RdS
RICERCA DI SISTEMA

ENEA
AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE, L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA SICUREZZA ENERGETICA

Ricerca di Sistema elettrico

LA3.20 - Modellizzazione ricarica BEV: ottimizzazione dell'indagine campionaria e formulazione di modelli comportamentali in area urbana

Stefano de Luca, Francesca Bruno, Roberta Di Pace, Chiara Fiori, Giulio E. Cantarella

RdS_PTR22-24_PR1.7_LA3.20_023

LA3.20 - MODELLIZZAZIONE RICARICA BEV: OTTIMIZZAZIONE DELL'INDAGINE CAMPIONARIA E FORMULAZIONE DI MODELLI COMPORTAMENTALI IN AREA URBANA

Stefano de Luca, Francesca Bruno, Roberta Di Pace, Chiara fiori, Giulio Erberto Cantarella

Università di Salerno
Dipartimento di ingegneria Civile
Laboratorio di Ingegneria dei Sistemi di Trasporto e Mobilità Sostenibile - ISTMoS
Giugno 2023

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica - ENEA
Piano Triennale di Realizzazione 2022-2024

Obiettivo: *Decarbonizzazione/Digitalizzazione ed evoluzione delle reti*
Progetto: Tecnologie per la penetrazione efficiente del vettore elettrico negli usi finali
Linea di attività: *LA 3.20*
Responsabile del Progetto: Claudia Meloni, ENEA
Responsabile Linea di Attività: prof. Stefano de Luca, UniSA
Mese inizio previsto: 11
Mese inizio effettivo: 11
Mese fine previsto: 18
Mese fine effettivo: 18

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "*Sviluppo e calibrazione di un modello dei comportamenti di ricarica delle autovetture "full electric" in città basato sulla ricostruzione degli spostamenti su autovettura privata a partire da Floating Car Data*"
Responsabile scientifico ENEA: ing. Natascia Andrenacci
Responsabile scientifico Co-beneficiario: Prof. Stefano De Luca

Indice

1 RISULTATI ATTESI 3
2 RISULTATI OTTENUTI 3
3 PRODOTTI ATTESI 17
4 PRODOTTI SVILUPPATI 17
5 ANALISI DEGLI SCOSTAMENTI SU ATTIVITÀ E RISULTATI 17
6 SINTESI DELLE ATTIVITÀ SVOLTE 18
7 DETTAGLIO DELLE ATTIVITÀ SVOLTE 19
8 CONTRIBUTO DELLE EVENTUALI CONSULENZE ALLE ATTIVITÀ SOPRA DESCRITTE 23
9 PUBBLICAZIONI SCIENTIFICHE 23
10 EVENTI DI DISSEMINAZIONE 23

1 Risultati attesi

La linea di Attività LA 3.20 è a supporto alla progettazione ed esecuzione dell'indagine campionaria e formulazione di modelli comportamentali di ricarica di auto elettriche private in area urbana.
I risultati attesi possono essere sintetizzati nei seguenti 3 punti.

[1] Analisi desk dello stato dell'arte dei possibili approcci alla modellazione di comportamenti di ricarica di auto "full electric".

I risultati attesi sono la comprensione del processo decisionale soggiacente i comportamenti di ricarica e in particolare, anche partendo dalla conoscenza di ENEA in materia, ci si pone l'obiettivo di:

a) classificare i contesti di scelta,
b) identificare i possibili processi decisionali,
c) identificare possibili sequenze decisionali,
d) identificare i determinanti di scelta,
e) identificare i paradigmi interpretativi del fenomeno e i possibili paradigmi teorici.

L'obiettivo è la classificazione dei paradigmi interpretativi esistenti (e.g comportamentali vs. non comportamentali, utilitaristici, teoria del prospetto, etc..), le relative formulazioni matematiche, i relativi determinanti di scelta e le variabili in grado di misurarli. Saranno evidenziati vantaggi/svantaggi e punti di forza/debolezza nonché una classificazione delle variabili socioeconomiche, attitudinali e strumentali più rilevanti.

[2] Supporto alla ottimizzazione della progettazione ed esecuzione dell'indagine campionaria.

a) enucleazione delle variabili di scelta più significative nei comportamenti di ricarica delle autovetture elettriche in ambito urbano;
b) identificazione dei possibili scenari operativi più rilevanti e la definizione degli scenari prioritari;
c) definizione della struttura, contenuti e presentazione degli scenari che siano funzionali ad una più efficace divulgazione del questionario, nonché coerenti con i possibili approcci alla modellazione di comportamenti di ricarica investigati ai punti precedenti.

[3] Individuazione degli approcci e specificazione delle possibili formulazioni matematiche per il caso di specie.

Formalizzazione di una framework modellistica coerente con i dati e caso studio in esame e individuazione delle formulazioni matematiche da investigare nella successiva fase di specificazione e calibrazione del modello. Definizione delle problematiche di calibrazione dei modelli con particolare attenzione alla individuazione di metodi di stima implementabili in software open-source e facilmente trasferibili/riproducibili anche a contesti differenti.

2 Risultati ottenuti

I risultati ottenuti sono coerenti con i risultati attesi e sono di seguito sintetizzati

<u>Per l'attività [1]</u>

- sono stati identificati e classificati i contesti di scelta, gli approcci interpretativi e degli approcci modellistici funzionali alla modellazione di comportamenti di ricarica di auto "full electric".
- Sono stati individuati i possibili paradigmi interpretativi e approcci modellistici per l'analisi e simulazione di comportamenti di ricarica di autoveicoli "full electric";
- Sono stati indentificati i possibili determinanti di scelta e le variabili in grado di misurarli.

Il raggiungimento dei risultati prefissati per la prima attività ha richiesto una copiosa analisi dello stato dell'arte, volta ad evidenziare tutte le caratteristiche da prendere in considerazione per poter delineare dei profili di ricarica: tipo di comportamento analizzato (aggregato/disaggregato), tipologia di scelta (Pre-trip/en-route), contesto di scelta, alternative di scelta, paradigma interpretativi e approcci modellistici, determinanti di scelta.
I risultati della suddetta analisi dello stato dell'arte, con particolare riferimento agli aspetti considerati, sono riassunti nella tabella che segue.

Paper	Tipo alimentazione	Tipo di comportamento: aggregato / disaggregato	Pre-trip / en-route	Contesti di scelta (localizzazione)	Alternative di scelta	Modellazione	Determinanti di scelta
Jabeen et al., 2013	BEVs	Aggregato	Pre-trip	Casa, lavoro, pubblico	1) ricarica a casa, 2) ricarica gratis a lavoro, 3) ricarica pubblica	1) multinomial logit (MNL) 2) mixed logit model random parameters	1) orario del giorno, 2) durata della ricarica, 3) costo dell'elettricità
Sun et al., 2015	BEVs	Disaggregato		Ricarica a casa (per i veicoli privati) / presso l'azienda (per i veicoli commerciali)	1) no ricarica, 2) ricarica appena si torna a casa, 3) ricarica notturna, 4) ricarica in altri momenti	mixed logit model	1) SoC, intervallo temporale prima del successivo viaggio, 2) km per veicoli da percorrere nel successivo giorno, 3) esperienza della ricarica veloce, 4) dummy che indica un giorno lavorativo, 5) dummy per il rientro notturno (dalle 23:00 alle 7:00) a casa/presso le aziende, 6) dummy per i BEV che lavorano a servizio di compagnie di elettricità,
Daina et al., 2015	EVs (BEVs, PHEVs, anche EREV)	Disaggregato			No scelta. Aspetti investigati: • frequenza di ricarica settimanale • Autonomia all'avvio dell'evento di ricarica	1) **Ordinal probit model** (per la frequenza di ricarica settimanale) 2) **Regressione lineare** (Autonomia all'avvio dell'evento di ricarica)	1) distanza in auto fino al luogo di lavoro, 2) distanza in auto per le principali attività non lavorative, 3) tipologia di veicolo (BEV o PHEV), 4) modello di veicolo, 5) autonomia di guida a carica completa, 6) variabili socioeconomiche, 7) Fattore 1 (propensione a caricare in base al costo/opportunità), 8) Fattore 2 (propensione a caricare in funzione della valutazione dell'autonomia o del livello di batteria), 9) Fattore 3 (percezione che l'evento di ricarica sia innescato dall'abitudine), 10) Fattore 4 (Percezione che l'evento di ricarica sia innescato solo dalla valutazione dell'autonomia).

