimentazione tradizionali. Il mercato italiano dei veicoli elettrici è, infatti, ancora poco sviluppato per analisi che abbiano una robustezza statistica.

(ii) Mediante Analogia con mercati più sviluppati

Le nazioni del Nord Europa già da tempo hanno iniziato un percorso virtuoso verso la elettrificazione della mobilità.

(iii) Mediante Indagini di tipo preferenze dichiarate (Stated Preferences - SP)

Nei mercati immaturi è possibile studiare le potenzialità di un fenomeno attraverso indagini in cui si rappresentano scenari futuri ad un campione rappresentativo del potenziale universo di utenti e si raccolgono le preferenze dichiarate.

(iv) Mediante Modellazione di comportamenti di scelta a partire da indagini di tipo preferenze dichiarate (SP)

A partire dalle indagini citate in precedenza, si specificano modelli in grado di interpretare e simulare il comportamento di scelta dell'universo di potenziali utenti. I modelli consentono di simulare scenari differenti da quelli posti al campione di utenti e, pertanto, differenti contesti tecnologici.

Di seguito si riportano alcune analisi su potenziali utenti, distinguendo potenziali acquirenti di un autoveicolo e potenziali acquirenti, già in possesso di un autoveicolo, di un veicolo elettrico o ibrido plug-in.

2.4 Ambito di applicazione del presente documento

Scopo di questo documento è quello di esaminare gli approcci per la progettazione e la stima della rete di ricarica di una città e di indagare sui metodi di stima, più o meno complessi, che permettono di determinare il numero di punti di ricarica in funzione della quota di veicoli elettrici da servire mediante l'impiego di informazioni e di dati di dettaglio.

2.5 Riferimenti: documenti correlati in ingresso

- [1] C.Fiori, V. Arcidiacono, G. Fontaras, M. Makridis, K. Mattas, V. Marzano, C. Thiel, B. Ciuffo, "The effect of electrified mobility on the relationship between traffic conditions and energy consumption". Transportation Research Part D: Transport and Environment, Volume 67, 2019, Pages 275-290, ISSN 1361-9209, doi: 10.1016/j.trd.2018.11.018.
- [2] Decreto legislativo 76/2020.
<https://www.gazzettaufficiale.it/eli/gu/2020/07/16/178/so/24/sq/pdf>
- [3] F. M. Bass, T.V. Krishnan, D. C. Jain. "Why the Bass Model Fits without Decision Variables". Marketing Science 1994 13:3, pp 203-223, doi: 10.1287/mksc.13.3.203.
- [4] J. Massiani, A. Gohs, "The choice of Bass model coefficients to forecast diffusion for innovative products: An empirical investigation for new automotive technologies". Research in Transportation Economics, Volume 50, 2015, pp 17-28, ISSN 0739-8859, doi: 10.1016/j.retrec.2015.06.003.
- [5] Pae, J.H., Lehmann, D.R., "Multigeneration innovation diffusion: The impact of intergeneration time". J. of the Acad. Mark. Sci. 31, 36 (2003). doi: 10.1177/0092070302238601.
- [6] Piano Capitolino della Mobilità Elettrica (2017-2020).
https://www.comune.roma.it/web-resources/cms/documents/PIANO_MOB_ELETTRICA.pdf
- [7] PNIRE (2015). <https://www.governo.it/sites/governo.it/files/PNire.pdf>

3 Inquadramento metodologico

La pianificazione della mobilità elettrica di una città, ed in particolare la predisposizione del *Piano della Mobilità Elettrica*, ha come obiettivo quello di stimare l'entità ed allocare efficientemente i sistemi di ricarica per i veicoli elettrici sul territorio, al fine di raggiungere gli obiettivi dell'Unione Europea e i target imposti dalla normativa nazionale. La progettazione dell'infrastrutture di ricarica di una città, però, deve considerare diversi fattori: da un lato esiste un mercato indubbiamente in fase di espansione, specie per quanto riguarda la capacità di produzione di veicoli elettrici; dall'altro una domanda potenziale ma non ancora matura né perfettamente consapevole dei vantaggi e dei rischi. Per altro verso, se appaiono ormai chiari e condivisi gli obiettivi di tutela ambientale da perseguire, dall'altro si tratta di fronteggiare limiti tecnologici e costi di acquisto non certo trascurabili.

Tali aspetti evidenziano come la stima del numero e la tipologia dei punti di ricarica, nasconda numerose insidie metodologiche. La caratterizzazione spaziale dell'area considerata rappresenta lo step fondamentale da cui partire e viene condotta effettuando una zonizzazione trasportistica dell'area di studio, distinguendo tra zone relative alla mobilità di scambio, alla mobilità di attraversamento e alla mobilità interna.

In riferimento a questa tripartizione è necessario poi, definire il tipo di posizionamento delle stazioni di ricarica mediante una classificazione delle infrastrutture che costituiscono i possibili siti di ricarica: aree di sosta periferiche pubbliche, aree di rifornimento, e, in riferimento alla modalità interna, infrastrutture lineari pubbliche e aree di sosta pubbliche e private.

La progettazione delle infrastrutture di ricarica non può prescindere da una attendibile previsione della diffusione dei veicoli elettrici, in quanto per determinare un adeguato numero di "punti" di ricarica è ovviamente necessario prevedere il numero di veicoli elettrici da servire. Ciò può essere fatto avvalendosi, tra l'altro, della stima previsionale riferita al tasso di motorizzazione e alla composizione del parco veicolare.

Naturalmente, un ulteriore elemento fondamentale per la pianificazione della mobilità elettrica, riguarda le esigenze di ricarica che le infrastrutture di ricarica dovranno soddisfare, la cui stima può essere condotta valutando i consumi giornalieri/settimanali sulla base di analisi relative, tra l'altro, alle distanze, alle velocità e alla frequenza di spostamento. È questo un aspetto di complicata applicazione, anche in ragione della disponibilità di dati necessari, per cui potrebbe essere conveniente valutare l'utilizzabilità di metodi semplificati che consentano, mediante l'utilizzo di un approccio aggregato, di stimare per via diretta il numero di punti di ricarica.

Una volta definito il numero totale di stazioni di ricarica da distribuire sul territorio, è necessario specificarne la tipologia che dipende, tra l'altro, dalla ripartizione dei veicoli elettrici per segmento auto, in quanto ogni tipologia di veicolo elettrico è caratterizzato da una certa capacità della batteria, e dalla durata media della sosta, in quanto è necessario un certo intervallo di tempo per ricaricare a seconda del tipo di colonnina considerata.

Quanto appena descritto mostra la complessità legata alla pianificazione della mobilità elettrica di una città, ovvero alla stima del numero e della tipologia dei punti di ricarica. Si esaminano quindi, gli approcci e i principali metodi per la progettazione e la stima della rete di ricarica di una città, che permettono di determinare il numero di punti di ricarica in funzione della quota di veicoli elettrici da servire, in riferimento alla mobilità interna, mediante l'impiego di informazioni e di dati di dettaglio.

3.1 Metodo aggregato per la stima di punti di ricarica sul territorio

La diffusione di veicoli elettrici è evidentemente legata dunque alla diffusione di infrastrutture di ricarica che siano anche in grado di incentivare gli utenti all'acquisto di questa tipologia di veicoli. Nel caso delle grandi città l'implementazione di reti di ricarica richiede, naturalmente, grandi investimenti per le infrastrutture, che a loro volta giustificano spese di progettazione rilevanti e quindi l'adozione di metodologie complesse di tipo iterativo. Lo stesso non si può dire tuttavia per le città medio piccole, come è il caso ad esempio di Salerno, per le quali si richiede la progettazione di reti urbane di ricarica elettrica di relativamente piccole dimensioni e conseguentemente l'adozione di metodologie di ottimizzazione meno complesse e dispendiose.

Il metodo aggregato che si propone in questo lavoro è una procedura di stima semplificata, di rapida applicabilità, basata sulla zonizzazione dell'area di studio considerata, che consente di stimare il numero di punti di ricarica da allocare sul territorio sulla base delle caratteristiche di macrozona definite per l'area stessa.

La metodologia sarà adattata in base ai dati e alle informazioni preventivamente raccolti nelle diverse fasi dell'attività di ricerca, di seguito indicate:

1. Inquadramento territoriale e trasportistico della città oggetto di studio. Questa fase prevede l'individuazione dell'area di studio e il relativo inquadramento sociale, economico e produttivo. Si tratterà inoltre di individuare l'offerta di sosta su strada e fuori strada, in quanto, come si vedrà in seguito, le aree di sosta costituiscono anche possibili stalli di ricarica. Una volta individuata, l'area di studio sarà suddivisa in zone di traffico (ZdT) mediante un processo di zonizzazione, le singole zone verranno poi aggregate in macrozone e per ciascuna di esse, mediante il metodo aggregato, verrà stimato un numero ottimale di punti di ricarica.
2. Raccolta e analisi dei dati disponibili. I dati necessari all'inquadramento sociale economico-produttivo e trasportistico riguarderanno: dati socioeconomici relativi alla popolazione residente e al numero di addetti, matrici origine-destinazione dei flussi di traffico, parco veicolare e tasso di motorizzazione.
3. Stima della potenziale domanda di "mobilità elettrica" mediante implementazione di approcci di stima aggregata, attraverso la costruzione di scenari operativi e stima del potenziale numero di auto elettriche per macrozona e per scenario operativo.
4. Stima della potenziale offerta di ricarica, ovvero dei punti di ricarica necessari sul territorio, per soddisfare le esigenze di mobilità interna.

