



UNIONE EUROPEA
Fondo Sociale Europeo
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Avviso 1735 del 13.07.2017 MIUR

Progetti di Ricerca Industriale e Sviluppo Sperimentale nelle 12 Aree di Specializzazione individuate dal PNR 2015-2020

Sviluppo e validazione di modelli *data driven* in grado di simulare la domanda di energia di colonnine di ricarica per auto elettriche appartenenti a diverse classi di utenti finali

Rapporto Tecnico di Ricerca Industriale D3.6a



Avviso	Avviso 1735 del 13.07.2017 MIUR
Codice progetto	ARS01_01259
Nome del progetto	Community Energy Storage Gestione Aggregata di Sistemi di Accumulo dell'Energia in Power Cloud
Acronimo	ComESto
Documento	D3.6a
Tipologia	Rapporto Tecnico
Data di Rilascio	15/09/2021
Obiettivo Realizzativo	OR3
Attività Realizzativa	A3.6
Soggetti Beneficiari Proponenti	UNIVPM, ENEA
Elaborato (Nome, Cognome – Soggetto Beneficiario)	Gabriele Comodi – UNIVPM Lucio Ciabattoni – UNIVPM Stefano Cardarelli – UNIVPM Viviana Cigolotti – ENEA Marialaura Di Somma – ENEA Giorgio Graditi – ENEA
Verificato (Nome, Cognome – Soggetto Beneficiario)	Viviana Cigolotti – ENEA
Approvato (Nome, Cognome – Soggetto Beneficiario)	Membri del PEB

INDICE

Indice delle figure	4
Executive Summary.....	5
1 Introduzione.....	6
2 STATO DELL'ARTE.....	7
2.1Open data set.....	8
2.1.1 Parco circolante dei veicoli italiani	8
2.1.2 Open charge map	9
2.1.3 VED – Vehicle Energy Dataset	10
2.1.4 Household data (Open power systems data).....	11
2.1.5 EVs Charging stations data (SOFIE project)	12
2.2Software di simulazione EV.....	13
2.2.1 Letteratura.....	13
2.2.2 Software	14
2.2.3 Conclusioni e principali limitazioni evidenziate nei dataset e nei software esistenti	15
3 ePopSimulator.....	17
3.1L'ecosistema veicolo elettrico	17
3.1.1 Veicolo elettrico.....	17
3.1.2 Colonnina di ricarica	17
3.1.3 Utente.....	18
3.1.4 Modalità di interazione tra i fattori in ePopSimulator.....	18
3.2Input e Funzionamento.....	19
3.2.1 Consumer Class.....	19
3.3Input / Output.....	21
3.3.1 Variabili del Simulatore	21
3.3.2 Funzionamento interno del Simulatore	23
3.3.3 Output del Simulatore	24
3.4Risultati	25
3.5Files prodotti dalla simulazione	30
3.6Specifiche.....	33
4 Possibili input data driven per modellazione distretti.....	34
5 Conclusioni.....	36
6 Bibliografia	38

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 - Estratto del dataset	8
Figura 2. Dati disponibili tramite interfaccia grafica	9
Figura 3. Visualizzazione dei dati nella pubblicazione annessa.....	10
Figura 4. Estratti del dataset	11
Figura 5: Schema della routine quotidiana.....	20
Figura 6: Variabili interne di simulazione di un singolo soggetto per 7 giorni. Le tre tabelle corrispondono ai dati relativi alle ricariche a casa (notte), all'ora di pranzo (casa) e alla colonnina pubblica (totem). In questo esempio particolare, il soggetto avendo una commuting distance superiore alla massima impostata nel simulatore, non effettuerà ricariche domestiche all'ora di pranzo, risultando nella tabella 2 (lunch) con soli zeri.....	23
Figura 7 – Esempio di output di profilo settimanale di carica della colonnina	25
Figura 8 -. File di configurazione manuale utilizzato per effettuare la simulazione di un singolo consumatore.	25
Figura 9 - File “cars-ranges.xlsx” contenente le diverse opzioni di veicoli elettrici con prezzi, capacità della batteria e autonomia dichiarata.	26
Figura 10 - Schermata finale di configurazione dove l'utente può inserire il numero di consumatori, la durata della simulazione (in giorni) e il tempo di campionamento (in minuti).	27
Figura 11 - Schermata di accesso ai risultati di ePopSimulator.....	27
Figura 12 - Grafico cumulativo del consumer simulato.	28
Figura 13 - Primo plot mostrato cliccando il button “Show Aggregate” (utilizzabile anche nel caso del singolo consumer) con energia e potenza.....	28
Figura 14 - Secondo plot mostrato cliccando il button “Show Aggregate” (utilizzabile anche nel caso del singolo consumer) con le aree di SOC e MINSOC.	29
Figura 15 - Terzo plot mostrato cliccando il button “Show Aggregate” (utilizzabile anche nel caso del singolo consumer) con le aree di Flessibilità disponibile in ottica V2G (area rosa, Flex UP) e G2V (area rossa, Flex Down).	30
Figura 16 - Files che vengono scaricati cliccando il button “Download JSON”.....	31
Figura 17 – Files che vengono scaricati cliccando il button “Download CSV”.	33
Figura 18 - Rappresentazione scatter fasce orarie 10-11 e 17-18.....	34
Figura 19 - Distribuzione di probabilità fasce orarie 10-11 e 17-18	34
Figura 20 - K-means clustering con diciotto cluster.....	35
Figura 21 – Cluster di probabilità di ricarica per il distretto oggetto di indagine	36

EXECUTIVE SUMMARY

All'interno del progetto ComESto, l'attività A3.6 dal titolo "Analisi e definizione di soluzioni di accumulo distribuito come soluzione di distributore ibrido per la ricarica di veicoli elettrici di tipo V2G" ha lo scopo di studiare l'utilizzo delle batterie dei veicoli elettrici come storage distribuiti a servizio degli utenti finali e/o della rete elettrica, sia in forma singola che in forma aggregata.