Yang et al., 2016	BEVs	Disaggregato			1) Ricarica 2) Non ricarica + scelta del percorso	1) multinomial logit (MNL) 2) Nested logit model	1) SoC iniziale all'origine, 2) fattore di consumo medio dell'elettricità, 3) SoC a destinazione, 4) tempo di ricarica, 5) stazione di ricarica, 6) destinazione, 7) distanza dall'origine alla stazione di ricarica.
Wen et al., 2016	PEVs	Disaggregato	en route	Casa, pubblico	1) Ricarica a questa fermata 2) Ricarica ad un'altra fermata (casa inclusa)	1) mixed logit model; 2) Latent class model	1) Prezzo della ricarica, 2) potenza massima di ricarica, 3) tempo di sosta, distanza da casa, 4) autonomia elettrica rimanente nel veicolo, 5) distanza fino alla prossima opportunità di ricarica.
Daina et al., 2017	EVs	disaggregato	Pre-trip	**1° esperimento:** ricarico a casa; **2° esperimento:** ricarico a casa smart con ritardi/non ricarico	**1° esperimento:** 2 alternative con diverse potenze, % di ricarica e costi **2° esperimento:** 3 alternative, di cui 2 con diverse potenze, % di ricarica, costi e ritardi a destinazione/al rientro, la terza è la possibilità di non ricarica	1) Logit model 2) Mixed logit model random coefficient	1) energia disponibile dopo la ricarica 2) Tempo necessario per ottenere quella prefissata % di ricarica; 3) Prezzo della ricarica; 4) Ritardo in destinazione 5) diminuzione della partecipazione alle attività in destinazione
Xu et al., 2017	BEVs	Disaggregato		casa, pubblico	1) ricarica a casa, 2) ricarica normale pubblica, 3) ricarica veloce pubblica	mixed logit model with control function	1) capacità della batteria, 2) dummy per indicazione ricarica notturna, 3) SoC iniziale, numero di eventi di ricarica veloce passati, 4) intervallo di giorni tra la ricarica corrente ed il prossimo viaggio, 5) KM di viaggio per veicolo, 6) durata dello spostamento del viaggio precedente e del prossimo giorno.
Moon et al., 2018	EVs	Disaggregato		Pubblico	4 tipologie di ricarica, con attributi con diversi livelli	mixed logit model	1) Costo di ricarica, 2) tempo per una ricarica completa, 3) tipologia di connettore di ricarica, 4) disponibilità di informazioni per le stazioni di ricarica, 5) disponibilità del servizio di ricarica, 6) accessibilità alla stazione [km]

Chaudhari et al., 2019	EVs	Disaggregato	en route	Pubblico: posto di lavoro (per spostamenti dal lunedì al venerdì); centri commerciali o residenziali (per spostamenti nel fine settimana)	1) Ricarica lenta 2) Ricarica veloce	Modello ad agenti	**1) Parametri micro** (categoria di EV, "range anxiety", capacità della batteria, SoC iniziale, SoC finale, modalità di ricarica, orario di ricarica, durata del parcheggio, esperienza di guida); **2) Parametri macro** (disponibilità delle postazioni di ricarica, velocità degli EV, Numero di EV, tipo di giorno, scopo del viaggio, costo di ricarica, ore di punta).
Baresch & Moser, 2019	BEVs	Aggregato	en route	Casa, lavoro, pubblico	1) Bassa potenza casa 2) Bassa potenza lavoro 3) Media potenza pubblica 4) Alta potenza pubblica	Mathematical decision tree approach	Localizzazione delle stazioni di ricarica
Globisch et al., 2019	EVs	Disaggregato		Pubblico	Attrattività tra offerte pubbliche: 10 offerte per la ricarica di veicoli elettrici presentate a coppie alternative (Provider A e Provider B)	Rating-based conjoint analysis	1) tariffa mensile base, 2) densità degli stalli di ricarica in città, 3) densità degli stalli di ricarica lungo le autostrade, 4) durate della ricarica in città, 5) durata della ricarica lungo le autostrade
Hu et al., 2019	BEVs	Aggregato		casa, lavoro, pubblico		Cumulative prospect theory (CPT	1) Distribuzione del SoC all'inizio degli eventi di carica, 2) tempo di ricarica e scelte di localizzazione, 3) potenza di ricarica, 4) influenza dell'attitudine al rischio dei guidatori di BEV (con rif. al comportamento di ricarica), 5) influenza della copertura della rete di ricarica pubblica.
Lee et al., 2020	BEVs + PHEVs	Disaggregato		Casa, lavoro, pubblico	Modello di appartenenza ad un gruppo, tra i seguenti: Home-only; Work-only; Public-only; Home-work; Home-public; Work-public; All	Multinomial logit model	25 variabili esplicative (socioeconomiche, caratteristiche del veicolo, abitudini di spostamento, abitudini di ricarica).

Lazzeroni et al., 2021	EV + ICEV	Aggregato		Casa /Pubblico	1) Ricarica da 4 kW (casa) 2) Ricarica da 22 kW (pubblico)	Bass model (stima EVs al 2030 e 2035)	1) orario ricarica, 2) durata sessioni di ricarica, 3) potenza di ricarica
Wang et al., 2021	EVs	Disaggregato	en route	Destinazione	1) Ricarica 2) non ricarica	1) Binary logit models 2) Latent class models	1) SoC, 2) autonomia restante, 3) tempo di parcheggio, 4) tariffa di ricarica, 5) tempo di fila alla colonnina, 6) soddisfazione, 7) attitudine al rischio.
Liu et al., 2022	BEVs	Disaggregato	en route	casa, lavoro, pubblico	1) No ricarica, 2) ricarica lenta a casa, 3) ricarica AC lavoro, 4) Ricarica DC pubblica	Modello logit condizionale	1) Sensitività al rischio, 2) tariffa di ricarica/costo totale di ricarica, 3) attitudine verso il tasso di disponibilità della ricarica, 4) disponibilità dei sistemi di ricarica, 5) SoC, 6) caratteristiche delle modalità di ricarica.
Ren et al., 2022	BEVs	Disaggregato	en route		1) no ricarica, 2) ricarica lenta, 3) ricarica veloce	Nested Logit	1) Durata del viaggio, 2) orario di partenza, 3) distanza percorsa, 4) velocità media dello spostamento, 5) SoC all'inizio del viaggio, 6) SoC caricato, 7) tipologia di ricarica, 8) informazioni sulla posizione, 9) condizioni metereologiche
Lagomarsino et al., 2022	EVs	Disaggregato			1) Ricarica immediata 2) ricarica smart	1) Conjoint analysis 2) Hierarchical Bayesian estimation (per la singola preferenza della ricarica smart)	1) SoC, 2) orario del giorno, 3) incremento dovuto alla durata della ricarica, 4) incremento della quantità di energia rinnovabile, 5) diminuzione dei costi di ricarica
Visaria et al., 2022	BEVs	Disaggregato	en route	pubblico	3 alternative con attributi variabili	Mixed logit model	1) Deviazione (per trovare altre stazioni), 2) Disponibilità delle colonnine, 3) Velocità di ricarica (in km ogni 10 min); 4) Tariffa (DKK/KWh), 5) Servizi aggiuntivi

Yi et al., 2023	EVs	Disaggregato			1) no ricarica, 2) ricarica standard, 3) ricarica veloce		1) SoC 2) tempo di sosta
Solvi Hoen et al., 2023	Evs	Disaggregato	en route	Pubblico, fuori dalle aree urbane	1) no ricarica, 2) ricarica AC normale/accelerata 3) ricarica DC veloce (50 kW)	Mixed logit model	1) Attributi di scenario • Distanza fino a destinazione • SoC/livello di batteria a destinazione 2) Attributi relativi alle opzioni di ricarica • Tipologia di stazione di ricarica • Servizi presenti alla stazione • Tariffa per la ricarica • Tempo di attesa • Autonomia dopo la ricarica

Per l'attività [2]

- è stato identificato, in stretto coordinamento con le LA precedenti coordinate da ENEA e mediante indagini pilota, il processo decisionale da investigare e sono state individuate le dimensioni di scelta rilevanti.
- Sono state individuate le variabili significative per ciascuna dimensione di scelta e sono stati individuati i livelli di valori da investigare attraverso l'indagine SP;
- Sono stati co-progettati gli scenari descrittivi, la modalità grafica e la modalità di somministrazione dei questionari.
- È stato testato il questionario di indagine definitivo e funzionale al popolamento del database per le analisi successive.