Al fine di poter raccogliere e analizzare i dati necessari all'applicazioni del metodo aggregato, è necessario utilizzare un modello di macro-simulazione trasportistico; tale modello verrà approfondito nel Capitolo 4 in riferimento al caso studio analizzato.

3.1.1 Lo stato dell'arte di riferimento

La preventiva conoscenza degli obiettivi, delle strategie e delle politiche europee e nazionali a favore della mobilità elettrica è di fondamentale importanza per la specificazione dell'approccio metodologico da implementare. Motivo per cui il metodo aggregato è stato costruito sulla base delle vigenti normative nazionali, e facendo riferimento ai *Piani della Mobilità Elettrica* già esistenti in Italia. In particolar modo si è fatto riferimento a:

- Piano Nazionale Infrastrutturale per la Ricarica dei veicoli alimentati ad energia Elettrica (PNIRE 2015);
- Decreto legislativo 76/2020;
- Piano Capitolino della Mobilità Elettrica di Roma.

PNIRE 2015

Nel (PNIRE 2015), sono individuate le seguenti classi di infrastrutture di ricarica sulla base della capacità di erogazione di energia della rete:

- ricarica lenta (Slow charging) – fino a 7 kWh;
- ricarica accelerata (Quick charging) tra 7-22 kWh;
- ricarica veloce (fast charging) con potenza superiore ai 22 kWh, nello specifico AC fino a 43 kWh e DC 44-50kWh.

Le potenziali aree di ricarica dove allocare le infrastrutture di ricarica vengono suddivise nelle seguenti macrocategorie:

- pubblico (accessibile da tutti);
- privato accessibile al pubblico (accessibili da tutti, ad esempio h24 o in determinate ore e/o giorni);
- privato (accessibile solo a privati);

Si evidenzia inoltre l'importanza di dotare di infrastrutture di ricarica la Grande Distribuzione Organizzata (GDO), i Centri Commerciali e i Cinema al fine di favorire il rispetto delle tempistiche e lo stile di vita degli utenti, senza stravolgere le abitudini del conducente medio.

Ciò vale anche per le attuali stazioni di rifornimento, che sono già percepite come punti di riferimento e con caratteristiche peculiari, tra le quali la localizzazione in funzione della domanda reale, la video-sorveglianza, la connessione alla rete elettrica, le dotazioni di spazi di parcheggio e la mappatura nei sistemi di navigazione. Strategica anche la predisposizione all'allaccio di infrastrutture elettriche per la ricarica dei veicoli per le autorimesse ed i parcheggi multipiano. Per tutte le autorimesse, parcheggi privati e parcheggi pubblici in generale si auspica la predisposizione di un numero adeguato (e coerente con la dimensione del parcheggio), di stalli da allestire con sistemi di ricarica.

L'infrastrutturazione delle aree urbane e metropolitane deve prevedere un congruo rapporto tra le infrastrutture residenziali e quelle accessibili al pubblico. Al fine di minimizzare l'impatto sull'utilizzo del suolo pubblico ogni infrastruttura di ricarica, fatte salve le capacità della rete elettrica presente, dovrà permettere la ricarica simultanea di almeno due veicoli. Tale disposizione è da intendersi in tutte quelle aree caratterizzate da disponibilità di almeno due stalli adiacenti.

Il PNIRE 2015 individua, inoltre, alcuni scenari di sviluppo della rete di ricarica:

- **Scenario 1 – Sosta prolungata.** Queste aree corrispondono in genere ai parcheggi occupati dai veicoli durante la notte o durante il giorno per sosta prolungata: parcheggi presso il luogo di lavoro, parcheggi singoli in garage, parcheggi condominiali o per flotte aziendali, parcheggi lungo il marciapiede o in strutture pubbliche- I sistemi di ricarica da allocare in queste aree, devono offrire un servizio di ricarica a bassa potenza (ricarica "lenta" da circa 3 kW fino a circa 7 kW in corrente alternata) per un periodo di tempo prolungato (tipicamente 2-10 ore), e devono poter ricaricare più veicoli elettrici allo stesso tempo. Questi sistemi di ricarica possono soddisfare le cosiddette esigenze di ricarica "primarie" dell'utente, "coprendo" mediamente la percorrenza giornaliera del veicolo durante il giorno, salvo eccezioni ed esigenze di utilizzo più intense che possono essere servite dai sistemi di ricarica accelerata e veloce di cui ai successivi Scenario 2 e Scenario 3. La ricarica potrà essere fornita con sistemi multi-presa a cui collegare più veicoli contemporaneamente, oppure con più sistemi indipendenti, ciascuno dotato di una o più prese fisse di ricarica alle quali gli utilizzatori si connettono con cavo proprio,



indipendentemente dal connettore di cui dispone il veicolo per la ricarica a bassa potenza:

- prese di tipo 2 per i punti di ricarica destinati alle autovetture, furgoni e autocarri (cioè i veicoli non leggeri);
- prese di tipo 3A per i punti di ricarica destinati ai veicoli leggeri (scooter, quadricicli e simili).

Ai fini del conteggio del numero di punti di ricarica da installare in considerazione dei veicoli elettrici circolanti, si può realisticamente stimare che, nel caso delle autovetture, ogni punto possa servire 1-2 veicoli al giorno. Si tratta di una modalità di ricarica orientata prevalentemente alla ricarica privata o privata accessibile al pubblico e, almeno in prospettiva, non particolarmente adatta alla ricarica pubblica che dovrebbe prevedere potenze di ricarica non inferiori ai 7 kW circa e, in prospettiva di medio termine (3-5 anni), non inferiori ai 20-22 kW.

- **Scenario 2 – Sosta breve.** È lo scenario tipico dei nodi di trasporto o delle aree commerciali (cinema, ristoranti, centri commerciali etc.), dove la durata della sosta è breve (tipicamente 30 minuti - 2 ore). Questo tipo di ricarica, di tipo discontinuo, è idonea anche nei parcheggi aziendali ove, al fianco dei sistemi dotati di ricarica “lenta” (Scenario 1), si può offrire una ricarica completa nel tempo tipico di una breve riunione o della pausa pranzo. Purché la durata del parcheggio consenta un sufficiente recupero di autonomia, questo tipo di ricarica può soddisfare le cosiddette esigenze di ricarica “secondarie”: chilometraggio supplementare del veicolo durante il giorno, maggiore flessibilità per l'utente. I sistemi di ricarica scelti offrono quindi principalmente un servizio di ricarica a media potenza (ricarica “accelerata”: oltre 7 kW e sino a 22 kW, a seconda delle caratteristiche del veicolo). Ai fini del conteggio del numero di punti di ricarica da installare in considerazione dei veicoli elettrici circolanti, si può realisticamente stimare che ogni punto possa servire 2-6 veicoli al giorno.
- **Scenario 3 – Fermata per ricarica.** Si tratta di sistemi di ricarica rapida (43 kW CA – superiore a 22kW, 44-50 kW CC) per soddisfare le esigenze di chilometraggio supplementare non previsto e di talune flotte di veicoli che richiedono necessariamente un ripristino della ricarica in tempi molto rapidi (ad esempio i taxi e i veicoli commerciali per uso urbano). L'offerta di questo tipo di ricarica fornisce rassicurazione al conducente del veicolo elettrico e garantisce flessibilità in caso di esigenze non previste dell'utente. Anche in tale scenario la soluzione potrà essere fornita con sistemi multi-presa a cui collegare più veicoli contemporaneamente, oppure con più sistemi indipendenti, ciascuno dotato di uno o più connettori di ricarica. Stante la attuale diversità di veicoli elettrici con tecnologie di ricarica (corrente alternata o continua) e connettori diversi tra loro, per poter essere in grado di ricaricare il maggior numero di veicoli, sarà opportuno prevedere punti di ricarica a potenza 43-50 kW con i seguenti diversi tre tipi di connettori:
 - connettori mobili di tipo 2 per la ricarica rapida in modo 3 (CA) a 43 kW;
 - connettori mobili per ricarica rapida in modo 4 (CC) sistema Combined Charging System (Combo2);
 - connettori mobili per ricarica rapida in modo 4 (CC) sistema CHAdeMO.Ai fini del conteggio del numero di punti di ricarica da installare in considerazione dei veicoli elettrici circolanti, si può realisticamente stimare che ogni punto possa servire fino a 24 veicoli al giorno.