Inizialmente, l'attività A3.6 è stata pensata per lo sviluppo di modelli data driven per la simulazione dei profili di consumo di colonnine di ricarica per veicoli elettrici. Tuttavia, l'indagine bibliografica effettuata i primi mesi del progetto ha evidenziato sia la mancanza di data set consistenti per poter sviluppare robusti modelli di simulazione data driven, sia la mancanza di strumenti di simulazione di profili di ricarica di colonnine per lo studio dei futuri impatti della mobilità elettrica (ad esempio sui consumi elettrici, o sulla rete elettrica) o per lo sviluppo di strategie ottimali di gestione.

Per questo motivo l'attività A3.6 si è concentrata sullo sviluppo di un simulatore di colonnine di ricarica che fosse piuttosto versatile e che permettesse la simulazione di singole stazioni di ricarica, sia pubbliche che private.

Il risultato finale dell'attività A3.6 è un software di simulazione online (ePopSimulator) di profili di consumo di un parco, qualsivoglia grande, di colonnine di ricarica pubbliche e private. Il software di simulazione prevede in ingresso dati statistici basati su classi di consumatori (ad esempio il reddito, occupazione...) e sulle loro abitudini (ad esempio: distanza media giornaliera percorsa, distanza dal luogo di lavoro...). Grazie a questi dati viene elaborata una popolazione di veicoli elettrici (modello - scelto in base al reddito -, capacità batteria, autonomia dichiarata, consumo medio) associati a tipologie di consumatori (lavoratori e non, pendolari e non, che ritornano a pranzo e non...) che possono ricaricare in differenti stazioni di ricarica (differente potenza impegnata, a casa, in ufficio in una colonnina pubblica).

Come output, il simulatore fornisce il profilo di energia e di potenza della singola colonnina, l'energia accumulata all'interno della batteria dell'autoveicolo connesso alla colonnina, l'energia minima richiesta dall'utente al momento della disconnessione del veicolo dalla colonnina per soddisfare le proprie esigenze di percorrenza, la flessibilità di scarica o di carica che la batteria può mettere a disposizione di un eventuale energy management system della nanorete residenziale o della rete elettrica nazionale, nel caso di colonnina pubblica.

In questo deliverable, vengono descritte nel dettaglio le funzionalità del simulatore di una singola colonnina di ricarica e vengono presentati i risultati di alcune simulazioni per dimostrarne le potenzialità in vista di future applicazioni in contesti di aggregazione.

L'ultima parte del deliverable presenta anche un'analisi dei dati su data set reali per dimostrare come modelli data driven su distretti reali possano essere utilizzati come input per il modello di simulazione, al posto di dati ipotizzati o provenienti da indagini statistiche.

1 INTRODUZIONE

All'interno del progetto ComESTo, l'attività A3.6 dal titolo "Analisi e definizione di soluzioni di accumulo distribuito come soluzione di distributore ibrido per la ricarica di veicoli elettrici di tipo V2G" ha lo scopo di studiare l'utilizzo delle batterie dei veicoli elettrici come storage distribuiti a servizio degli utenti finali e/o della rete elettrica, sia in forma singola che in forma aggregata.

L'attività 3.6 è stata suddivisa in tre sotto-attività corrispondenti ad altrettanti deliverables.

In questo primo deliverable viene riportata l'attività di sviluppo di un simulatore di profili di consumo di colonnine di ricarica di veicoli elettrici sia pubbliche che private (ePopSimulator).

Nel secondo deliverable, dal titolo "Sviluppo di una metodologia per poter modellare un aggregato di colonnine di ricarica per auto elettriche come un sistema di storage equivalente", verrà descritta l'attività che ha portato ad estendere le funzionalità del simulatore alla simulazione di un parco di colonnine di ricarica in modo tale da poter modellare il profilo di consumo dal punto di vista di un Aggregatore che potrà gestirle come uno storage equivalente o come un virtual power plant.

Nel terzo deliverable, dal titolo "Sviluppo di una strategia per poter gestire in modo ottimale il consumo aggregato di un gruppo di colonnine di ricarica elettrica con l'obiettivo di limitare i picchi di domanda giornalieri e minimizzare i costi di gestione", verrà descritta l'attività che ha portato allo sviluppo della funzione "Aggregator online Assistant" (AOA), una funzione Simulink che permette di interfacciare i risultati dei profili di colonnine aggregati sviluppati dal software presentato nei deliverable precedenti con software di ottimizzazione esterni. Nel terzo deliverable verrà presentata una metodologia per poter identificare le priorità di attivazione che il soggetto Aggregatore dovrà assegnare ai veicoli elettrici per attuare strategie di gestione delle colonnine di ricarica al fine di soddisfare determinate funzioni obiettivo (peak shaving e minimizzazione dei costi di ricarica).

Nell'attività 3.6 non sono state approfondite strategie ed algoritmi di Demand Response per i veicoli elettrici in ambito VPP, in quanto oggetto dell'A.5.2.

Questo deliverable riporta l'attività di sviluppo di un simulatore di profili di colonnine di ricarica singola. Inizialmente, l'attività A3.6 è stata pensata per lo sviluppo di modelli data driven per la simulazione dei profili di consumo di colonnine di ricarica per veicoli elettrici. Tuttavia, l'indagine bibliografica effettuata i primi mesi del progetto ha evidenziato sia la mancanza di data set consistenti per poter sviluppare robusti modelli di simulazione data driven, sia la mancanza di strumenti di simulazione di profili di ricarica di colonnine per lo studio dei futuri impatti della mobilità elettrica (ad esempio sui consumi elettrici, o sulla rete elettrica) o per lo sviluppo di strategie ottimali di gestione.

Conoscere il profilo di ricarica di un veicolo elettrico sta diventando un aspetto sempre più importante visto il ruolo che la mobilità elettrica assumerà nei prossimi anni. In particolare, il singolo veicolo collegato alla microrete domestica potrà, in futuro, essere impiegato al pari di una batteria e potrà gestire il proprio profilo di carica e scarica in modo da interagire in maniera intelligente con il sistema di energy management dell'ecosistema domestico. Per questo, in assenza di dati reali, lo sviluppo di un valido simulatore è importante per simulare le interazioni tra veicolo elettrico ed edificio/rete elettrica (vehicle-to-building, V2B; vehicle-to-grid, V2G) e viceversa (building-to-vehicle, B2V; grid-to-

vehicle, G2V) e per sviluppare, quindi, strategie di demand side management/flexibility che coinvolgano anche la colonnina di ricarica.