Il contesto di scelta esaminato è risultato piuttosto complesso e dipendente da molteplici fattori; pertanto, sono state necessarie diverse assunzioni semplificative relative al contesto operativo di interesse, all'insieme di scelta e alla variabilità degli attributi considerati.
In particolare il contesto operativo preso in considerazione è stato ridotto (maggiori dettagli su tale scelta sono riportati nel paragrafo 7) al solo contesto di ricarica su suolo pubblico, nei pressi della propria abitazione o nei pressi della destinazione degli spostamenti, vincolando l'insieme di scelta a soltanto a due alternative; Tuttavia, si è tenuto conto della possibilità di avere modalità di ricarica differenti (più lenti o più veloci) considerando la variabilità dei singoli attributi.
Di seguito si riportano i determinanti presi in considerazione poiché considerati particolarmente rilevanti per il contesto operativo di riferimento; per ciascuno di essi sono stati individuati diversi range di variazione, di cui si è tenuto conto per la costruzione degli scenari:

- **Stato della carica in destinazione, SoC_d:** sono stati considerati valori compresi tra il 30% e l'80%. I valori estremi di tali valori sono legati a riferimenti di letteratura o a vincoli tecnologici.
- **Autonomia disponibile all' arrivo in destinazione, km_d**: tra l'autonomia ed il SoC è stata considerata una corrispondenza diretta; tuttavia, siccome sono presenti sul mercato autovetture elettriche che, seppur appartenenti allo stesso segmento auto, possono avere autonomie molto differenti, sono stati considerati due possibili valori di autonomia (250 km e 400km) corrispondenti ad un SoC del 100% di un'automobile con capacità della batteria da 40 kWh.
- **Stato della carica al rientro a casa, SoC_c:** è stata assunta, coerentemente all'obiettivo di dover effettuare un'analisi relativa all'ambito urbano, una distanza tra destinazione e casa che determinasse una riduzione del SoC_d del 10%.
- **Autonomia disponibile al rientro a casa, km_c**: è stata derivata a partire dal livello di SoC_c, considerando sempre due possibili valori di autonomia (250 km e 400km) corrispondenti ad un SoC del 100%.
- **Km che si prevede di percorrere il giorno successivo**, **Km_{gs}:** considerando le lunghezze degli spostamenti nell'area metropolitana di Roma sono stati assunti due livelli di riferimento, corrispondenti a spostamenti giornalieri di 30 e 60 km.
- **Durata della sosta:** Sono stati considerati 6 diversi livelli di durata della sosta da 6 ore, 4 ore, 2 ore, un'ora, 30 minuti e 15 minuti; è stato assunto che per durate della sosta lunga (4 e 6 ore) avessero senso soltanto modalità di ricarica lente, per durate della sosta brevi (30 e 15 minuti) solo ricariche veloci, mentre per durate della sosta intermedie (1 e 2 ore) sono state considerate tutte le modalità di ricarica.
- **Percentuale di batteria caricata in destinazione, $\%SoC_d$:** è stata derivata a partire dal livello di SoC_d, dalla durata della sosta e dalla tipologia di colonnina di ricarica considerata.
- **Percentuale di batteria caricata a casa, $\%SoC_c$:** è stata derivata a partire dal livello di SoC_c, considerando sempre una ricarica fino al completamento per l'opzione casa.

- **Tariffa di ricarica:** sono stati considerati tre diversi livelli tariffari pari a 0.35 €/kWh, 0.45 €/kWh e 0.50 €/kWh, associati rispettivamente a potenze di ricarica da 7 kW, 22kW e 50kW.
- **Costo della ricarica:** è stato ricavato in funzione della durata della sosta e della tipologia di colonnina considerata.
- **Costi extra:** Sono stati ricavati in funzione della durata della sosta e del tempo eccedente la ricarica, in base alla tipologia di colonnina di ricarica considerata. Per l'alternativa "Ricarica al rientro a casa" questi costi non sono stati quantificati, ma è stata introdotta l'impedenza di dover spostare l'automobile entro le ore 8 del mattino.
- **Distanza pedonale:** è stata introdotta una disutilità legata al cammino a piedi tra la colonnina di ricarica e la destinazione finale. Questa variabile tiene conto della disponibilità di colonnine nei pressi delle origini/destinazioni dello spostamento. Sono stati considerati tre possibili livelli che caratterizzano l'alternativa ricarica al rientro a casa: 5, 10 e 15 min; per la ricarica in destinazione, invece, è stato considerato un unico livello, pari ad un percorso di 10 min tra la colonnina e la destinazione finale.
- **Stato della carica disponibile il giorno successivo, SoC_{gs}:** è stato ricavato in funzione della durata della sosta, della tipologia di colonnina di ricarica presa in considerazione e del fatto che la ricarica avvenga direttamente a casa o sia necessario considerare il tragitto di rientro a casa nel caso di ricarica in destinazione. Se la ricarica avviene a casa è stato assunto che l'utente ricarichi sempre fino a completamento (SoC_{cgs} = 100%), se avviene in destinazione è stato assunto $SoC_{dgs} = SoC_d + \%SoC_d$ – 10%
- **Autonomia disponibile il giorno successivo, km_{gs}:** è stata derivata a partire dal livello di SoC_{gs}.

Nella tabella che segue si riassumono le caratteristiche dei 138 scenari di scelta investigati (sottomessi con opportuna ridistribuzione), per lo più concentrati su valori di SoC_d inferiori al 50%.

Per l'attività [3]

- sono state individuate e descritte le possibili framework modellistiche e le soluzioni modellistiche più idonee alla rappresentazione di comportamenti di ricarica e coerenti con il caso studio.
- Sono state formalizzate le soluzioni modellistiche da testare in fase di specificazione e calibrazione dei modelli di scelta discreta.
- sono state individuate le metodologie di calibrazione da adottare e individuati i possibili software di calibrazione.