L'analisi per la definizione dei target nazionali parte dai seguenti assunti fondamentali:



- che i target rispettino le raccomandazioni e le direttive elaborate in sede comunitaria (ed OCSE), sia rispetto alla promozione della mobilità sostenibile (segnatamente il richiamo è al concetto di neutralità tecnologica, contenuto in diverse comunicazioni, a partire da CARS2020), sia rispetto alla diffusione delle infrastrutture di ricarica e rifornimento;
- che i target siano ancorati ai dati sulla effettiva diffusione di veicoli elettrici;
- che i target tengano in considerazione che l'assenza di un'infrastruttura per i combustibili alternativi e di specifiche tecniche comuni per l'interfaccia veicolo-infrastruttura è considerata a livello comunitario un ostacolo notevole alla diffusione sul mercato;
- che i target, oltreché in termini assoluti, siano riferiti anche ad un criterio di omogeneità nella distribuzione geografica delle infrastrutture.

Per quanto riguarda la diffusione dei veicoli elettrici è necessario applicare metodi di stima in merito ai trend di crescita degli stessi tenendo conto di almeno quattro aspetti:

1. il mercato di veicoli elettrici;
2. il trend di crescita delle immatricolazioni di veicoli elettrici;
3. il parco circolante italiano di veicoli elettrici;
4. i diversi scenari di diffusione dei veicoli elettrici, in considerazione sia degli effetti derivanti da una maggiore diffusione delle infrastrutture di ricarica, sia da miglioramenti tecnologici (e di prezzo dei veicoli).

Considerando quindi, in prima istanza, un rapporto di 1:10 tra punti di ricarica e numero di veicoli, il PNIRE aveva fissato come Target nazionale per il 2020 per la ricarica pubblica delle autovetture, 4.500-13.000 punti di ricarica lenta/accelerata più 2.000-6.000 stazioni di ricarica veloce

Considerando che la popolazione italiana al 2020 era di 59.55 mln, il piano suggerisce dunque 1 stazione di ricarica elettrica ogni 3.000 abitanti. Tale rapporto suggerisce di fatto un criterio di distribuzione di punti di ricarica sul territorio, come vedremo successivamente.

Il PNIRE prescrive inoltre, che *“Le infrastrutture di ricarica dovranno garantire che almeno una presa garantisca l'erogazione di una potenza di 22 kW ovvero che l'unica presa garantisca l'erogazione di una potenza di 22 kW. Una infrastruttura con due prese che permette la ricarica di un solo veicolo per volta è da conteggiare come un punto di ricarica. È da conteggiare come un punto di ricarica anche una infrastruttura che permette la ricarica di due veicoli simultaneamente ma solo una delle due prese con potenza di 22 kW.”*

Per **stazioni di ricarica veloce** si devono intendere siti dotati di sistemi di ricarica “fast multistandard” di potenza maggiore di 40 kW e in grado di garantire la assoluta interoperabilità con tutti i veicoli elettrici ed ibridi plug in. Per stazione di ricarica stradale o autostradale si intende un sito di rifornimento per carburanti tradizionali a cui si aggiungono almeno 2 (due) sistemi di ricarica di potenza maggiore a 40 kW “fast multistandard” o sistemi di ricarica mono standard raddoppiati per ogni standard e non accoppiati (ciò al fine di assicurare la disponibilità del servizio in caso di manutenzione o avaria del singolo sistema di ricarica), assicurando la ridondanza n-1 per ciascuna tipologia di standard di ricarica.

Per **poli attrattori di traffico** si devono intendere centri commerciali, supermercati, grandi operatori di vendita, cinema multisala, parchi divertimento, mete turistiche e culturali, zone fieristiche, caratterizzati da elevate punte di traffico dimostrabili sulla base di una analisi della matrice origine-destinazione degli spostamenti.

I **punti di ricarica lenta** sono da considerarsi principalmente per ambiti privati e per alcuni parcheggi di interscambio.



Per quanto riguarda i **punti di ricarica accelerata**, sono da considerarsi prioritariamente adatti per le installazioni in aree pubbliche (aree urbane, stazioni ferroviarie o di autobus, porti, aeroporti, parcheggi di interscambio) e a quelli in aree private ad accesso pubblico (autorimesse, parcheggi pubblici in gestione privata, oppure parcheggi aziendali).

Per quanto riguarda la distribuzione territoriale, andrà tenuto conto dei seguenti criteri:

a. nei parcheggi pubblici e presso i poli attrattori di traffico:

- non più di 1 punto di ricarica lenta/accelerata per ogni struttura con parcheggi fino a 20 posti auto;
- non più di 1 stazione di ricarica veloce e 2 punti di ricarica lenta/accelerata per ogni struttura con parcheggi tra 20 e 100 posti auto;
- non più di 1 stazione di ricarica veloce e 5 punti di ricarica lenta/accelerata per ogni struttura con parcheggi con più di 100 posti auto;
- non più di 1 stazione di ricarica veloce e 5 punti di ricarica lenta/accelerata ogni 500 posti auto, per le aree con più di 500 posti auto.

b. Stazioni di ricarica veloce presso stazioni di rifornimento stradale (e autostradale):

- distanza massima tra due stazioni di ricarica lungo lo stesso asse viario: 50 km (autostradale);
- distanza minima tra due stazioni di ricarica lungo lo stesso asse viario: 20 km;
- non più di 1 stazione di ricarica veloce ogni due stazioni di rifornimento stradale lungo lo stesso asse viario;

c. per quanto riguarda la distribuzione dei target a livello territoriale andrà presa come unità territoriale di riferimento il comune (o la circoscrizione comunale nei comuni dove istituita), identificando il numero di punti di ricarica lenta/accelerata secondo i seguenti criteri:

- numero di abitanti;
- veicoli elettrici circolanti;
- auto per abitante;
- posti auto privati / posti auto totali.

Nello sviluppo della rete di ricarica nazionale dovrà essere perseguita la configurazione che prevede un rapporto tra punti di ricarica lenta/accelerata e veloce multistandard compreso tra 2:1 e 4:1.

Tale rapporto dovrà essere garantito in ambito regionale, o almeno all'interno delle aree metropolitane e non è da considerare per quanto concerne i siti autostradali. In ogni caso, il numero di punti di ricarica accessibili al pubblico dovranno rispettare un piano coerente con le esigenze ed i vincoli urbanistici e modulato monitorando sia la diffusione di autoveicoli elettrici derivante dal progresso tecnologico e dai nuovi modelli proposti dalle case automobilistiche, sia l'evoluzione dei comportamenti degli utenti rispetto all'utilizzo di mezzi pubblici collettivi o individuali.

Decreto legislativo 76/2020

Il Decreto legislativo 76/2020, impone di garantire un numero adeguato di stalli di ricarica in funzione della domanda e del progressivo rinnovo del parco dei veicoli circolanti, prevedendo quindi, dove possibile, l'installazione di almeno un punto di ricarica ogni 1'000 abitanti. Tale indicazione, a differenza di quelle del PNIRE, permette di definire criterio di distribuzione più stringente (una ricarica ogni 1'000 abitanti contro una ogni 3'000 prevista nel PNIRE).



3.1.2 Approcci di stima aggregata

I riferimenti normativi e di pianificazione richiamati nel precedente paragrafo forniscono indicazioni fondamentali per la costruzione e l'applicazione del metodo aggregato e per la stima e l'allocazione delle colonnine di ricarica sul territorio. Il metodo aggregato, come si è detto, si adatta ai dati di input e alle informazioni disponibili e non può prescindere dall'interazione tra l'offerta di ricarica e la potenziale domanda di mobilità elettrica. Per tale motivo l'implementazione della metodologia fa riferimento a due macro-approcci di stima aggregata:

- **supply driven approach:** un approccio guidato dall'offerta, basato sull'individuazione delle infrastrutture disponibili sul territorio per l'allocazione delle stazioni di ricarica, ovvero, delle possibili aree di sosta su strada e fuori strada e delle stazioni di rifornimento, che, in accordo con il PNIRE 2015, costituiscono possibili stalli di ricarica;
- **demand driven approach:** un approccio guidato dalla domanda, che consente di ottenere una distribuzione di colonnine sul territorio in funzione dei dati socioeconomici (popolazione e addetti) nonché in funzione delle matrici di domanda e del potenziale numero di veicoli elettrici circolanti.

3.1.2.1 Stima aggregata su posti auto

Come precedentemente esposto il PNIRE 2015, sebbene sia un riferimento normativo ormai datato, fornisce indicazioni ben precise per l'allocazione delle colonnine di ricarica in una città. In particolar modo fornisce limitazioni in funzione dei posti auto disponibili e in funzione del rapporto tra stazioni Quick e Fast, sintetizzati nella seguente in Figura 7:



Figura 7- Limiti PNIRE 2015 per posti auto

La stima aggregata su posti auto, adottando un *supply driven approach*, mira ad individuare le aree di sosta su strada e fuori strada, ovvero le infrastrutture disponibili sul territorio per l'allocazione delle stazioni di ricarica. Per l'applicazione del metodo aggregato è necessario quindi, individuare i parcheggi disponibili sul territorio urbano e associarli a ciascuna macrozona in cui è stata suddivisa l'area di studio considerata. A seguito di tale operazione sarà quindi noto, per ciascuna macrozona, il numero totale di aree di sosta, che costituiscono i possibili stalli di ricarica. Applicando poi le prescrizioni del PNIRE 2015 (Figura 7) a ciascuna macrozona individuata sul territorio, è possibile determinare il numero massimo di punti di ricarica in funzione dei posti auto per ciascuna macrozona, e di conseguenza il numero massimo di punti di ricarica da distribuire sul territorio nel rispetto del rapporto tra stazioni Quick e Fast.