Il presente documento è strutturato come segue: dopo l'introduzione, il capitolo 2 riporta l'indagine bibliografica sui software di simulazione dei veicoli elettrici e sugli open dataset con dati reali utili per la costruzione di modelli data driven; il capitolo 3 descrive le funzionalità, i dati in ingresso e quelli in uscita del simulatore sviluppato; il capitolo 4 riporta un esempio di modellazione data driven degli input in ingresso al simulatore, da poter utilizzare in sostituzione dei dati statistici in caso di presenza di dati reali monitorati; infine il capitolo 5 riporta le Conclusioni dell'attività svolta.

2 STATO DELL'ARTE

La fase iniziale del progetto è stata dedicata all'analisi dello stato dell'arte per individuare sia i data set disponibili, sia i software liberi o commerciali che includono, tra le loro caratteristiche, anche la modellazione/gestione (ottimale) di veicoli elettrici e delle logiche di gestione come sistemi di accumulo distribuiti nelle reti elettriche.

Obiettivo dell'indagine bibliografica su open dataset è stato quello di individuare basi di dati utilizzabili per modellare l'impatto dei veicoli elettrici (EVs) all'interno di reti di distribuzione elettrica più complesse, da microgrid a livello edificio ad aggregati di più grande dimensione. La tendenza generale individuata è che ancora non esistono data set aperti di dimensioni tali da poter sviluppare modelli data driven. I motivi sono diversi: primo, la mobilità elettrica non è ancora molto diffusa; secondo, la maggior parte dei dati appartengono a flotte private o a gestori di colonnine e non sono disponibili; terzo, i dati dei punti di ricarica residenziali non sono disponibili. Il problema della mancanza di dataset di grandi dimensioni nei riguardi di questo tipo di tecnologia (in termini di potenza/energia impiegata, tempi di carica/scarica...) ha portato alla necessità di creare modelli e annessi software di simulazione per la generazione dati provenienti da EV e aggregati di EV.

Per quanto riguarda i dataset open individuati, questi si riferiscono a vari aspetti relativi alla modellazione della presenza di EVs in contesti urbani. Questi possono distinguersi in tre tipologie: i) dati relativi alla modellazione per un parco auto realistico; ii) dati sulla diffusione di colonnine di ricarica; iii) dati sull'utilizzo tipo di veicoli elettrici.

Per quanto riguarda i software di simulazione di veicoli elettrici, l'attività di indagine bibliografica si è concentrata principalmente su due linee: i) l'analisi dello stato dell'arte dei software liberi o commerciali che includono, tra le loro caratteristiche, anche la modellazione/gestione (ottimale) di veicoli elettrici e delle logiche di gestione come sistemi di accumulo distribuiti nelle reti elettriche; ii) l'analisi dello stato dell'arte dei modelli per la simulazione di veicoli elettrici e delle possibili logiche di gestione come sistemi di accumulo distribuiti nelle reti elettriche.

Nei seguenti sottoparagrafi vengono riportati i risultati principali dell'indagine bibliografica.

2.1 Open data set

In questo sottoparagrafo vengono riportati i principali dataset individuati. Per ciascun data set vengono riportati: ente gestore; link al dataset; caratteristiche; descrizione; possibile impiego e limitazioni all'utilizzo.

2.1.1 Parco circolante dei veicoli italiani

Ente:

Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti

Link:

<http://dati.mit.gov.it/catalog/dataset/parco-circolante-dei-veicoli>

Caratteristiche:

Licenze: Creative Commons

Ultimo aggiornamento: 5/3/2020

Dimensione: ~100-400 MB per regione

Descrizione dataset:

Dataset gestito dalla motorizzazione civile. Contiene tutto il parco circolante dei veicoli su strada (sia autoveicoli che motoveicoli), registrati in Italia regione per regione. Per ogni veicolo registrato vengono riportate diverse caratteristiche, delle quali molte utili alla modellazione di un parco veicoli realistico. Vengono ad esempio riportate cilindrata, tipi di alimentazione, potenza, emissioni specifiche etc. per quanto riguarda la caratterizzazione del veicolo; il tutto assieme alla destinazione di utilizzo e il comune di registrazione.

id	progressivo	tipo_veicolo	destinazione	comune_residenza	provincia_residenza	regione_residenza	sexo	marca	cilindrata	alimentazione
29090809	52165118	A	AUTOCARRO PER TRASPORTO DI COSE	FERMO	FERMO	MARCHE	F	GREAT WALL	2351	B/GPL
29090808	52165103	A	AUTOVETTURA PER TRASPORTO DI PERSONE	MONDOLFO	PESARO	MARCHE	F	CHEVROLET	796	BENZ
29090807	52165042	A	AUTOVETTURA PER TRASPORTO DI PERSONE	CAGLI	PESARO	MARCHE	M	FIAT - INNOCENTI	1248	GASOL
29090806	52165039	A	AUTOVETTURA PER TRASPORTO DI PERSONE	PESARO	PESARO	MARCHE	F	FIAT - INNOCENTI	1368	BENZ
29090805	52164992	A	AUTOVETTURA PER TRASPORTO DI PERSONE	MONTECOSARO	MACERATA	MARCHE	M	RENAULT	1149	BENZ
29090804	52164930	A	AUTOVETTURA PER TRASPORTO DI PERSONE	OSIMO	ANCONA	MARCHE	F	TOYOTA	2231	GASOL

Figura 1 - Estratto del dataset

Possibile impiego:

Il dataset può essere utile alla modellazione di parchi di EV realistici che rispecchino le caratteristiche del parco di veicoli convenzionali. Questo perché anche gli stessi EV iniziano a presentare un'ampia gamma di modelli commerciali, dunque con le relative differenze in performance, capacità batteria etc come evidenziato nel precedente dataset. Sarebbe dunque possibile stimare la composizione di un potenziale parco auto durante il progressivo switch a veicoli ibridi plug-in e completamente elettrici. Questo potrebbe essere fatto sotto l'assunzione che la caratterizzazione del parco auto corrente in termini di uso dei veicoli, cilindrata etc. si rispecchi in una caratterizzazione simile durante uno switch progressivo. In particolare, la modellazione si potrebbe completare qualora il dataset venisse incrociato con altri di facile reperibilità relativi, ad esempio, al costo di acquisto dei veicoli e categorie di reddito degli utenti.