N. scenario	Autonomia	Durata sosta	SoC_d	km_d	SoC_c	km_c	Km_{gs}	$\%SoC_c$:	$\%SoC_d$:	SoC_{cgs}	kmc_{gs}	SoC_{dgs}	Km_{dgs}	Tariffa casa	Tariffa dest	Costo ricarica a casa	Costo ricarica in dest	extra costo in dest	cammino a casa	cammino in dest.
1	250	6	0.3	75	0.2	50	60	0.8	0.7	100	250	0.9	225	0.35	0.35	11	10	7	10 min	10 min
2	400	6	0.3	120	0.2	80	30	0.8	0.7	1	400	0.9	360	0.35	0.35	11	10	7	10 min	10 min
3	250	4	0.3	75	0.2	50	30	0.8	0.7	1	250	0.9	225	0.35	0.35	11	10	0	10 min	10 min
4	250	4	0.3	75	0.2	50	30	0.8	0.7	1	250	0.9	225	0.35	0.45	11	13	9	15 min	10 min
5	250	4	0.3	75	0.2	50	60	0.8	0.7	1	250	0.9	225	0.35	0.35	11	10	0	10 min	10 min
6	250	4	0.3	75	0.2	50	60	0.8	0.7	1	250	0.9	225	0.35	0.45	11	13	9	5 min	10 min
7	250	2	0.3	75	0.2	50	30	0.8	0.35	1	250	0.55	140	0.35	0.35	11	5	0	10 min	10 min
8	250	2	0.3	75	0.2	50	30	0.8	0.7	1	250	0.9	225	0.35	0.45	11	13	0	10 min	10 min
9	250	2	0.3	75	0.2	50	30	0.8	0.7	1	250	0.9	225	0.35	0.45	11	13	0	15 min	10 min
10	250	2	0.3	75	0.2	50	60	0.8	0.35	1	250	0.55	140	0.35	0.35	11	5	0	15 min	10 min
11	250	2	0.3	75	0.2	50	60	0.8	0.7	1	250	0.9	225	0.35	0.45	11	13	0	10 min	10 min
12	400	2	0.3	120	0.2	80	30	0.8	0.35	1	400	0.55	220	0.35	0.35	11	5	0	10 min	10 min
13	400	2	0.3	120	0.2	80	30	0.8	0.7	1	400	0.9	360	0.35	0.45	11	13	0	5 min	10 min
14	400	2	0.3	120	0.2	80	30	0.8	0.7	1	400	0.9	360	0.35	0.45	11	13	0	10 min	10 min
15	400	2	0.3	120	0.2	80	60	0.8	0.35	1	400	0.55	220	0.35	0.35	11	5	0	10 min	10 min
16	400	2	0.3	120	0.2	80	60	0.8	0.7	1	400	0.9	360	0.35	0.45	11	13	0	10 min	10 min
17	400	2	0.3	120	0.2	80	60	0.8	0.7	1	400	0.9	360	0.35	0.45	11	13	0	15 min	10 min
18	400	1	0.3	120	0.2	80	30	0.8	0.55	1	400	0.75	300	0.35	0.45	11	10	0	5 min	10 min
19	400	1	0.3	120	0.2	80	60	0.8	0.55	1	400	0.75	300	0.35	0.45	11	10	0	10 min	10 min
20	400	1	0.3	120	0.2	80	60	0.8	0.55	1	400	0.75	300	0.35	0.45	11	10	0	15 min	10 min
21	250	2	0.3	75	0.2	50	30	0.8	0.7	1	250	0.9	225	0.35	0.5	11	14	2	10 min	10 min
22	250	2	0.3	75	0.2	50	30	0.8	0.7	1	250	0.9	225	0.35	0.5	11	14	2	15 min	10 min
23	400	2	0.3	120	0.2	80	60	0.8	0.7	1	400	0.9	360	0.35	0.5	11	14	2	10 min	10 min
24	400	2	0.3	120	0.2	80	60	0.8	0.7	1	400	0.9	360	0.35	0.5	11	14	2	15 min	10 min
25	250	1	0.3	75	0.2	50	30	0.8	0.7	1	250	0.9	225	0.35	0.5	11	14	0	10 min	10 min
26	250	1	0.3	75	0.2	50	30	0.8	0.7	1	250	0.9	225	0.35	0.5	11	14	0	15 min	10 min
27	250	1	0.3	75	0.2	50	60	0.8	0.7	1	250	0.9	225	0.35	0.5	11	14	0	5 min	10 min
28	250	1	0.3	75	0.2	50	60	0.8	0.7	1	250	0.9	225	0.35	0.5	11	14	0	10 min	10 min
29	400	1	0.3	120	0.2	80	30	0.8	0.7	1	400	0.9	360	0.35	0.5	11	14	0	5 min	10 min

N. scenario	Autonomia	Durata sosta	SoC_d	km_d	SoC_c	km_c	Km_{gs}	$\%SoC_c$:	$\%SoC_d$:	SoC_{cgs}	kmc_{gs}	SoC_{dgs}	Km_{dgs}	Tariffa casa	Tariffa dest	Costo ricarica a casa	Costo ricarica in dest	extra costo in dest	cammino a casa	cammino in dest.
30	400	1	0.3	120	0.2	80	60	0.8	0.7	1	400	0.9	360	0.35	0.5	11	14	0	15 min	10 min
31	250	0.5	0.3	75	0.2	50	30	0.8	0.65	1	250	0.85	215	0.35	0.5	11	13	0	5 min	nessuna
32	400	2	0.3	120	0.2	80	60	0.8	0.7	1	400	0.9	360	0.35	0.5	11	14	2	10 min	10 min
33	400	0.5	0.3	120	0.2	80	60	0.8	0.65	1	400	0.85	340	0.35	0.5	11	13	0	5 min	nessuna
34	250	2	0.3	75	0.2	50	30	0.8	0.7	1	250	0.9	225	0.35	0.5	11	14	2	15 min	10 min
35	400	1	0.3	120	0.2	80	60	0.8	0.7	1	400	0.9	360	0.35	0.5	11	14	0	15 min	10 min
36	250	2	0.3	75	0.2	50	30	0.8	0.7	1	250	0.9	225	0.35	0.5	11	14	2	10 min	10 min
37	400	1	0.3	120	0.2	80	30	0.8	0.7	1	400	0.9	360	0.35	0.5	11	14	0	5 min	10 min
38	400	0.5	0.3	120	0.2	80	30	0.8	0.65	1	400	0.85	340	0.35	0.5	11	13	0	nessuna	nessuna
39	250	1	0.3	75	0.2	50	60	0.8	0.7	1	250	0.9	225	0.35	0.5	11	14	0	10 min	10 min
40	250	0.5	0.3	75	0.2	50	60	0.8	0.65	1	250	0.85	215	0.35	0.5	11	13	0	nessuna	nessuna
41	250	1	0.3	75	0.2	50	60	0.8	0.7	1	250	0.9	225	0.35	0.5	11	14	0	5 min	10 min
42	400	1	0.3	120	0.2	80	30	0.8	0.7	1	400	0.9	360	0.35	0.5	11	14	0	10 min	10 min
43	250	1	0.3	75	0.2	50	30	0.8	0.7	1	250	0.9	225	0.35	0.5	11	14	0	15 min	10 min
44	400	1	0.3	120	0.2	80	60	0.8	0.7	1	400	0.9	360	0.35	0.5	11	14	0	10 min	10 min
45	250	1	0.3	75	0.2	50	30	0.8	0.7	1	250	0.9	225	0.35	0.5	11	14	0	10 min	10 min
46	400	2	0.3	120	0.2	80	30	0.8	0.35	1	400	0.55	220	0.35	0.35	11	5	0	15 min	10 min
47	400	2	0.3	120	0.2	80	60	0.8	0.7	1	400	0.9	360	0.35	0.5	11	14	2	15 min	10 min
48	400	6	0.3	120	0.2	80	30	0.8	0.7	1	400	0.9	360	0.35	0.35	11	10	7	5 min	10 min
49	250	6	0.4	100	0.3	75	60	0.7	0.6	1	250	0.9	225	0.35	0.35	10	8	9	10 min	10 min
50	250	0.5	0.4	100	0.3	75	60	0.7	0.6	1	250	0.9	225	0.35	0.5	10	12	0	5 min	nessuna
51	250	6	0.4	100	0.3	75	60	0.7	0.6	1	250	0.9	225	0.35	0.35	10	8	9	15 min	10 min
52	250	1	0.4	100	0.3	75	60	0.7	0.55	1	250	0.85	215	0.35	0.45	10	10	0	10 min	10 min
53	250	1	0.4	100	0.3	75	60	0.7	0.2	1	250	0.5	125	0.35	0.35	10	3	0	10 min	10 min
54	250	1	0.4	100	0.3	75	60	0.7	0.6	1	250	0.9	225	0.35	0.5	10	12	0	10 min	10 min
55	250	0.5	0.4	100	0.3	75	30	0.7	0.6	1	250	0.9	225	0.35	0.5	10	12	0	nessuna	nessuna
56	250	1	0.4	100	0.3	75	30	0.7	0.2	1	250	0.5	125	0.35	0.35	10	3	0	5 min	10 min
57	250	2	0.4	100	0.3	75	60	0.7	0.6	1	250	0.9	225	0.35	0.5	10	12	3	10 min	10 min