3.1.2.2 Stima aggregata su variabili socioeconomiche

Il secondo approccio di stima aggregata è demand driven, guidato quindi dalla domanda, e prevede la stima dei punti di ricarica e la loro allocazione in funzione delle caratteristiche socioeconomiche di ciascuna macrozona, in particolar modo, in funzione della popolazione residente. La metodologia di stima adottata fa riferimento a due indicazioni normative: (i) l'indicazione del PNIRE 2015 che prevedeva per il 2020 di implementare 1 stazione di ricarica ogni 3000 abitanti, (ii) l'indicazione del Decreto legislativo 76/2020, che prevedeva l'installazione di almeno un punto di ricarica ogni 1.000 abitanti. In base a queste indicazioni si applica un approccio aggregato che prevede di stimare e di allocare un numero adeguato di punti di ricarica in funzione della popolazione residente per ciascuna macrozona.

Un'ulteriore indicazione normativa di interesse è la prescrizione secondo la quale ogni stazione di ricarica sia in grado di ricaricare due veicoli simultaneamente e che quindi sia costituita da due prese di ricarica.

Sulla base di questa considerazione è stato possibile costruire le varie fasi che caratterizzano la procedura di tipo euristico per la distribuzione delle colonnine di ricarica sul territorio:

1. Definizione dell'area di studio;
2. Zonizzazione dell'area di studio sulla base di criteri di omogeneità fisica, trasportistica, territoriale e topologica e sulla base dei dati socioeconomici che riguardano la popolazione residente e gli addetti, dati che fanno riferimento al censimento ISTAT e conseguente macrozonizzazione;
3. Individuazione sul territorio delle potenziali aree di ricarica, ovvero parcheggi e stazioni di rifornimento;
4. Stima del bacino di utenza delle potenziali aree di ricarica sommando i dati relativi a popolazione addetti ed estensione delle zone che costituiscono ciascuna macrozona;
5. Stima del numero di stazioni di ricarica da allocare per ciascuna macrozona secondo due diversi scenari: il criterio del PNIRE 2015 e del DL 76/2020 sul numero di stazioni per abitante;
6. Allocazione delle stazioni di ricarica per ciascuna macrozona in funzione del numero di posti auto tenendo conto che i parcheggi considerati devono essere baricentrici rispetto alla macrozona per evitare di sovrastimare gli spostamenti intrazonali e che abbiano un raggio di utilizzo di 500 m;
7. Verifica di idoneità per ciascuna macrozona: verificare che il numero di stazioni inserite in ogni parcheggio rientri nei criteri del PNIRE, in rapporto al numero di aree di sosta e verifica del rapporto 2:1 tra stazioni Quick (22kW) e Fast (43-55kW). Tali verifiche devono essere soddisfatte per soddisfare la stabilità della rete elettrica. Laddove una macrozona non rispetti la verifica di idoneità i punti di ricarica verranno distribuiti nei parcheggi limitrofi.
8. Se tali condizioni non possono essere rispettate è necessario modificare la zonizzazione.

In Figura 8 si riporta uno schema che sintetizza la procedura euristica appena descritta:

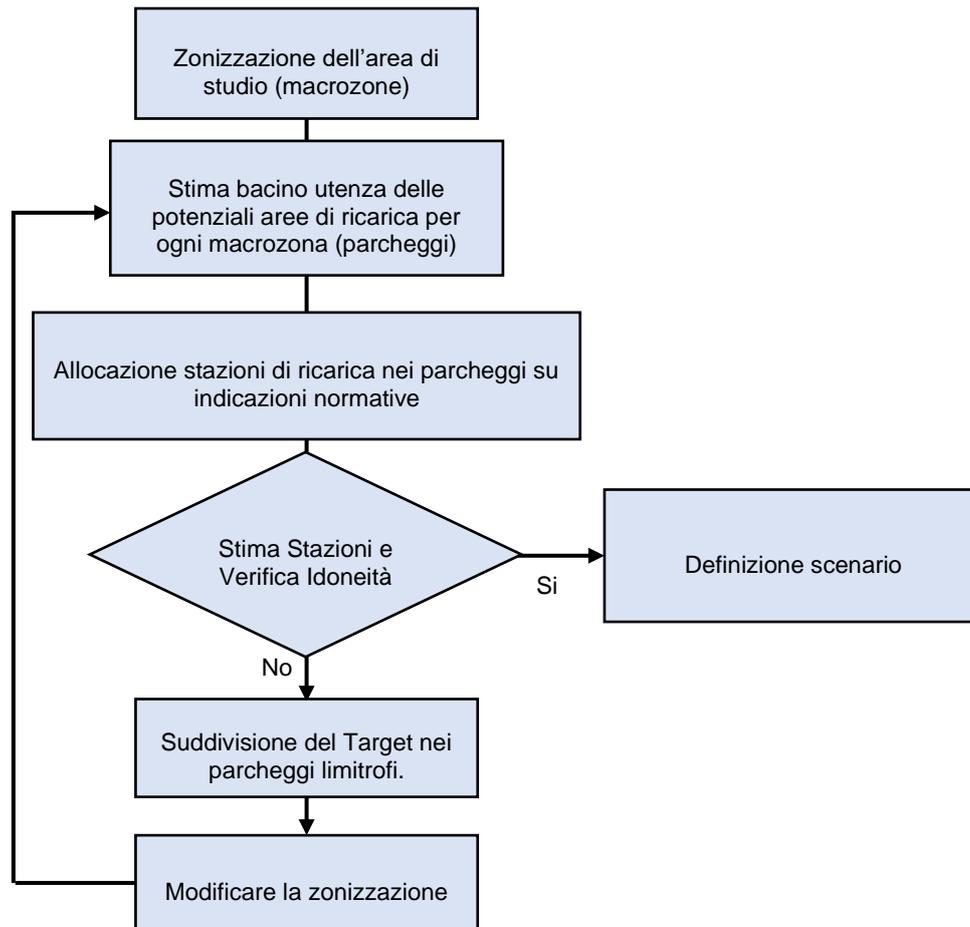


Figura 8- Procedura euristica del metodo aggregato

3.1.2.3 Stima aggregata su parco circolante e su domanda auto: market penetration

L'allocazione delle colonnine di ricarica non può prescindere dalla penetrazione di veicoli elettrici nel mercato italiano in quanto il numero di colonnine di ricarica da allocare sul territorio dipende chiaramente dal numero di veicoli elettrici circolanti e dal soddisfacimento del loro fabbisogno di ricarica. A tale fine è possibile applicare un ulteriore approccio di stima aggregata ipotizzando degli scenari di *market penetration* che permettono di formulare una previsione sul numero di veicoli elettrici da servire al 2030. Come indicato di PNIRE 2015 si può considerare in prima istanza "un fattore di 1:10 tra punti di ricarica e veicoli"; tale fattore porta a soddisfare il fabbisogno di ricarica di un numero di veicoli elettrici pari al 10% dei veicoli circolanti e consente, quindi, di ipotizzare uno scenario di *market penetration* di veicoli elettrici pari al 10% del totale circolante delle autovetture. Tale indicazione è stata utilizzata anche nella redazione del *Piano Capitolino della Mobilità Elettrica* di Roma, tenendo sempre conto che per ogni colonnina si prevede di poter alimentare due veicoli in contemporanea. Tale fattore può essere poi modificato adattandolo all'andamento del mercato di veicoli elettrici relativo all'area di studio considerata.

Un ulteriore strumento per poter ipotizzare diversi scenari di market penetration è quello di considerare la domanda di mobilità auto attraverso la stima delle matrici origine-destinazione che caratterizzano l'area di studio, in riferimento alle fasce orarie di punta di una giornata tipo lavorativa. Le matrici restituiscono il numero di spostamenti effettuati a partire da ogni zona di origine verso ogni zona di destinazione in cui è stata suddivisa l'area di studio, ovvero il totale degli spostamenti effettuati all'interno dell'area di pianificazione. Anche in questo caso è possibile considerare una percentuale della domanda di mobilità totale, definendo così uno scenario di market penetration al 2030, ovvero ipotizzando che il numero di punti di ricarica da allocare sul territorio deve soddisfare il fabbisogno di ricarica di un certo numero di veicoli elettrici calcolato in funzione dell'effettiva domanda di mobilità. Una volta definiti gli scenari di elettrificazione, che come già anticipato dipendono dall'andamento del mercato di veicoli elettrici, il metodo aggregato prevede una distribuzione dei punti di ricarica sulla base delle caratteristiche di macrozona definite per l'area di studio. In tale approccio si è fatto riferimenti al Piano Capitolino della Mobilità Elettrica di Roma che prevede di assegnare a ciascuna macrozona, il fabbisogno di ricarica calcolato in proporzione diretta al numero di addetti, considerando che le esigenze di ricarica sono correlate agli indici territoriali di attrazione di mobilità. A tale fine viene applicata la seguente proporzione:

$$\frac{\text{Addetti}_{\text{macrozona}} * \text{Tot_colonnine}}{\text{Tot_addetti}}$$

In tal modo sarà possibile stimare il numero di stazioni di ricarica, e di conseguenza di stalli di ricarica, per ciascuna macrozona.