Limitazioni:

Non ci sono particolari limitazioni qualora i dati vengano usati per modellare la composizione di un parco auto di veicoli elettrici realistico per il contesto italiano, soprattutto dato l'aggiornamento frequente del dataset.

2.1.2 Open charge map

Ente:

Open Charge Map

Link:

<https://openchargemap.org/site>

Caratteristiche:

Licenze: Creative Commons

Ultimo aggiornamento: continuo

Dimensione: ---

Descrizione dataset:

Portale interattivo riportante stazioni di ricarica in tutto il mondo sulla base di segnalazione di utenti. Per ogni stazione forniti vari dettagli tra cui indirizzo, numero di telefono del gestore, tipo di attacco etc. Possibilità di scaricare dati riguardo la posizione GPS delle colonnine tramite API.

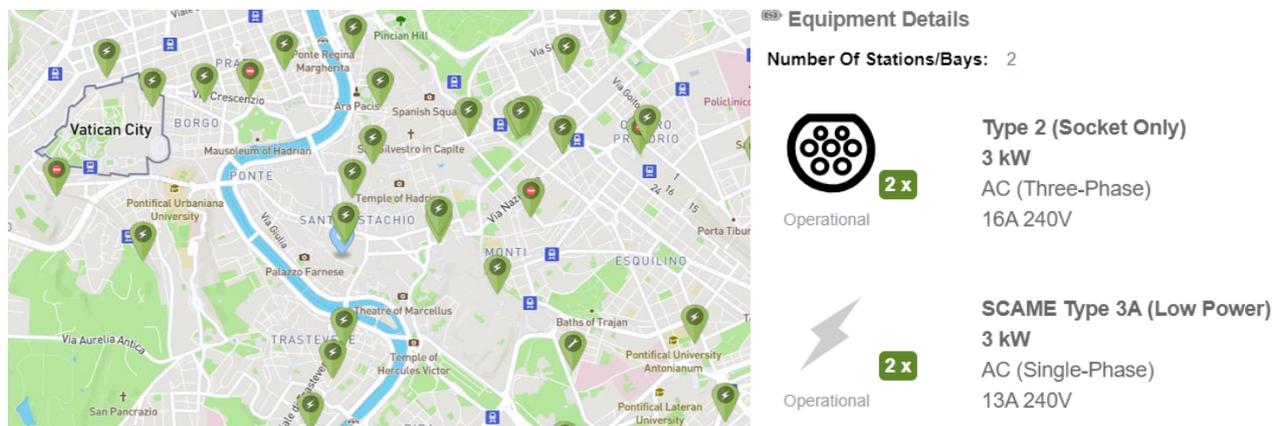


Figura 2. Dati disponibili tramite interfaccia grafica

Possibile impiego:

Da utilizzare in combinazione con altri dataset per modellare/stimare carichi realistici su reti elettriche cittadine considerando un'alta risoluzione spaziale. Esempi applicativi potrebbero essere la stima del carico nel tempo qualora si avessero dati sul traffico e/o sull'utilizzo di colonnine pubbliche in contesti simili, oppure la valutazione di problemi sulla rete elettrica qualora si avessero i dati sulla configurazione della rete elettrica in bassa tensione delle aree di interesse.

Limitazioni:

Le principali limitazioni non riguardano il dataset in sé (in quanto molto completo) ma la disponibilità di altri datasets. Minore la quantità/disponibilità dei dati negli altri dataset, maggiore il numero di assunzioni richieste per ottenere conclusioni affidabili.

2.1.3 VED – Vehicle Energy Dataset

Ente:

Cornell University

Links:

<https://arxiv.org/abs/1905.02081>

<https://github.com/gsoh/VED>

Caratteristiche:

Licenze: Apache 2.0

Ultimo Aggiornamento:

- Dimensione: ~200 MB

Descrizione file:

Il dataset contiene i risultati di una campagna di misurazioni su 383 veicoli privati in Michigan (USA) riguardo veicoli convenzionali, ibridi, ibridi plug-in ed elettrici a batteria. I dati si riferiscono a diverse grandezze relative all'utilizzo del veicolo misurate nel tempo su una percorrenza totale di 374,000 miglia. Sul totale dei veicoli 27 appartengono alle categorie di ibridi plug-in e a batteria, la distanza totale percorsa da questi è di 50,000 miglia. Le quantità monitorate si riferiscono sia alla posizione istante per istante del veicolo tramite coordinate GPS che a dati su velocità, energia e potenza istantanee.