N. scenario	Autonomia	Durata sosta	SoC_d	km_d	SoC_c	km_c	Km_{gs}	$\%SoC_c$:	$\%SoC_d$:	SoC_{cgs}	kmc_{gs}	SoC_{dgs}	Km_{dgs}	Tariffa casa	Tariffa dest	Costo ricarica a casa	Costo ricarica in dest	extra costo in dest	cammino a casa	cammino in dest.
58	250	2	0.4	100	0.3	75	60	0.7	0.6	1	250	0.9	225	0.35	0.45	10	11	0	10 min	10 min
59	250	2	0.4	100	0.3	75	60	0.7	0.6	1	250	0.9	225	0.35	0.5	10	12	3	15 min	10 min
60	250	2	0.4	100	0.3	75	60	0.7	0.6	1	250	0.9	225	0.35	0.45	10	11	0	5 min	10 min
61	250	2	0.4	100	0.3	75	60	0.7	0.35	1	250	0.65	165	0.35	0.35	10	5	0	10 min	10 min
62	250	1	0.4	100	0.3	75	30	0.7	0.6	1	250	0.9	225	0.35	0.5	10	12	0	10 min	10 min
63	250	2	0.4	100	0.3	75	30	0.7	0.35	1	250	0.65	165	0.35	0.35	10	5	0	10 min	10 min
64	250	1	0.4	100	0.3	75	60	0.7	0.6	1	250	0.9	225	0.35	0.5	10	12	0	15 min	10 min
65	250	4	0.4	100	0.3	75	30	0.7	0.6	1	250	0.9	225	0.35	0.35	10	8	0	5 min	10 min
66	400	0.5	0.4	160	0.3	120	60	0.7	0.6	1	400	0.9	360	0.35	0.5	10	12	0	nessuna	nessuna
67	400	4	0.4	160	0.3	120	60	0.7	0.6	1	400	0.9	360	0.35	0.35	10	8	0	5 min	10 min
68	400	6	0.4	160	0.3	120	30	0.7	0.6	1	400	0.9	360	0.35	0.35	10	8	9	10 min	10 min
69	400	1	0.4	160	0.3	120	60	0.7	0.6	1	400	0.9	360	0.35	0.5	10	12	0	10 min	10 min
70	400	6	0.4	160	0.3	120	30	0.7	0.6	1	400	0.9	360	0.35	0.35	10	8	9	15 min	10 min
71	400	1	0.4	160	0.3	120	30	0.7	0.55	1	400	0.85	340	0.35	0.45	10	10	0	5 min	10 min
72	400	1	0.4	160	0.3	120	30	0.7	0.55	1	400	0.85	340	0.35	0.45	10	10	0	10 min	10 min
73	400	2	0.4	160	0.3	120	30	0.7	0.6	1	400	0.9	360	0.35	0.45	10	11	0	5 min	10 min
74	400	1	0.4	160	0.3	120	60	0.7	0.6	1	400	0.9	360	0.35	0.5	10	12	0	5 min	10 min
75	400	6	0.4	160	0.3	120	60	0.7	0.6	1	400	0.9	360	0.35	0.35	10	8	9	5 min	10 min
76	400	1	0.4	160	0.3	120	30	0.7	0.6	1	400	0.9	360	0.35	0.5	10	12	0	15 min	10 min
77	400	6	0.4	160	0.3	120	60	0.7	0.6	1	400	0.9	360	0.35	0.35	10	8	9	10 min	10 min
78	400	4	0.4	160	0.3	120	60	0.7	0.6	1	400	0.9	360	0.35	0.35	10	8	0	10 min	10 min
79	400	2	0.4	160	0.3	120	30	0.7	0.6	1	400	0.9	360	0.35	0.5	10	12	3	15 min	10 min
80	250	0.5	0.5	125	0.4	100	60	0.6	0.5	1	250	0.9	225	0.35	0.5	8	10	0	5 min	nessuna
81	250	2	0.5	125	0.4	100	30	0.6	0.5	1	250	0.9	225	0.35	0.5	8	10	3	5 min	10 min
82	250	2	0.5	125	0.4	100	30	0.6	0.5	1	250	0.9	225	0.35	0.5	8	10	3	10 min	10 min
83	250	1	0.5	125	0.4	100	30	0.6	0.2	1	250	0.6	150	0.35	0.35	8	3	0	10 min	10 min
84	250	1	0.5	125	0.4	100	60	0.6	0.5	1	250	0.9	225	0.35	0.5	8	10	0	15 min	10 min
85	250	2	0.5	125	0.4	100	30	0.6	0.35	1	250	0.75	190	0.35	0.35	8	5	0	10 min	10 min
86	250	0.5	0.5	125	0.4	100	30	0.6	0.5	1	250	0.9	225	0.35	0.5	8	10	0	nessuna	nessuna

N. scenario	Autonomia	Durata sosta	SoC_d	km_d	SoC_c	km_c	Km_{gs}	$\%SoC_c$:	$\%SoC_d$:	SoC_{cgs}	kmc_{gs}	SoC_{dgs}	Km_{dgs}	Tariffa casa	Tariffa dest	Costo ricarica a casa	Costo ricarica in dest	extra costo in dest	cammino a casa	cammino in dest.
87	250	2	0.5	125	0.4	100	60	0.6	0.35	1	250	0.75	190	0.35	0.35	8	5	0	5 min	10 min
88	250	2	0.5	125	0.4	100	60	0.6	0.5	1	250	0.9	225	0.35	0.5	8	10	3	10 min	10 min
89	250	2	0.5	125	0.4	100	60	0.6	0.5	1	250	0.9	225	0.35	0.5	8	10	3	15 min	10 min
90	250	2	0.5	125	0.4	100	60	0.6	0.35	1	250	0.75	190	0.35	0.35	8	5	0	10 min	10 min
91	250	1	0.5	125	0.4	100	60	0.6	0.5	1	250	0.9	225	0.35	0.45	8	9	0	10 min	10 min
92	250	1	0.5	125	0.4	100	60	0.6	0.5	1	250	0.9	225	0.35	0.45	8	9	0	5 min	10 min
93	250	1	0.5	125	0.4	100	30	0.6	0.5	1	250	0.9	225	0.35	0.5	8	10	0	5 min	10 min
94	250	2	0.5	125	0.4	100	60	0.6	0.5	1	250	0.9	225	0.35	0.45	8	9	0	5 min	10 min
95	250	1	0.5	125	0.4	100	60	0.6	0.2	1	250	0.6	150	0.35	0.35	8	3	0	5 min	10 min
96	250	1	0.5	125	0.4	100	60	0.6	0.5	1	250	0.9	225	0.35	0.5	8	10	0	10 min	10 min
97	250	1	0.5	125	0.4	100	60	0.6	0.2	1	250	0.6	150	0.35	0.35	8	3	0	10 min	10 min
98	250	1	0.5	125	0.4	100	30	0.6	0.5	1	250	0.9	225	0.35	0.5	8	10	0	10 min	10 min
99	250	2	0.5	125	0.4	100	60	0.6	0.5	1	250	0.9	225	0.35	0.45	8	9	0	10 min	10 min
100	400	4	0.5	200	0.4	160	60	0.6	0.5	1	400	0.9	360	0.35	0.35	8	7	2	5 min	10 min
101	400	0.5	0.5	200	0.4	160	30	0.6	0.5	1	400	0.9	360	0.35	0.5	8	10	0	5 min	nessuna
102	400	4	0.5	200	0.4	160	60	0.6	0.5	1	400	0.9	360	0.35	0.35	8	7	2	10 min	10 min
103	400	1	0.5	200	0.4	160	60	0.6	0.5	1	400	0.9	360	0.35	0.5	8	10	0	10 min	10 min
104	400	1	0.5	200	0.4	160	30	0.6	0.5	1	400	0.9	360	0.35	0.45	8	9	0	10 min	10 min
105	400	1	0.5	200	0.4	160	30	0.6	0.5	1	400	0.9	360	0.35	0.45	8	9	0	5 min	10 min
106	400	1	0.5	200	0.4	160	60	0.6	0.5	1	400	0.9	360	0.35	0.5	8	10	0	5 min	10 min
107	400	2	0.5	200	0.4	160	30	0.6	0.5	1	400	0.9	360	0.35	0.5	8	10	3	10 min	10 min
108	400	2	0.5	200	0.4	160	30	0.6	0.5	1	400	0.9	360	0.35	0.5	8	10	3	15 min	10 min
109	400	1	0.5	200	0.4	160	30	0.6	0.5	1	400	0.9	360	0.35	0.5	8	10	0	15 min	10 min
110	400	1	0.5	200	0.4	160	30	0.6	0.5	1	400	0.9	360	0.35	0.5	8	10	0	10 min	10 min
111	250	4	0.6	150	0.5	125	60	0.5	0.4	1	250	0.9	225	0.35	0.35	7	6	5	5 min	10 min
112	400	4	0.6	240	0.5	200	60	0.5	0.4	1	400	0.9	360	0.35	0.35	7	6	5	10 min	10 min
113	250	2	0.6	150	0.5	125	60	0.5	0.35	1	250	0.85	215	0.35	0.35	7	5	0	5 min	10 min
114	250	2	0.6	150	0.5	125	60	0.5	0.4	1	250	0.9	225	0.35	0.45	7	7	1	10 min	10 min
115	250	1	0.6	150	0.5	125	30	0.5	0.2	1	250	0.7	175	0.35	0.35	7	3	0	5 min	10 min