Come introdotto in precedenza, il PNIRE 2015 definisce le aree di sosta come possibili stalli di ricarica per cui anche in tale approccio, una volta definito il numero di stalli di ricarica è necessario effettuare una verifica di consistenza sui posti auto disponibili sul territorio, in modo da verificare la fattibilità dello scenario definito. Tale verifica consiste nell'andare a stimare il numero di posti auto da adibire a stalli di ricarica, rispetto al totale dei posti auto disponibili individuati sul territorio riferito all'area di pianificazione. Di seguito si riportano le principali fasi su cui si basa l'approccio di stima aggregata introdotto:

1. Definizione degli scenari di market penetration al 2030 sulla base del parco circolante totale e della domanda di mobilità auto;
2. Stima del numero di veicoli elettrici da servire che corrisponde al numero di stalli di ricarica, ovvero di prese di ricarica da allocare sul territorio;
3. Distribuzione dei punti di ricarica stimati sulla base dell'attrattività di ciascuna macrozona, ovvero sulla base del numero di addetti;
4. Verifica di consistenza sui posti auto disponibili sul territorio sulla base del numero di stalli di ricarica, per ciascuna macrozona;
5. Definizione di un nuovo scenario di market penetration qual ora la verifica di consistenza non dovesse essere soddisfatta.

3.1.2.4 Stima sui flussi attratti dalle aree di sosta

Come ampiamente descritto nel PNIRE, le aree di sosta costituiscono gli spazi più adatti dove allocare i punti di ricarica; è pertanto estremamente importante condurre un'analisi diretta sui parcheggi disponibili sul territorio definito dall'area di studio. Questo tipo di analisi rientra negli approcci di stima semplificata e consiste nella stima del numero di punti di ricarica necessari, in funzione del flusso attratto, ovvero in funzione del numero di transiti per ciascuna delle aree di sosta individuate. Per poter applicare questo metodo di stima è necessaria la disposizione di una serie di dati, relativi al numero di transiti in riferimento ad un certo orizzonte temporale, ad esempio un anno. L'obiettivo è quello di stimare il numero di punti di ricarica in grado di soddisfare il fabbisogno di ricarica dei veicoli elettrici in transito, con riferimento alla durata media della sosta.

Per un generico parcheggio considerato è quindi necessario calcolare la media mensile dei transiti rilevati e risalire alla media giornaliera, dividendo per il numero di giorni feriali in un mese (24 giorni). Il passaggio successivo consiste nel determinare il numero medio di transiti all'ora, dividendo il valore medio dei transiti giornalieri per il numero di ore in cui effettivamente l'area di sosta viene utilizzata; di norma questo intervallo temporale corrisponde alle 12 ore che vanno dalle 8:00 alle 20:00. Moltiplicando il valore medio orario dei flussi in transito per la durata media della sosta, si determina il numero di veicoli che si alternano in rotazione nella sosta. Facendo poi riferimento agli scenari operativi di *market penetration* precedentemente descritti è possibile ipotizzare il numero di veicoli elettrici in transito in rapporto al numero totale di veicoli. A questo numero corrisponderà il numero di stalli di ricarica, e quindi di prese di ricarica da garantire in ciascuna area di sosta. Si ritiene valida, anche in tale approccio, l'assunzione per la quale ogni colonnina dovrà essere predisposta per servire 2 veicoli simultaneamente; pertanto, dividendo per 2 il numero di prese di ricarica ottenuto si risale il numero adeguato di colonnine di ricarica, per soddisfare il fabbisogno di ciascun veicolo elettrico in transito.

Questo metodo di stima semplificata può essere anche applicato considerando i posti auto di ciascun parcheggio, nell'ipotesi, introdotta a vantaggio di sicurezza, che tutti i posti disponibili siano effettivamente occupati. Il procedimento applicato in questo caso è del tutto analogo a quanto appena descritto, con la differenza che non si farà riferimento al numero di veicoli in transito, bensì al totale dei posti auto.

3.2 Metodi basati sui tassi di crescita

La pianificazione della mobilità elettrica, come introdotto in precedenza, dipende fortemente dalla stima della potenziale domanda di mobilità elettrica, in particolare, da oggi al 2030 in accordo con gli obiettivi dell'UE e con la normativa nazionale.

L'obiettivo è, quindi, quello di conoscere per ogni anno il numero di veicoli elettrici circolanti e il loro fabbisogno di ricarica di modo che l'implementazione delle infrastrutture di ricarica pubblica riesca a tenere il passo con l'aumento della quota di mercato delle auto elettriche. A supporto di tale aspetto è necessario, per ciascuno scenario operativo definito, ovvero gli scenari di elettrificazione ipotizzati come esposto in precedenza, prendere in considerazione una possibile evoluzione del mercato dei veicoli elettrici. A tal scopo saranno oggetto di analisi le serie annuali relative alle immatricolazioni degli autoveicoli elettrici fino al 2019 in Italia e nel comune oggetto di studio, escludendo gli anni di pandemia; attraverso l'utilizzo di opportune strutture matematico-statistiche si descriverà l'evoluzione nel tempo dell'utilizzo di questa nuova tipologia di autoveicoli.

Per individuare una possibile evoluzione del mercato è necessario, però, introdurre delle ipotesi di partenza, e, a vantaggio di sicurezza, si ipotizza che il totale circolante e il totale immatricolato, riferiti all'area di studio considerata, rimangano costanti dal 2022 al 2030. Sulla base di queste ipotesi, per ciascun scenario di elettrificazione ipotizzato, si può stimare:

- il numero di veicoli elettrici da immatricolare ogni anno dal 2022 al 2030 per perseguire l'obiettivo prefissato da ciascun scenario;
- la cumulata dell'immatricolato elettrico dal 2022 al 2030;
- la percentuale di veicoli elettrici circolanti rispetto al totale circolante delle autovetture, dal 2022 al 2030.

Attraverso tali elaborazioni sarà possibile conoscere, per ciascuno scenario ipotizzato, in termini percentuali, la quota di mercato dei veicoli elettrici da garantire ogni anno dal 2022 al 2030.

3.3 Il modello di diffusione della tecnologia: Bass

Il modello di diffusione di Bass rappresenta uno dei paradigmi maggiormente utilizzati per prevedere la diffusione di prodotti innovativi o nuove tecnologie.

Tale modello è stato applicato negli anni in diversi settori di prodotto, ottenendo ottimi risultati di previsione soprattutto nel settore manifatturiero e per tale motivo viene utilizzato ancora oggi da molte aziende che decidono di introdurre nel mercato un nuovo prodotto, come aiuto per prevedere la domanda futura nei periodi che precedono il lancio o in quelli immediatamente successivi.

Sono stati pubblicati diversi lavori che hanno come oggetto l'applicazione di tale modello per stimare la diffusione di una nuova tecnologia in diversi ambiti, dai reattori nucleari al contesto energetico dei pannelli fotovoltaici, dalle telecomunicazioni ai nuovi modelli di cellulari.

Sebbene tale modello sia stato applicato anche nell'ambito dei servizi, questi possiedono caratteristiche che li differenziano dai prodotti e che possono influenzare il processo attraverso cui si diffondono i servizi.

Tale modello presuppone che i potenziali acquirenti di un'innovazione può essere diviso in due gruppi: innovatori, ossia le persone che acquistano prima il prodotto e ne sono influenzate solo tramite "comunicazione esterna", ad es. mass media o annuncio pubblicitario e imitatori, individui che, al contrario, acquistano se gli altri hanno già acquistato il prodotto poiché ne sono influenzati.

La diffusione dipende quindi dal grado di innovazione di un prodotto e dal passaparola che si genera attorno ad esso. In particolare, vengono definiti tre fattori determinanti del fenomeno della diffusione:

- Il mercato potenziale M , cioè il mercato cumulativo che potenzialmente potrà provare un prodotto o servizio;
- Il coefficiente di innovazione p , che rappresenta le influenze esterne e la pubblicità;
- Il coefficiente di imitazione q , che rappresenta le influenze interne che portano all'adozione per imitazione e passaparola.