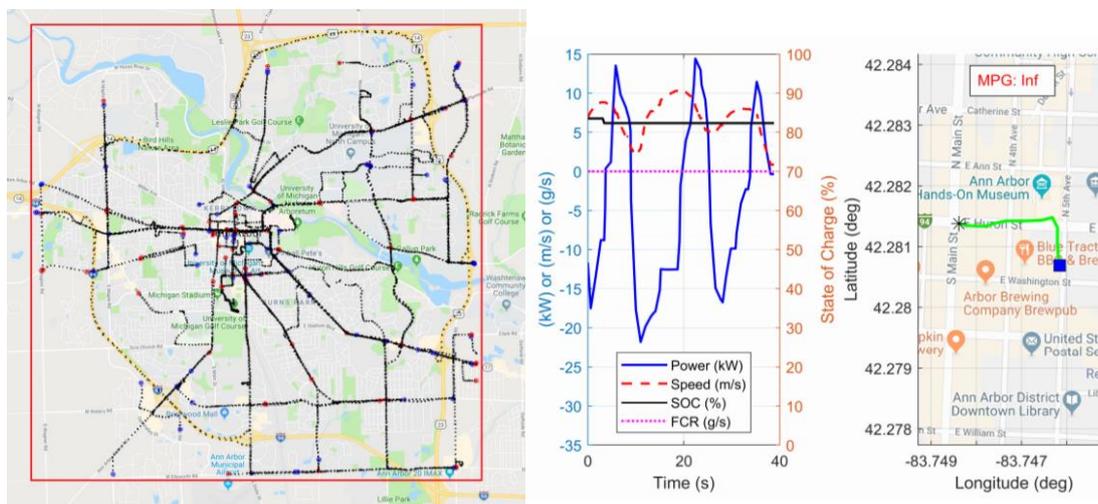


Figura 3. Visualizzazione dei dati nella pubblicazione annessa

VehId	Trip	Timestamp(ms)	Latitude[deg]	Longitude[deg]	Vehicle Speed[km/h]
10	1625	0	42.28754806	-83.71906583	36.13000107
10	1625	100	42.28754806	-83.71906583	40.91999817
10	1625	300	42.28754806	-83.71906583	40.91999817
10	1625	1100	42.28754806	-83.71906583	44.52999878
10	1625	1300	42.28754806	-83.71906583	44.52999878
10	1625	2200	42.28754806	-83.71906583	47.93000031
10	1625	2300	42.28754806	-83.71906583	47.93000031
Heater Power[Watts]	HV Battery Current[A]	HV Battery SOC[%]	HV Battery Voltage[V]		
0	-59	61.70732117	371		
0	-59	61.70732117	371		
0	-58.5	61.70732117	371		
0	-58.5	61.70732117	371		
0	-50	61.70732117	371		
0	-50	61.70732117	371		
0	-47	61.70732117	371		
0	-47	61.70732117	371		

Figura 4. Estratti del dataset

Possibile impiego:

Il dataset può essere utilizzato sia per i dati derivanti dai veicoli elettrici ma anche in generale per modellare dei tragitti realistici in contesti urbani grazie alla maggior mole di dati su veicoli a combustione. Tramite l'integrazione con un modello più ampio e/o basato su altri dataset è dunque possibile modellare i tragitti e la relativa domanda di elettricità per una flotta di veicoli elettrici di dimensioni variabili.

Limitazioni:

Le limitazioni si riferiscono principalmente al fatto che i dati si riferiscono ad un contesto come quello americano, che seppur riferendosi all'utilizzo in un contesto urbano potrebbe presentare differenze significative con uno italiano/europeo. Tali differenze potrebbero risiedere in distanze guidate su base giornaliera più lunghe e/o con veicoli mediamente di più grande cilindrata/dimensione, portando ad un bias sistematico sulla stima dei consumi di una flotta di veicoli elettrici. Una seconda potenziale limitazione risiede nel numero limitato di veicoli ibridi plug-in e completamente elettrici all'interno del dataset. Tale campione limitato potrebbe portare ad assunzioni fuorvianti (as esempio riguardo distanze percorse e consumi) rispetto ad una popolazione molto più ampia.

2.1.4 Household data (Open power systems data)

Ente:

Open Power Systems Data

Link:

https://data.open-power-system-data.org/household_data/

Caratteristiche:

Licenze: Creative Commons

Ultimo Aggiornamento: 11/10/2017

Dimensione: ---

Descrizione file:

Dati sulle serie temporali riguardo diverse piccole imprese e residenze private per la modellazione di consumi elettrici in basso voltaggio. I dati contengono sia consumi divisi per tipo di appliance che generazione di impianti PV di piccola taglia. Le appliance monitorate riguardano illuminazione, climatizzazione e colonnine di ricarica per veicoli elettrici. Al momento soltanto due colonnine di ricarica, una per utente residenziale e una per utente del terziario sono riportate.

Possibile impiego:

I dati possono essere impiegati per modellare pattern di utilizzo di impianti di ricarica per veicoli elettrici ma anche altre appliance di modo da valutare il potenziale di coordinazione in meccaniche di demand response più complesse della sola gestione del processo di ricarica di un veicolo elettrico.

Limitazioni:

Allo stato attuale l'usabilità del dataset è molto limitata data la poca quantità di dati, i quali riguardano solamente due colonnine di ricarica, peraltro con dati presenti solo per una parte del periodo monitorato nel dataset. Con solo due colonnine monitorate si avrebbero delle forti limitazioni all'usabilità, simili a quanto evidenziato per il precedente dataset: vi sarebbe il rischio di assumere dei comportamenti degli utenti fuorvianti rispetto a quelli che si otterrebbero da una popolazione più ampia.

2.1.5 EVs Charging stations data (SOFIE project)

Ente:

SOFIE EU PROJECT

Links:

<https://zenodo.org/record/3678169#.XmeqWnOg-bg>

<https://www.sofie-iot.eu/>

Caratteristiche:

Licenze: Creative Commons

Ultimo Aggiornamento: 02/2020

Dimensione: ---

Descrizione:

Dati real-time con alta risoluzione temporale per sessioni di ricarica su tre colonnine monitorate che servono sei EVs. Per ogni colonnina sono riportati gli istanti di inizio e fine evento di ricarica e l'energia fornita all'autovettura. I dati sono disponibili da circa metà 2018 e aggiornati costantemente.

Possibile impiego:

Come il precedente dataset utilizzo per modellare il pattern di utilizzo di stazioni di ricarica per EVs, avendo in questo caso un periodo monitorato più lungo.

Limitazioni:

Nonostante la maggior mole di dati vi sono le stesse problematiche del precedente dataset. Non vi sono dati sufficienti per estendere l'applicabilità dei dati misurati in contesti più ampi senza un numero significativo di assunzioni. Inoltre, i dati in questione provengono dai risultati di un progetto di ricerca, che potrebbe avere quindi una deviazione ulteriore per quel che riguarda il pattern di utilizzo rispetto a veicoli utilizzati su base quotidiana da parte di utenti normali.