N. scenario	Autonomia	Durata sosta	SoC_d	km_d	SoC_c	km_c	Km_{gs}	$\%SoC_c$:	$\%SoC_d$:	SoC_{cgs}	kmc_{gs}	SoC_{dgs}	Km_{dgs}	Tariffa casa	Tariffa dest	Costo ricarica a casa	Costo ricarica in dest	extra costo in dest	cammino a casa	cammino in dest.
116	400	1	0.6	240	0.5	200	60	0.5	0.2	1	400	0.7	280	0.35	0.35	7	3	0	15 min	10 min
117	400	1	0.6	240	0.5	200	60	0.5	0.4	1	400	0.9	360	0.35	0.45	7	7	0	15 min	10 min
118	400	2	0.6	240	0.5	200	60	0.5	0.4	1	400	0.9	360	0.35	0.5	7	8	4	5 min	10 min
119	250	1	0.6	150	0.5	125	60	0.5	0.4	1	250	0.9	225	0.35	0.5	7	8	0	10 min	10 min
120	400	0.5	0.6	240	0.5	200	30	0.5	0.4	1	400	0.9	360	0.35	0.5	7	8	0	5 min	nessuna
121	400	4	0.7	280	0.6	240	60	0.4	0.3	1	400	0.9	360	0.35	0.35	6	4	7	10 min	10 min
122	250	2	0.7	175	0.6	150	60	0.4	0.3	1	250	0.9	225	0.35	0.35	6	4	0	5 min	10 min
123	250	2	0.7	175	0.6	150	60	0.4	0.3	1	250	0.9	225	0.35	0.45	6	5	2	10 min	10 min
124	400	2	0.7	280	0.6	240	30	0.4	0.3	1	400	0.9	360	0.35	0.35	6	4	0	15 min	10 min
125	250	1	0.7	175	0.6	150	30	0.4	0.2	1	250	0.8	200	0.35	0.35	6	3	0	5 min	10 min
126	400	1	0.7	280	0.6	240	60	0.4	0.3	1	400	0.9	360	0.35	0.45	6	5	0	15 min	10 min
127	400	2	0.7	280	0.6	240	60	0.4	0.3	1	400	0.9	360	0.35	0.5	6	6	4	5 min	10 min
128	250	1	0.7	175	0.6	150	30	0.4	0.3	1	250	0.9	225	0.35	0.5	6	6	0	10 min	10 min
129	400	0.5	0.7	280	0.6	240	30	0.4	0.3	1	400	0.9	360	0.35	0.5	6	6	0	5 min	nessuna
130	400	2	0.8	320	0.7	280	30	0.3	0.2	1	400	0.9	360	0.35	0.35	4	3	0	15 min	10 min
131	400	1	0.8	320	0.7	280	30	0.3	0.2	1	400	0.9	360	0.35	0.45	4	4	0	10 min	10 min
132	400	1	0.8	320	0.7	280	60	0.3	0.2	1	400	0.9	360	0.35	0.35	4	3	0	5 min	10 min
133	400	1	0.8	320	0.7	280	60	0.3	0.2	1	400	0.9	360	0.35	0.35	4	3	0	10 min	10 min
134	400	2	0.8	320	0.7	280	60	0.3	0.2	1	400	0.9	360	0.35	0.5	4	4	5	15 min	10 min
135	250	1	0.8	200	0.7	175	30	0.3	0.2	1	250	0.9	225	0.35	0.5	4	4	0	10 min	10 min
136	400	1	0.8	320	0.7	280	30	0.3	0.2	1	400	0.9	360	0.35	0.5	4	4	0	5 min	10 min
137	250	0.5	0.8	200	0.7	175	60	0.3	0.2	1	250	0.9	225	0.35	0.5	4	4	0	nessuna	nessuna
138	400	0.5	0.8	320	0.7	280	60	0.3	0.2	1	400	0.9	360	0.35	0.5	4	4	0	nessuna	nessuna

3 Prodotti attesi

Le attività non prevedono prodotti hardware/software.

4 Prodotti sviluppati

Le attività non prevedono prodotti hardware/software.

5 Analisi degli scostamenti su attività e risultati

Non si è osservato alcun scostamento dalle attività previste.

6 Sintesi delle attività svolte

Le attività si sono articolate nell'analisi e classificazione dello stato dell'arte, nella co-progettazione e sperimentazione dell'indagine "preferenze dichiarate" e nella formalizzazione della framework modellistica da sperimentare/implementare a partire dalle indagini sperimentali previste dal progetto. L'analisi dello stato dell'arte è stata condotta sui più recenti contributi esistenti nella letteratura internazionale, la successiva classificazione in coerenza con gli obiettivi operativi del progetto. La co-progettazione si è basata sulla sperimentazione su casi-pilota di differenti ipotesi di indagine che hanno visto il confronto di differenti tipi di: contesti di scelta, strutture di questionario, visualizzazioni grafiche, variabili e i valori da sottoporre. La formalizzazione matematica ha definito l'approccio teorico da perseguire e le formulazioni matematiche più adatte, nonché le tecniche di calibrazione da utilizzare nelle attività successive.

7 Dettaglio delle attività svolte

7.1 Analisi desk dello stato dell'arte dei possibili approcci alla modellazione di comportamenti di ricarica di auto "Full Electric".

L'analisi e modellazione dei comportamenti di ricarica è tema innovativo che, oltre a non potersi basare su di una consolidata letteratura, spesso dipende dal contesto geografico, sociale ed economico.
L'analisi desk si è concentrata sull'analisi dei comportamenti di ricarica di veicoli Full Electric (BEV) e/o ibridi plug-in (PHEV), con particolare attenzione a:

(a) classificazione dei contesti di scelta,
(b) identificazione e classificazione dei possibili processi decisionali e/o delle possibili sequenze decisionali,
(c) identificazione dei determinanti di scelta,
(d) identificazione dei paradigmi interpretativi del fenomeno e degli approcci modellistici adottati

Dall'analisi è disceso che la scelta di ricarica di un veicolo elettrico potesse essere approfondita con riferimento a:

- Tipo di comportamento analizzato
  L'approccio perseguito si definisce aggregato o disaggregato se le variabili utilizzate per descrivere il fenomeno sono relative ad un aggregato di utenti ovvero al singolo utente.
- Tipologia di scelta (Pre-trip/en-route)
  La ricarica di un veicolo elettrico richiede tempistiche non trascurabili, e pertanto è plausibile che gli utenti abbiano una programmazione delle attività di ricarica, compatibile con pattern di spostamento sistematici e vincolati. L'utente, infatti, conosce i chilometri percorsi nell'intervallo di analisi (es. settimana) ed è in grado di programmare giorno e luogo di ricarica del proprio veicolo. In tal caso l'utente sceglie di ricaricare o meno in quella giornata prima di intraprendere il suo viaggio. Al contrario, l'utente potrebbe non avere una programmazione delle attività di ricarica e, in base alle condizioni dello stato della carica, SoC, istantaneo e/o previsione di SoC a fine spostamento (o catena spostamenti) decide se ricaricare o meno durante il viaggio.
- Contesto di scelta
  A seconda dell'obiettivo dello studio si potrà decidere di esaminare contesti di scelta differenti, per i quali potrebbe avere senso prendere in considerazione la possibilità di ricarica a casa, a lavoro, su suolo pubblico o più di esse.
- Alternative di scelta
  Le alternative di scelta da prendere in considerazione possono essere di differente tipologia a seconda del contesto investigato. Ad esempio, considerare la modalità di ricarica ultra-fast potrebbe risultare utile se ci si concentra sull'analisi di lunghi spostamenti e meno utile se ci si focalizza su brevi spostamenti.
- Paradigma interpretativi e approcci modellistici
  Le scelte degli utenti sono il risultato di un processo decisionale piuttosto complesso e che può essere interpretato ricorrendo ad un approccio economico, psicologico o statistico (da preferire a seconda dell'obiettivo dello studio). I differenti paradigmi interpretativi si traducono in forme modellistiche diverse, la cui scelta dipende dall'obiettivo del caso studio, dalla correlazione tra le alternative, dai fattori che si desidera analizzare ecc.
- *Determinanti di scelta*
  Molteplici sono i fattori che influenzano la scelta di ricaricare un veicolo elettrico; tuttavia, la loro significatività potrebbe variare in base al contesto esaminato.

Si rimanda al capitolo 2 per la tabella riassuntiva di diversi studi analizzati focalizzando sugli elementi fin qui discussi.

7.2 Supporto alla ottimizzazione della progettazione ed esecuzione dell'indagine campionaria

La seconda attività si è concentrata su:

- individuazione delle variabili di scelta più significative nel definire i comportamenti di ricarica dei BEV in ambito urbano;
- identificazione dei possibili scenari operativi più rilevanti;
- definizione della struttura, contenuti e presentazione degli scenari funzionali ad una più efficace divulgazione del questionario, nonché coerenti con i possibili approcci alla modellazione.

Tali aspetti sono stati analizzati contestualmente, data la forte dipendenza reciproca.

I possessori di veicoli elettrici potrebbero gestire gli eventi di carica seguendo due strategie di comportamento:

- Totalmente preventivo: l'utente decide prima di spostarsi se e dove ricaricare.
- Preventivo-adattivo: l'utente decide anche durante lo spostamento.

Ciascuna strategia dipende dall'offerta di ricarica presente sul territorio. Per individuare le possibili modalità di ricarica in maniera esaustiva sono state considerate 3 diverse fasi in cui effettuare la ricarica, rispetto allo spostamento da compiere: in origine, in destinazione, lungo il percorso. In ciascuna di queste fasi ci si può avvalere di modalità di ricarica diverse, private o pubbliche (Figura 1).

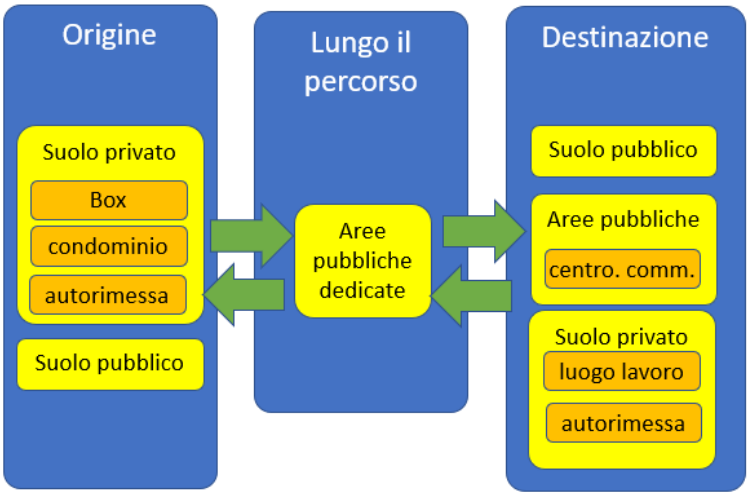

Figura 1. Offerta di ricarica – approccio esaustivo

Tenendo conto dell'offerta di ricarica presente sul territorio (assumendo che la ricarica pubblica sia sempre disponibile sia in destinazione che in origine) questo si traduce in una molteplicità di combinazioni tra tipologia di ricarica e fase di ricarica. Prendendo in considerazione il contesto di riferimento investigato ed i risultati dell'indagine RP effettuata in collaborazione con ENEA e SCRAT (la cui discussione esula da questa linea di attività) e rivolta ai possessori di veicoli elettrici ed ibridi nelle principali città metropolitane italiane, 4 sono risultati i macrocontesti operativi di maggiore interesse:

- A1: DESTINAZIONE- CASA (SUOLO PRIVATO)
- A2: DESTINAZIONE- CASA (SUOLO PUBBLICO)
- A3: CASA (SUOLO PRIVATO) - LAVORO[1]
- A4: CASA (SUOLO PUBBLICO) – LAVORO

[1] Sfruttando colonnine poste nel parcheggio aziendale ed usufruendo della ricarica gratuita o comunque a tariffe agevolate (scenario attuale italiano)

Anche rispetto ai macrocontesti operativi di maggiore interesse va considerato che ciascuna offerta di ricarica può caratterizzarsi in base alla potenza erogata (che definisce una modalità di ricarica lenta, accelerata, fast, ultra-fast). Inoltre, la possibilità di preferire una ricarica in origine, in destinazione o lungo il percorso è strettamente vincolata alle caratteristiche del veicolo elettrico preso in considerazione (capacità della batteria e relativa autonomia con una carica completa), alle abitudini di spostamento e ai pattern di mobilità (es. Home-based, Trip-chain).
Pertanto, rispetto ai macro contesti operativi di riferimento, data anche la frammentarietà (in termini di determinanti di scelta da prendere in considerazione) con la quale gli stessi avrebbero dovuto essere trattati, sono state necessarie delle ulteriori considerazioni, al fine di poter ridurre il numero di scenari da analizzare complessivamente.
Per contesti A1 e A3 si è assunto che la certezza di avere disponibile la ricarica privata a casa limitasse la scelta di ricaricare altrove a soli contesti emergenziali (es. SoC bassi e lunghe percorrenze).
La possibilità di ricaricare il proprio veicolo a lavoro, è risultata di dubbio interesse per due motivi:

(i) in un'ottica di penetrazione di mercato spinta dei veicoli elettrici, la possibilità di ricaricare a lavoro potrebbe diventare rappresentativa solo di una nicchia di possessori di BEV.

(ii) Nella stessa ottica è difficile ritenere che le aziende possano continuare a fornire questo servizio di ricarica a tariffe agevolate o gratuite. Di conseguenza il servizio potrebbe risultare direttamente paragonabile a quello di una ricarica in destinazione.