Il Modello di Bass (Bass,1969) descrive il ciclo di vita di un'innovazione, nelle sue fasi caratteristiche di lancio, crescita, maturità e declino. La finalità di tale modellazione è di predire l'evoluzione nel tempo delle vendite di un nuovo prodotto, come risultato delle decisioni di acquisto di un dato insieme di potenziali adottanti. Si assume che tali decisioni di acquisto siano influenzate da due tipologie di informazione: una esterna, come i mass media e la comunicazione istituzionale, e una interna, definita passaparola (word of mouth). Queste due fonti di informazione sono in qualche modo "concorrenti", in quanto creano due gruppi distinti di adottanti. I componenti del gruppo influenzato unicamente dalle fonti esterne vengono denominati innovatori, i restanti, influenzati solamente dalle interazioni sociali vengono chiamati imitatori (Figura 9). Uno dei grandi vantaggi relativi al modello di Bass è la possibilità concreta di illustrare la fase iniziale di diffusione attraverso la presenza degli innovatori. In particolare, si assume che esistano dei clienti, gli innovatori appunto, che adottano il prodotto nelle fasi iniziali del ciclo di vita, precedendo gli imitatori, che viceversa si attivano solo in un secondo momento. In questo senso il modello di Bass riconosce il ruolo degli sforzi iniziali di comunicazione realizzate dalle imprese, caratteristica che un modello logistico puro non riesce a cogliere.

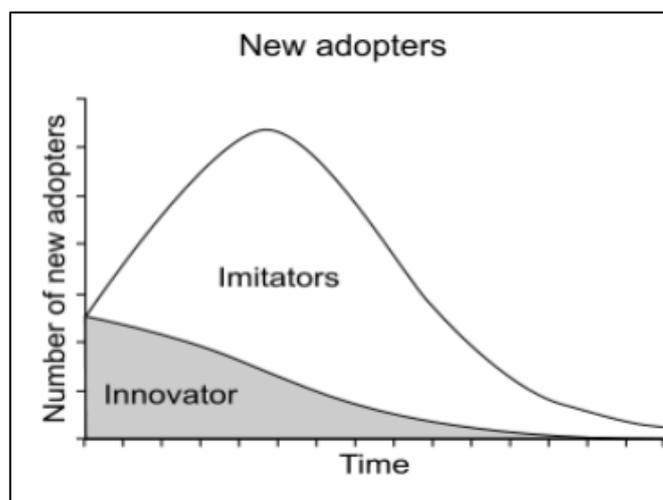


Figura 9- Le due classi di adottanti del BM

La rappresentazione formale del modello di Bass è un'equazione differenziale di primo ordine:

$$n(t) = p * (M - At) + q * \frac{1}{M} * z * (M - At)$$

Dove:

n_t : acquisti di prodotti nel periodo t

A_t : acquisti cumulativi di prodotti fino all'inizio del periodo t

M: potenziale di mercato cumulativo sull'intero ciclo di vita del prodotto

p: coefficiente di innovazione q: coefficiente di imitazione.

Questa equazione indica che la variazione nel tempo delle adozioni $n(t)$ è proporzionale al mercato residuo $(M - At)$, dove M è il mercato potenziale e $n(t)$ rappresenta il numero di adozioni al tempo t. Si noti che il mercato potenziale M descrive il numero massimo di adozioni realizzabili nel ciclo di vita e il suo valore è assunto costante lungo tutto il processo di diffusione.

Le adozioni istantanee evidenziano la presenza di un picco, ovvero il punto di massima crescita della diffusione, dopo il quale il processo inizia a decrescere. È facile capire che da un punto di vista strategico il picco rappresenta uno stadio cruciale del processo di diffusione, dal momento che esso indica la fase di maturità del ciclo di vita del prodotto, dopo la quale inizia la fase di declino. Il tempo t^* in cui viene raggiunto il picco è dato da:

$$t^* = (\ln\left(\frac{q}{p}\right))/(p + q)$$

Dalla formulazione dell'equazione è evidente la co-esistenza dei due gruppi di adottanti: il primo addendo è riferito agli innovatori, mentre il secondo rappresenta il contributo dato dagli imitatori.

Il modello di Bass può inoltre essere interpretato come una hazard function, ovvero come la probabilità che un evento si realizzi al tempo t dato che non si è ancora realizzato. Si ha che:

$$\frac{n}{M - At} = p + q * \left(\frac{At}{M}\right)$$

L'equazione descrive la probabilità condizionata di un'adozione al tempo t , risultante dalla somma delle probabilità di due eventi indipendenti, p e $q*(At/M)$: si assume quindi che la decisione finale di acquisto sia determinata da una sola tipologia di influenza (interna o esterna). Questa separazione degli effetti genera le due classi di adottanti distinti che si sono definite inizialmente. Tali classi sono tuttavia categorie latenti, poiché i dati aggregati sulle adozioni non forniscono chiaramente evidenza concreta di questo.

Se si denota $y = (At/M)$ si può equivalentemente riscrivere il modello di Bass con la seguente equazione:

$$y' = (p + q * y) * (1 - y)$$

oppure

$$y' + q * y^2 + (p - q) - q = 0$$

Si noti che l'ultima equazione rappresenta un caso particolare di equazione differenziale: l'equazione di Riccati (si veda Guseo, 2004). La soluzione in forma chiusa per il modello di Bass è una speciale distribuzione cumulata

$$y(t) = \left(\frac{1 - \exp(-t(p + q))}{1 + \left(\frac{q}{p}\right) \exp(-t(p + q))} \right)$$

La dinamica del processo di diffusione viene descritta dalla proporzione di adottanti $y(t)$, attraverso l'azione dei parametri di diffusione p e q .

Volendo riferire il processo alla sua scala assoluta di rappresentazione, il numero di acquisti cumulativi $A(t)$, è sufficiente moltiplicare $y(t)$ per il mercato potenziale M , che agirà come parametro di scala del processo:

$$A(t) = M \left(\frac{1 - \exp(-t(p + q))}{1 + \left(\frac{q}{p}\right) \exp(-t(p + q))} \right)$$

E' evidente che il modello di diffusione dipenderà fortemente dalla stima del mercato potenziale M e dai valori utilizzati per p e q . Riguardo questi ultimi parametri, esistono diverse fonti in letterature che forniscono varie stime (Tabella 1): nel caso specifico di sviluppo della nuova tecnologia di veicoli elettrici sono stati scelti da un articolo in cui si applica lo stesso modello in riferimento alla diffusione dei veicoli elettrici in Germania, si è dunque proceduto per analogia (Massiani & Gohsb, 2015).

Tabella 1- Parametri del modello di Bass da letteratura

Estimated Bass-parameters for annual registrations.

Technology	Estimated regression-coefficients, (adj.) R ² and radicand						Bass-parameters	
	b0	b1	b2	R ²	adj. R ²	Radicand	p	q
Electric	53	1.249	-4.41E-05	0.96	0.94	1.570	0.0019	1.2513

In generale tali parametri vengono stimati mediante l'utilizzo di software statistici, quali software R e Minitab.

Risulta di fondamentale importanza considerare come il coefficiente di innovazione p assume valore più bassi per una nuova tecnologia rispetto ad una già consolidata, al contrario del coefficiente di imitazione q che assume valore più elevato per quanto riguarda l'ingresso sul mercato di una nuova tecnologia (Pae & Lehmann, 2003).

A dimostrazione di quanto appena detto si riporta una tabella esplicativa (Tabella 2) dei diversi valori dei parametri sopra citati in riferimento a tre diverse tipologie di automobili presenti sul mercato:

Tabella 2- Parametri del modello di Bass per diverse tipologie di automobili

Vehicle Technology	p	q
EV	.0019	1.2513
LPG	.0779	0.3718
CNG	.1187	0.0349

Si osserva come nel caso in cui $q < p$ non esiste un flesso poiché domina la componente mediatica e la saturazione nel mercato avviene più lentamente. Contrariamente, per $q > p$ il mercato satura velocemente (Figura 10).

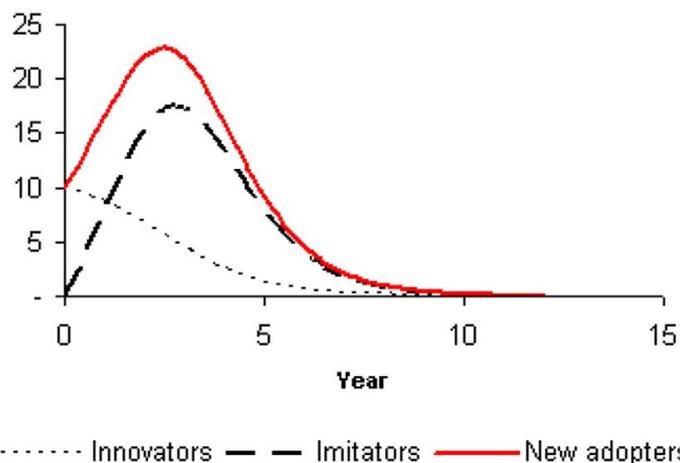


Figura 10- La curva della densità delle vendite nel modello di Bass per differenti valori di p e q

Per quanto riguarda la scelta del parametro M , essa varia in funzione del mercato analizzato in quanto rappresenta il potenziale mercato di automobili elettriche che ci si aspetta nel 2030. Rappresenta quindi un valore prefissato secondo il target Eu, vale a dire il 55% del totale immatricolato nell'anno.