2.2 Software di simulazione EV

Le recenti previsioni riguardo la penetrazione dei veicoli elettrici (EV) nel mercato dei trasporti [1] e il relativo impatto sulla distribuzione di energia elettrica nazionale, hanno presentato nuove sfide in entrambi i campi di applicazione e ricerca. In questo contesto, la tecnologia Vehicle-to-Grid (V2G) si presenta come una soluzione estremamente valida in termini di applicazione del paradigma di "demand side flexibility" [2], [3].

2.2.1 Letteratura

La mancanza di dataset di grandi dimensioni nei riguardi di questo tipo di tecnologia (in termini di potenza/energia impiegata, tempi di carica/scarica...) ha portato alla necessità di creare modelli e annessi software di simulazione per la generazione dati provenienti da EV e aggregati di EV. A seguire viene riportato un elenco esaustivo di pubblicazioni sull'argomento:

Nel 2009 Karnouskos et al. [4] propongono un tool di simulazione "agent based" per la generazione di curve di potenza in un ambiente "smart city", in cui EV ed elettrodomestici vengono modellati come classi che agiscono per eventi su base probabilistica. Lo scopo primario dello strumento è quello di simulare l'intero comportamento di una smart city da un punto di vista di consumi energetici. Le singole classi relative ai veicoli elettrici e agli elettrodomestici sono modellate in maniera probabilistica. Non viene tuttavia tenuto conto di: variabilità del traffico, istanti di plug-in/-out.

Nel 2010 Pillai et al. [5] pubblicano un caso di studio in cui viene simulata l'inserzione di una certa percentuale di EV in un sistema di distribuzione danese allo scopo di valutare l'impatto energetico in un sistema di distribuzione pre-esistente. In particolare, la ricarica dei veicoli viene concentrata maggiormente in periodi di tempo a più basso costo energetico. Nuovamente, nessuna informazione sul traffico viene tenuta in conto nella modellazione.

Tra il 2011 e 2012, Shumei et al. [6] ed Arancibia et al. [7] propongono due modelli di EV e di stazione di ricarica smart a livello circuitale, orientata in particolare allo studio e alla simulazione strategie di carica/scarica bidirezionali AC/DC e DC/DC. Ovviamente in questa tipologia di studio manca la modellazione di tipo comportamentale dei singoli utenti (commuting distance, routine ecc...), inclusi istanti di plug-in/-out e modellazione del traffico.

Nel 2014 Cardoso et al. [8] presentano uno studio sull'ottimizzazione dello "scheduling" della risorsa energetica tenendo in considerazione una flotta di EV, il cui comportamento è simulato stocasticamente tramite il software DER-CAM [9]. Il modello di ottimizzazione va a minimizzare il costo

totale dell'energia in funzione del bilancio energetico, vincoli relativi alle stazioni di carica, allo storage elettrico ecc.... Relativamente meno attenzione viene riposta nel modellamento del singolo veicolo elettrico e dei comportamenti dell'utilizzatore.

Nel 2015 Novosel et al. [10] riportano un caso di studio simile al lavoro di Pillai. In questo caso viene modellato l'impatto energetico dell'introduzione di una flotta di EV nel sistema di distribuzione di energia croato. I tool utilizzati sono MATSim ed EnergyPLAN. Anche in questo caso il modellamento del EV viene sacrificato in favore di un accurato modello della produzione, import ed export dell'energia.

Nello stesso anno Bedogni et al. [11] pubblicano uno studio di integrazione (VEINS [12]) di diversi strumenti di simulazione (Omnet++ [13], SUMO [14]) al fine di simulare operazioni di ricarica in stazioni pubbliche includendo la simulazione di condizioni di traffico e diversità geografica della zona di simulazione. Viene tuttavia ignorato in questo modello l'impatto energetico sulla distribuzione domestica di energia.

Nel 2018 Rigas et al. [15] propongono un nuovo tool in Java: EVLibSim. Il tipo di simulatore viene classificato come *event-based* per la simulazione e la gestione delle attività dell'EV a livello della stazione di carica, con attenzione particolare alle fasi di carica/scarica, scheduling e gestione delle code. Ancora una volta viene trascurato il modellamento delle abitudini giornaliere dei consumatori e il relativo impatto sul carico energetico domestico e, conseguentemente, dell'aggregato.

Nel 2019 Canizes et al. [16] presentano uno strumento al fine di simulare l'impatto della variazione dei prezzi dell'energia elettrica sul comportamento dei possessori di EV. Nello stesso lavoro, il tool viene integrato con un modello di ottimizzazione per determinare la variabilità dei prezzi di carica. Lo scopo principale del lavoro, come dichiarato dagli stessi autori, è quello di mostrare i vantaggi della variabilità dei prezzi dell'energia elettrica per consumatore; la costruzione di un vero e proprio ambiente di simulazione per la generazione di dati riguardanti il V2G sembra essere secondario ai fini dello studio.

2.2.2 Software

Una panoramica dei software attualmente disponibili è offerta nella seguente sezione. I software sono presentati in ordine alfabetico:

AVL [17]: Sistema per la predizione dell'energy management di un EV. Ottimizzazione tra efficienza, emissioni, performance e qualità di guida del EV. Simulazione e test della componentistica interna al EV, a supporto del processo di design della trasmissione e della "shifting strategy".

CASPOC [18]: Modello a livello circuitale della stazione di carica, veicolo elettrico e algoritmi di controllo.

DER-CAM [9]: Modellamento e gestione della microrete. Ottimizzazione del "portfolio", dimensionamento, posizionamento e dispaccio di un sistema di risorse energetiche distribuito (DER).

EMCAS [19]: Simulazione di regole di mercato stabilite da un soggetto regolatore. Sistema adattativo per simulare "agent learning", ottimizzazione euristica per lo "unit commitment". Simulazione della "demand response" e reazioni del consumatore. Simulazione sulla trasmissione dei carichi.

EnergyPLAN [20]: Simulazione oraria delle operazioni su sistemi di approvvigionamento energetico nazionale.

FASTSim [21]: Modellamento EV.

HOMER [22]: Grid management e ottimizzazione.

SUMO [14]: Simulatore di traffico automobilistico.

V2G-Sim [23]: Simulazione di comportamenti di guida e ricarica di EV individuali al fine di generare previsioni dell'impatto energetico grid-scale. Simulazione del consumo energetico, SOC, degradamento batterie e scambi V2G.