Di contro, la possibilità che un utente acquisti un veicolo elettrico contando sulla possibilità di ricaricare lo stesso su suolo pubblico nei pressi della propria abitazione si è ritenuta non trascurabile anche in un'ottica di sviluppo futuro; è stato quindi deciso di concentrare l'attenzione sul contesto operativo che prevedesse la scelta di ricarica tra la destinazione (suolo pubblico) e l'origine (sempre su suolo pubblico), supponendo un comportamento degli utenti preventivo-adattivo.
Rispetto al contesto di riferimento è stato necessario definire:

- L'approccio di scelta
- L'insieme di scelta
- I determinanti di scelta
- La migliore modalità di rappresentazione dell'indagine

Tali punti sono stati analizzati contestualmente, anche avvalendosi dei risultati di un'indagine pilota presso UNISA e di due focus group svolti congiuntamente con ENEA e SCRAT.
È stato previsto un approccio di scelta sequenziale:

- Su un primo livello l'utente sceglie se ricaricare la propria auto in giornata. Le informazioni che veicolano la scelta riguardano:
  - Il SoC di arrivo in destinazione, SoC_d/autonomia di arrivo in destinazione, km_d
  - Il SoC previsto di rientro a casa, SoC_c / autonomia prevista di rientro a casa, km_c
  - I km che si prevede di percorrere il giorno successivo, Km_{gs}.
- Sul secondo livello l'utente sceglie dove ricaricare, confrontando sempre due alternative: Ricarica in destinazione, durante la sosta VS Ricarica notturna, al rientro a casa. I determinanti che veicolano tale scelta sono:
  - La durata della sosta
  - Il SoC disponibile a casa il giorno successivo, SoC_{cgs}/autonomia disponibile a casa il giorno successivo, km_{cgs}
  - La tariffa di ricarica
  - Il costo della ricarica
  - Eventuali costi extra per occupazione della colonnina oltre il tempo necessario alla ricarica
  - Eventuali disutilità legati alla necessità di liberare la colonnina
  - Eventuali disutilità legati alla distanza della colonnina rispetto alla propria destinazione finale (destinazione generica o casa)

I contesti esaminati pertanto risultano dipendenti da molteplici fattori, e per tale motivo l'insieme di scelta è stato vincolato soltanto a due alternative. Tuttavia, si è tenuto conto della possibilità di avere modalità di ricarica differenti (più lenti o più veloci) considerando la variabilità dei singoli attributi.

Data la complessità dell'indagine e l'inesperienza dei possibili rispondenti rispetto ai BEV, i contesti di scelta presentati sono stati preceduti da alcune slides informative, volte a chiarire il significato di ciascuno degli attributi che caratterizzano le scelte.
Ricorrendo a tecniche di riduzione dei piani fattoriali e scartando direttamente contesti di scelta in cui una delle alternative risultasse dominata dall'altra sono stati costruiti 138 scenari, riassunti nella tabella riportata al capitolo 2.

7.3 Individuazione degli approcci e specificazione delle possibili formulazioni matematiche per il caso di specie.

Il processo di scelta che si è definito prevede due dimensioni di scelta:
(I) ricarico o non ricarico il giorno dello spostamento;
(II) ricarico in destinazione o al ritorno a casa.
La prima dimensione presenta un insieme di scelta binario per il quale e ragionevole ipotizzare due possibili paradigmi interpretativi:
a) utilitaristico,
b) basato sulla teoria del prospetto.
Il primo paradigma, fortemente consolidato nell'analisi e modellazione di comportamenti di mobilità e spostamento, può contare su di una famiglia di formulazioni modellistiche in grado di adattarsi a differenti contesti comportamentali che, solitamente, emergono solamente a valle delle indagini motivazionali.
Inoltre, la calibrazione dei parametri del modello è consolidata, molto flessibile e, tecnicamente, facilmente aggiornabile in presenza di nuove osservazioni sperimentali.
Il secondo paradigma consente di cogliere un aspetto cruciale nei comportamenti di ricarica, ovvero la propensione (o meno) al rischio. Tuttavia, modelli di scelta basati sulla teoria del prospetto hanno avuto una limitata diffusione nella modellazione operativa di comportamenti di spostamento/ mobilità. Non possono, infatti, contare su un consolidato quadro metodologico inerente alla calibrazione dei parametri e, in particolare, il loro utilizzo in scenari di simulazione operativi è attualmente tema di ricerca.
Premesso che la teoria del prospetto sarà investigata ai fini di pura ricerca, i contesti e gli scenari oggetto di indagine saranno affrontati perseguendo il paradigma utilitaristico nella sua accezione aleatoria ed investigando l'efficacia di modelli omoschedastici o eteroschedastici, la cui formalizzazione è di seguito sintetizzata.

<u>Modelli omoschedastici: Logit Multinomiale (MNL)</u>
È derivato assumendo che le utilità percepite di ciascuna alternativa siano rappresentate mediante variabili aleatorie i.i.d come variabili aleatoria di Gumbel con media pari ai valori delle utilità sistematiche e varianza di parametro θ. La probabilità di scegliere la generica alternativa j appartenente all'insieme di scelta I = (1,2…m) può essere espressa in forma chiusa come:

$$p[j] = \frac{exp\left(\frac{V_j}{\theta}\right)}{\sum_{k=1}^{m} exp\left(\frac{V_k}{\theta}\right)}$$

<u>Modelli eteroschedastici: Mixed Logit (MXL)</u>
Con la dicitura Mixed-Logit (MXL), in realtà, si intende tutta una famiglia di modelli (*error components*, *Logit kernel*, *hybrid Logit*, *random coefficients*) caratterizzati da un'aliquota di utilità sistematica e da un'aliquota di utilità aleatoria. L'aliquota aleatoria è costituita da un residuo aleatorio distribuito come una variabile di Gumbel (~ 0, $[\pi\theta]^2/6$) e da attributi reali con coefficienti distribuiti secondo leggi di probabilità note ovvero da residui aleatori aggiuntivi. La probabilità di scelta della generica alternativa *j*, è la media delle probabilità

di scelta Logit con un certo vettore di parametri, pesata sulle probabilità di osservare il vettore dei parametri stesso.

$$p[j] = \int \frac{exp\left[V_j(\beta/\theta)\right]}{\sum_{m=1}^{M} exp\left[V_m(\beta/\theta)\right]} \cdot f(\beta/\theta) \cdot d(\beta/\theta)$$

I modelli MXL consentono di superare l'ipotesi di omoschedasticità del modello MNL mediante un'opportuna specificazione delle funzioni dell'utilità percepita. A tal fine è possibile distinguere due distinte formulazioni

(a) - Componenti di errore (γ_{gj})
$U_j = \Sigma_k \beta_k X_{kj} + \Sigma_g \gamma_{gj} + \varepsilon_j$

(b) - Coefficienti distribuiti (η_h)
$U_j = \Sigma_k \beta_k X_{kj} + \Sigma_h \eta_h Y_{hj} + \varepsilon_j$

Modelli eteroschedastici: Probit Logit (MNP)

La formulazione modellistica più generale e flessibile per la simulazione del comportamento di scelta tra un numero discreto di alternative è sicuramente rappresentata dal modello Probit (MNP). Benché appropriato a simulare funzioni di utilità eteroschedastiche e correlazioni non vincolate, il modello Probit è caratterizzato da una forma non chiusa e da problemi di identificazione dei parametri della matrice di covarianza che ne possono limitare i contesti applicativi. La probabilità di scelta della alternativa *j* per il decisore *i* può essere espressa formalmente come la probabilità congiunta che l'utilità U_j^i assuma il valore compreso in un intervallo infinitesimo e che le utilità delle altre alternative abbiano un valore minore. Evidentemente tale probabilità va integrata per tutti i valori che U_j può assumere. Si può pertanto esprimere nella seguente forma simbolica:

$$p^i[j] = \int_{U_1^i < U_j^i} \cdots \int_{U_j^i = -\infty}^{+\infty} \cdots \int_{U_m^i < U_j^i} \frac{exp\left[-1/2\left(\boldsymbol{U}^i - \boldsymbol{V}^i\right)^T \Sigma^{-1}\left(\boldsymbol{U}^i - \boldsymbol{V}^i\right)\right]}{\left[(2\pi)^N \, det(\boldsymbol{\Sigma})\right]^{1/2}} dU_1 \ldots dU_m$$

Tali modelli potranno essere impiegati per descrivere sia le scelte di primo che di secondo livello.
La specificazione delle funzioni di utilità e, quindi la individuazione degli attributi rilevanti, sarà il prodotto delle attività di calibrazione-validazione che condotte sulle osservazioni sperimentali dell'indagine SP.
Per quanto concerne le procedure di calibrazione, svolte con l'ausilio di software open-source del tipo Python-Biogeme o Apollo, si adotterà la tecnica della massima verosimiglianza (per i modelli logit multinomiale) o della massima verosimiglianza simulata (per i modelli eteroschedastici).

8 Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte

Non si sono rese necessarie consulenze

9 Pubblicazioni scientifiche

Le attività non hanno ancora prodotto pubblicazioni scientifiche.

10 Eventi di disseminazione

Nessun evento di disseminazione già svolto.