Il mercato potenziale che è rappresentato dal parametro M agisce come parametro di scala del processo di diffusione ed è assunto costante durante tutto il ciclo di vita.

È necessario che i tre parametri del modello di Bass rispettino i seguenti vincoli:

- $M > 0$;
- $p > 0$;
- $q \geq 0$.

Secondo Bass ci sono due condizioni per le quali il modello è appropriato per la previsione delle vendite a lungo termine della nuova tecnologia:

- la nuova tecnologia è stata introdotta sul mercato per il quale si osservano le vendite nel periodo di tempo;
- la nuova tecnologia non è stata ancora introdotta, ma potrebbe avere un comportamento di mercato simile ad una tecnologia esistente con parametri di adozione noti.

Una grande limitazione dei modelli di Bass è data dal fatto che tale modellazione non tiene conto dell'influenza esercitata dalle variabili del marketing mix sotto diretto controllo dei managers, quali prezzo strategico e pubblicità, sui processi di diffusione. In aggiunta, l'accorciamento dei cicli di vita dovuti alla rapida crescita delle generazioni successive di prodotti, specialmente quelli ad alta tecnologia, aumenta la necessità di avere un modello che tenga sotto controllo tali influenze. (Bass, Jain, & Krishnan, 2000) elencano una serie di proprietà desiderabili per un modello di diffusione con variabili di decisione: dovrebbe avere supporto empirico ed essere utile al management; dovrebbe avere una soluzione in forma chiusa ed essere facile da implementare; i parametri dovrebbero avere una diretta interpretazione ed essere facilmente comparabili in diverse situazioni. Un modello che presenta tutte queste proprietà, formalizzato da (Bass, Krishnan, & Jain, 1994) è il modello di Bass Generalizzato (GBM). Concepito per tenere in considerazione sia strategie di prezzo che di comunicazione, il modello di Bass Generalizzato amplia la struttura del modello di Bass moltiplicando la sua forma base per una funzione di intervento $x(t)$. Tale funzione $x(t) = x(t, \theta)$, $\theta \in R_k$ è una funzione integrabile in domini limitati e non negativa. Il modello di Bass generalizzato presenta quindi una struttura estremamente semplice:

$$n(t) = p + q * \left(\frac{At}{M}\right) * (M - At) * x(t)$$

Volendo riferire il processo alla sua scala assoluta di rappresentazione, il numero di acquisti cumulativi $A(t)$, sotto la condizione iniziale $n(t=0) = 0$ è:

$$A(t) = M \left(\frac{1 - \exp(-t(p + q)) \int_0^t x(\tau) d\tau}{1 + \left(\frac{q}{p}\right) \exp(-t(p + q)) \int_0^t x(\tau) d\tau} \right)$$

Una caratteristica interessante del modello di Bass generalizzato è data dal fatto che ponendo $x(t)=1$ (nessun cambiamento in prezzo e pubblicità), il modello si riduce ad un modello di Bass standard. Inoltre, se il cambiamento percentuale in prezzo e pubblicità rimane lo stesso da un periodo al successivo, la funzione $x(t)$ si riduce ad una costante, ritornando ancora una volta al modello di Bass standard.

Una particolarità degna di nota è data dal fatto che i parametri p , q ed M non sono modificati dalla funzione di intervento esterna. La funzione $x(t)$ agisce sulla forma naturale della diffusione, modificandone la sua struttura temporale ma non i valori dei suoi parametri interni; l'effetto rilevante di $x(t)$ è di anticipare o ritardare le adozioni, ma non di aumentarle o diminuirle. In altre parole, la funzione $x(t)$ rappresenta tutte le strategie applicate per tenere sotto controllo la tempistica di un processo di diffusione, ma non la sua dimensione. Sebbene questa funzione fosse stata concepita originariamente per rappresentare le variabili del marketing mix, la sua struttura è così generale e semplice che può assumere varie forme, al fine di descrivere molteplici azioni esterne oltre alle strategie di marketing: ad esempio, si adatta bene a descrivere fenomeni che possono interagire coi processi di diffusione, quali interventi politici, ambientali e cambiamenti tecnologici.

3.4 Metodo disaggregato per la stima dei punti di ricarica sul territorio

La stima della potenziale domanda di mobilità elettrica è fondamentale per la progettazione dell'infrastruttura di ricarica, la quale deve soddisfare le esigenze di ricarica dei veicoli elettrici circolanti. Il metodo aggregato introdotto in precedenza ha consentito di stimare il numero di punti di ricarica da distribuire sul territorio, mediante approcci di stima semplificata a partire da un'esigenza di ricarica, ipotizzata sulla base di alcuni scenari operativi. Il presente paragrafo, pertanto, si concentra sulla stima della "reale" esigenza di ricarica, determinata valutando i consumi giornalieri o settimanali sulla base di analisi relative, ai flussi di domanda, alle distanze percorse e alle velocità, e calcolando la frequenza di ricarica.

Per implementare il metodo disaggregato è necessario, però, applicare un modello che consenta di determinare il consumo di un veicolo, in funzione della distanza percorsa e della velocità a cui il veicolo stesso avanza. Lo studio condotto da (C. Fiori, V. Arcidiacono, G. Fontaras, M. Makridis, K. Mattas, V. Marzano, C. Thiel, B. Ciuffo, 2019), indaga su come i sistemi di trasporto intelligenti e, altre misure relative al traffico, possano contribuire alla riduzione del consumo di carburante e delle emissioni di gas serra, nella transizione dai veicoli con motore a combustione interna (ICEV) alle tecnologie alternative, eseguendo un'analisi del consumo energia/carburante su diverse traiettorie del veicolo.

In particolar modo, quest'ultima analisi è stata condotta mediante l'utilizzo di una funzione di consumo chiamata "curva di adattamento", che può essere applicata sia per i veicoli a combustione interna, che per i veicoli elettrici, utilizzando coefficienti differenti, ed è rappresentata in Tabella 3:



Tabella 3- Funzione di consumo

$f(x) = p1 \cdot x^2 + p2 \cdot x + p3$	Coefficients
EV (segmento C) [kWh/km]	p1 = 3.102e-05 p2 = -0.003117 p3 = 0.1636
ICEV [l/100km]	p1 = 7.043e-04 p2 = -0.1452 p3 = 13.6

dove x rappresenta la velocità media riferita alla traiettoria considerata. I coefficienti fanno riferimento ad un veicolo elettrico di segmento auto C (es. Nissan Leaf) e ad un veicolo ICE di segmento auto C (es. Ford Focus).

Come si vede tale funzione si limita quindi, al calcolo dei consumi di energia/carburante per il solo segmento auto C, ma è importante stimare il consumo relativo agli altri segmenti auto, ovvero A, B, D ed E. Per questo motivo, il metodo di stima basato sui consumi di energia verrà applicato considerando due diversi approcci, che però si basano sulla raccolta degli stessi dati:

- numero dei possibili percorsi per ogni coppia di zone origine-destinazione;
- lunghezza in km di ciascun percorso;
- flussi di traffico su ciascun percorso;
- velocità media di percorrenza in km/h.

In particolar modo, la lunghezza in km di ciascun percorso deve tener conto della distanza percorsa per il viaggio di andata, della distanza percorsa per il viaggio di ritorno, considerando il motivo di spostamento principale, ovvero casa-lavoro. È necessario però considerare anche due ulteriori aliquote: la distanza percorsa legata agli spostamenti compiuti per "altri" motivi e la distanza percorsa riferita agli spostamenti effettuati nel fine settimana. Di conseguenza la lunghezza di ciascun percorso per ogni coppia di zone origine-destinazione deve essere opportunamente incrementata.

Approccio 1

L'approccio 1 viene introdotto per poter stimare l'esigenza di ricarica dei veicoli corrispondenti ai segmenti auto A, B, C, D ed E. Si tratta di un approccio basato sui consumi "teorici" in kWh/km, di ciascun segmento auto, forniti dalle case automobilistiche e, per raccogliere tale dato, è possibile fare riferimento al veicolo elettrico più venduto per ciascun segmento auto. Moltiplicando i consumi teorici per la lunghezza in km di ciascun percorso per ogni coppia di zone origine-destinazione, si ottiene il consumo in kWh, consumo che può essere confrontato con la capacità teorica della batteria in kWh.



Approccio 2

L'approccio 2 prevede l'applicazione della funzione di consumo introdotta precedentemente, che consente, in funzione della velocità media su ciascun percorso, di stimare il consumo di energia in kWh/km, in riferimento però, ad un veicolo elettrico appartenente al segmento auto C. Moltiplicando il consumo ottenuto dalla funzione, per la distanza percorsa in chilometri, viene determinato il consumo espresso in kWh, da poter confrontare con la capacità della batteria in kWh fornita dalla case automobilistiche per un veicolo elettrico di segmento auto C, ad esempio la Nissan Leaf elettrica.