2.2.3 Conclusioni e principali limitazioni evidenziate nei dataset e nei software esistenti

Le recenti previsioni riguardo la penetrazione dei veicoli elettrici (EV) nel mercato dei trasporti e il relativo impatto sulla distribuzione di energia elettrica nazionale, hanno presentato nuove sfide in entrambi i campi di applicazione e ricerca. In questo contesto, il veicolo elettrico si presenta come una soluzione estremamente valida in termini di applicazione del paradigma di "demand side flexibility" nelle sue diverse forme: Grid-to-vehicle (G2V) e vehicle-to-grid (V2G), Building-to-vehicle (B2V) e vehicle-to-building (V2B).

Dall'indagine bibliografica sui dataset open utilizzabili per modellare l'impatto dei veicoli elettrici (EVs) emerge che non esistono ancora, ad oggi, data set con una mole tale di dati per poter sviluppare modelli puramente data driven per la modellazione dei consumi e della ricarica degli autoveicoli facilmente estendibili/adattabili a differenti contesti.

Infatti, non solo la quantità di dati a disposizione è molto ridotta, ma anche la loro qualità è di scarsa utilità. Infatti, database estrapolati da certi contesti (ad esempio quello nordamericano) rendono eventuali modelli data driven poco generalizzabili al loro utilizzo in altri contesti (ad esempio quello italiano). Alcuni esempi di limitazioni alla estendibilità dei dataset individuati sono:

- Ridotta mole di dati, specie riguardo l'utilizzo di colonnine di ricarica;
- Dati riferiti a contesti potenzialmente molto diversi da quello italiano;
- Dati provenienti da progetti di ricerca, dunque rappresentanti situazioni potenzialmente diverse da un uso quotidiano tipo;

Le assunzioni necessarie a ottenere delle deduzioni attendibili potrebbero essere in parte essere fatte tramite altre tipologie di dato (sondaggi etc), ma allo stato attuale non si riscontra una mole di dati sufficiente per un approccio puramente data-driven.

Il problema legato alla mancanza di dataset di grandi dimensioni relativi ai sistemi di ricarica elettrici ha portato alla necessità di creare modelli e annessi software di simulazione per la generazione dati provenienti da EV e aggregati di EV. I software individuati dall'indagine bibliografica si possono

distinguere in due categorie: i) softwares per la modellazione della componentistica del veicolo elettrico e per la gestione ottimale dell'EMS della batteria del veicolo elettrico (quindi specifica per del solo veicolo elettrico); ii) softwares per la modellazione di veicoli elettrici come uno dei tanti asset all'interno di sistemi energetici complessi.

Per questo motivo, al termine dell'indagine bibliografica, si è deciso di sviluppare un modello ibrido per la simulazione di colonnine di ricarica, pubbliche o private, che potesse generare i loro profili di carica, in forma singola e/o aggregata, a partire da dati definiti dall'utente o provenienti da statistiche o elaborati attraverso modelli data driven su dati misurati.

Infatti, l'analisi bibliografica, pur evidenziando una carenza di dati operativi sulle colonnine di ricarica di veicoli elettrici, ha evidenziato una buona quantità di dati open per una ricostruzione verosimile di un potenziale parco auto italiano caratterizzato da una progressiva elettrificazione, sia con veicoli ibridi plug-in che completamente elettrici. Vi è inoltre la possibilità di ricostruire con accuratezza l'infrastruttura di ricarica su tutto il territorio italiano, seppur con delle limitazioni riguardo la considerazione della distribuzione dell'elettricità. A partire da dati riguardo l'attuale parco auto, principalmente mosso da motori a combustione interna, e incrociando i dati con altre quantità statistiche su popolazione, reddito etc (disponibili presso il portale Istat) si possono infatti ottenere delle proiezioni realistiche delle tipologie di veicoli che presumibilmente verranno adottati con la progressiva diffusione dei veicoli elettrici.

3 EPOPSIMULATOR

ePopSimulator è un software per la simulazione del profilo energetico di una singola colonnina di ricarica (residenziale o pubblica) per veicoli elettrici in un lasso di tempo di k giorni e con un intervallo temporale variabile. ePopSimulator va a simulare lo stato di carica (SOC) dell'automobile connessa alla colonnina, l'energia spesa per la carica (Building-to-vehicle – B2V; o grid-to-vehicle – V2G) e il potenziale surplus di scarica (Vehicle-to-building – V2B; o vehicle-to-grid – V2G) per una colonnina di ricarica domestica o pubblica.

ePopSimulator, descritto in questo deliverable e sviluppato per la simulazione del profilo di consumo di una singola colonnina di ricarica, è stato pensato per poter essere esteso anche alla simulazione del profilo di consumo aggregato di un parco di colonnine gestite da un soggetto Aggregatore come un unico accumulo/impianto virtuale (virtual power plant VPP). L'estensione del software è descritta nel deliverable D3.6b "Sviluppo di una metodologia per poter modellare un aggregato di colonnine di ricarica per auto elettriche come un sistema di storage equivalente".

L'obiettivo di ePopSimulator è quello di fornire alla Comunità scientifica nazionale ed internazionale uno strumento "aperto" per la simulazione di profili di consumo di colonnine di ricarica di veicoli elettrici, in forma singola o aggregata, che possano essere utili a definire strategie di pianificazione o di gestione in assenza di dati reali. Per questo ePopSimulator è stato sviluppato come un software online. E' possibile accedere al simulatore mediante il seguente link: <http://193.206.121.28:32000> (il link è provvisorio).

3.1 L'ecosistema veicolo elettrico

La filosofia con cui è stato sviluppato ePopSimulator è stata quella di creare uno strumento flessibile che simulasse nel modo più verosimile possibile il funzionamento reale dell'ecosistema legato al veicolo elettrico. Con il concetto di "ecosistema" del veicolo elettrico si intende l'insieme dei fattori che influenzano o possono influenzare il profilo di consumo del veicolo elettrico connesso alla colonnina. L'ecosistema modellato ePopSimulator consiste di tre fattori principali:

- Veicolo elettrico vero e proprio
- Colonnina di ricarica
- Utente

3.1.1 Veicolo elettrico

ePopSimulator ha in ingresso un database di veicoli puramente elettrici o ibridi (plug-in hybrid) caratterizzati da una serie di informazioni che diventeranno parametri e vincoli del simulatore: marca/modello dell'auto, prezzo, dati legati alla batteria (capacità, potenza di carica...), consumo medio (kWh/km), autonomia dichiarata.