Per entrambi gli approcci, i valori relativi alla capacità teorica di ciascun segmento auto devono essere opportunamente ridotti del 20% in quanto, per mantenere una composizione chimica interna tale da evitare danneggiamenti, la batteria deve essere ricaricata quando arriva al 20% e di conseguenza, la reale autonomia è ridotta rispetto ai valori forniti dalle case automobilistiche.

Come si può notare l'approccio 2 è di gran lunga più raffinato, ma non consente di determinare i consumi relativi a tutti i segmenti auto, motivo per cui si applica anche l'approccio 1. È conveniente, una volta calcolati i consumi, effettuare una validazione incrociata tra i due diversi approcci, riferendosi ovviamente al solo segmento C, per capire se effettivamente portano a risultati simili tra loro.

Una volta determinati i consumi con i due diversi approcci, è necessario determinare la frequenza di ricarica.

L'applicazione del metodo prevede, però, una serie di passaggi preliminari; il primo step è quello relativo alla ripartizione dei flussi di traffico per ogni coppia di zone origine-destinazione e per ogni possibile percorso. A tal proposito è necessario calcolare il flusso dei veicoli elettrici, valutato come una percentuale del flusso totale, e ripartire poi tale valore tra i diversi segmenti auto sopra introdotti. In tal modo sarà possibile conoscere il flusso di veicoli elettrici relativo ad ogni tipologia definita dai segmenti auto.

La fase successiva consiste, invece, nel determinare la media pesata dei consumi rispetto ai flussi. Per ogni coppia origine-destinazione e per ogni possibile percorso, è necessario moltiplicare il consumo in kWh per il flusso di traffico, questi valori devono essere poi sommati rispetto ai possibili percorsi per ottenere la somma complessiva per ogni coppia di zone origine-destinazione; dividendo tale somma per il totale di flussi di traffico su ogni coppia o-d, si ottiene la matrice della media pesata dei consumi sui flussi di traffico. Ipotizzando di voler stimare il numero di punti di ricarica in destinazione, è necessario poi moltiplicare il consumo medio nuovamente per il flusso costruendo una matrice, e dividendo poi i totali di quest'ultima, per i totali di colonna della matrice dei flussi. Attraverso queste operazioni è possibile stimare la frequenza di ricarica per ogni zona di destinazione. Rapportando poi tale valore alle macrozone individuate per l'area di studio, ovvero effettuando una media della frequenza tra le diverse zone appartenenti alla stessa macrozona, si può stimare la frequenza di ricarica per ogni macrozona.

Dividendo poi i flussi di traffico dei veicoli elettrici ripartiti per ogni segmento auto, per la frequenza di ricarica, si ottiene il numero di prese di ricarica, e di conseguenza, il numero di punti di ricarica da garantire per soddisfare il fabbisogno di ciascun segmento auto.

In riferimento all'approccio 1, per ottenere il numero totale di colonnine di ricarica è necessario effettuare una semplice somma su ogni segmento auto. Per l'approccio 2, che si ricorda si riferisce al solo segmento auto C, si considerano comunque cinque segmenti ma ipotizzando che siano tutti di tipo C.

È immediato comprendere come tale metodo possa essere applicato anche per determinare il numero di punti di ricarica da garantire nelle zone di origine.

3.5 Sintesi della metodologia proposta

I metodi proposti possono essere distinti in due categorie: metodi indipendenti dal mercato e metodi dipendenti dal mercato. Alla prima categoria appartengono metodi semplici che consentono di stimare il numero di punti di ricarica mediante la zonizzazione dell'area di studio e l'utilizzo di approcci di stima aggregata sulla base dei posti auto disponibili e di indicatori socioeconomici. Questi metodi si basano sulle indicazioni normative fornite dal PNIRE 2015 e dal Decreto-legge "Semplificazioni" 76/2020. Alla seconda categoria invece appartengono metodi più complessi che affrontano tutte le problematiche legate alla pianificazione della mobilità elettrica. Il primo problema riguarda la stima del numero di veicoli elettrici da servire in futuro e la loro legge di crescita, e a tal proposito possono essere applicati, il modello di diffusione della tecnologia di Bass e il metodo basato sui tassi di crescita che, una volta definito l'intervallo di analisi, consentono di stimare i volumi dei veicoli elettrici da servire e la loro evoluzione nel tempo. Il secondo, e principale problema, riguarda la stima del numero di punti di ricarica da distribuire sul territorio che, a valle della zonizzazione trasportistica dell'area di studio, può essere ottenuta applicando due metodi: il metodo aggregato, che consente di stimare il numero di punti di ricarica da allocare sul territorio sulla base delle caratteristiche di macrozona definite per l'area stessa, e il metodo disaggregato, più complesso e completo, che consente la stima del numero di punti di ricarica sulla base dei reali consumi dei veicoli elettrici e viene applicato pervia simulazione del sistema di trasporto. Per definire la tipologia di colonnina di ricarica, classificate in base alla potenza erogata, è necessario considerare come dati input la durata media della sosta e la ripartizione per segmento auto del parco veicolare. Ed infine, il posizionamento dei punti di ricarica si basa sull'individuazione delle superfici utili, ovvero le aree di sosta, e su analisi condotte sulla rete di distribuzione elettrica in particolare per verificare che la capacità della rete stessa soddisfi la domanda di ricarica.

Si riporta in Figura 11 un diagramma di sintesi dei diversi metodi applicati:

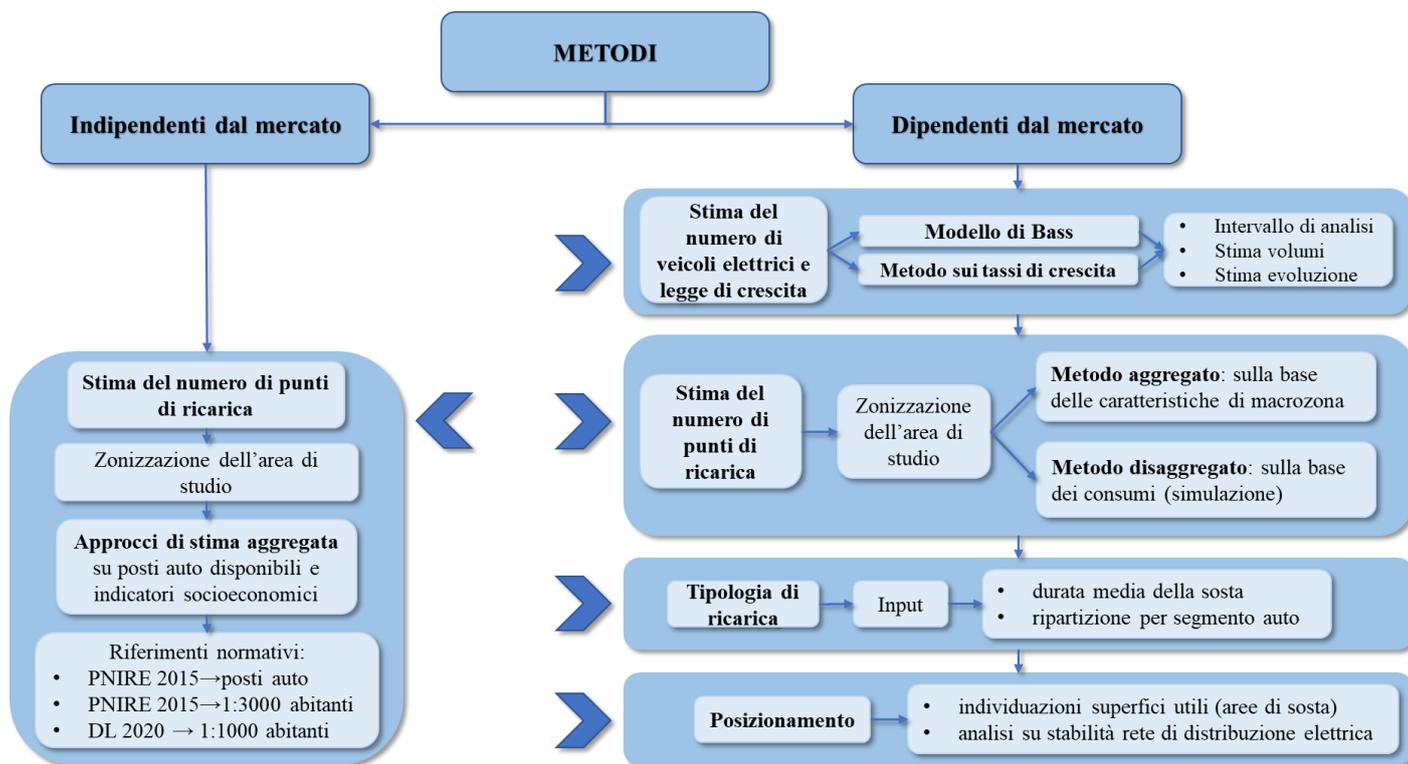


Figura 11- Diagramma di sintesi dei metodi applicati