3.1.2 Colonnina di ricarica

Tramite ePopSimulator è possibile simulare diverse potenze di ricarica, rappresentative di diverse tipologie di colonnine di ricarica: private (wall box da 3.3, 4.5, 6 kW) o pubbliche (11 kW, 22 kW o 45

kW). Ovviamente, il simulatore permette di personalizzare la potenza delle singole colonnine di ricarica.

3.1.3 Utente

Nel profilo di carica di una colonnina di ricarica elettrica, l'utente finale ha un ruolo rilevante perché con i suoi comportamenti, influenza i due fattori precedenti, vale a dire il veicolo e la colonnina di ricarica. In ePopSimulator, l'utente è modellato attraverso dei parametri che lo caratterizzano come proprietario/gestore del veicolo elettrico. Questi parametri sono: reddito, occupazione e distanza media dal luogo di lavoro, esigenze.

Il reddito permette di associare l'utente alla tipologia di veicolo elettrico. Questo parametro risulterà utile nella fase di estensione del software alla simulazione di un parco auto di un potenziale aggregatore. Allora, in base alle fasce di reddito, potrà essere costruito un parco auto variegato e rappresentativo di una situazione realistica.

La tipologia di occupazione permette di definire il profilo di utente, in particolare tra non lavoratori (casalinghe o pensionati) e lavoratori. I primi, stando più spesso a casa, potranno avere orari di inizio ricarica differenti (meno vincolati da orario) dai secondi. Questi ultimi, d'altra parte, potrebbero ricaricare il veicolo anche in ufficio.

La distanza media dal luogo di lavoro permette di definire ulteriormente il profilo di ricarica dell'utente. Se la distanza dal luogo di lavoro supera una certa soglia, è improbabile che l'utente rientri a casa per pranzo (utilizzando la wall box della mircorete domestica) ma potrebbe ricaricare in una colonnina pubblica (vicino al luogo della pausa pranzo) o in una colonnina aziendale.

La distanza media dal luogo di lavoro definisce anche la percorrenza media giornaliera che, incrociata con il consumo medio del veicolo elettrico e con la capacità della batteria, influenzerà lo stato di carica della batteria del veicolo stesso al momento della connessione con la colonnina.

Quindi, la distanza media dal luogo di lavoro influenza due parametri importanti per la definizione del profilo di consumo di una colonnina di ricarica: il possibile orario di collegamento del veicolo alla colonnina (plug-in) e lo stato di carica della sua batteria.

Infine, le esigenze del consumatore rappresentano i vincoli che l'utente può porre alla "gestione" della ricarica, quali, ad esempio: l'orario di distacco del veicolo dalla colonnina (fine ricarica) e lo stato di carica minimo della batteria (che non è detto debba essere necessariamente il 100%).

3.1.4 Modalità di interazione tra i fattori in ePopSimulator

Il simulatore ePopSimulator mette insieme i tre fattori dell'ecosistema veicolo elettrico cercando di ricreare profili di funzionamento della singola colonnina di ricarica. L'utente (con la sua auto elettrica assegnata in base alla fascia di reddito) conetterà alla colonnina di ricarica (di una determinata potenza) ad una certa ora (definita dalla tipologia di occupazione e dalla distanza dal luogo di lavoro) il proprio veicolo elettrico caratterizzato da una capacità residua della batteria (dipendente, principalmente, dalla distanza dal luogo di lavoro e dal consumo medio dello stesso). Contestualmente alla connessione del veicolo alla colonnina di ricarica, l'utente può esprimere le proprie esigenze impostando come vincoli: l'orario a cui vuole che il veicolo sia disponibile (ora di disconnessione) e lo

stato di carica minimo della batteria corrispondente alla capacità necessaria alla percorrenza giornaliera del giorno successivo.

Il software di simulazione introdurrà poi delle percentuali di variabilità sui principali parametri operativi comportamentali (percorrenza media giornaliera, orario di arrivo e connessione, orario di disconnessione e stato di carica minimo richiesto il giorno successivo).

In assenza di particolari logiche di gestione della colonnina, il simulatore simula una condizione standard, tale per cui il processo di ricarica inizia esattamente nel momento in cui viene collegato il veicolo elettrico, alla potenza nominale della colonnina e dura fino a che la batteria del veicolo non è completamente carica (SOC=100%).

Nei paragrafi successivi, vengono descritti nel dettaglio gli input e gli output del simulatore ePopSimulator ed il suo funzionamento.

3.2 Input e Funzionamento

3.2.1 Consumer Class

Il modulo fondamentale del presente software è la classe Consumer. I parametri (argomenti) di tale classe sono i seguenti

- Distanza percorsa nella giornata (commuting distance) [km]
- Automobile
 - Modello
 - Capacità batteria [kWh]
 - Autonomia (dichiarata) [km]
 - Consumo medio [kWh/km]
- Impegno potenza elettrica [kW]

All'inizializzazione della classe i parametri sopramenzionati vengono assegnati in maniera differente. Uno schema più approfondito sulle possibilità di input è presente nella sezione **Input / Output**.

La distanza dal luogo di lavoro (commuting distance) può essere impostata all'inizio della simulazione e subirà una variazione percentuale ($\pm 20\%$) durante i diversi giorni.

Il modello di automobile, con la relativa capienza della batteria, autonomia e consumo medio, può essere assegnato al consumatore manualmente o tramite il caricamento di un file excel (a partire da una popolazione di automobili ivi contenuta).

La fornitura domestica di energia elettrica può essere selezionata dall'utente tra 3.3, 4.5 e 6 kW.

Il ciclo giornaliero di simulazione dell'utente si basa sulla ripetizione quotidiana dello schema in Figura 5.

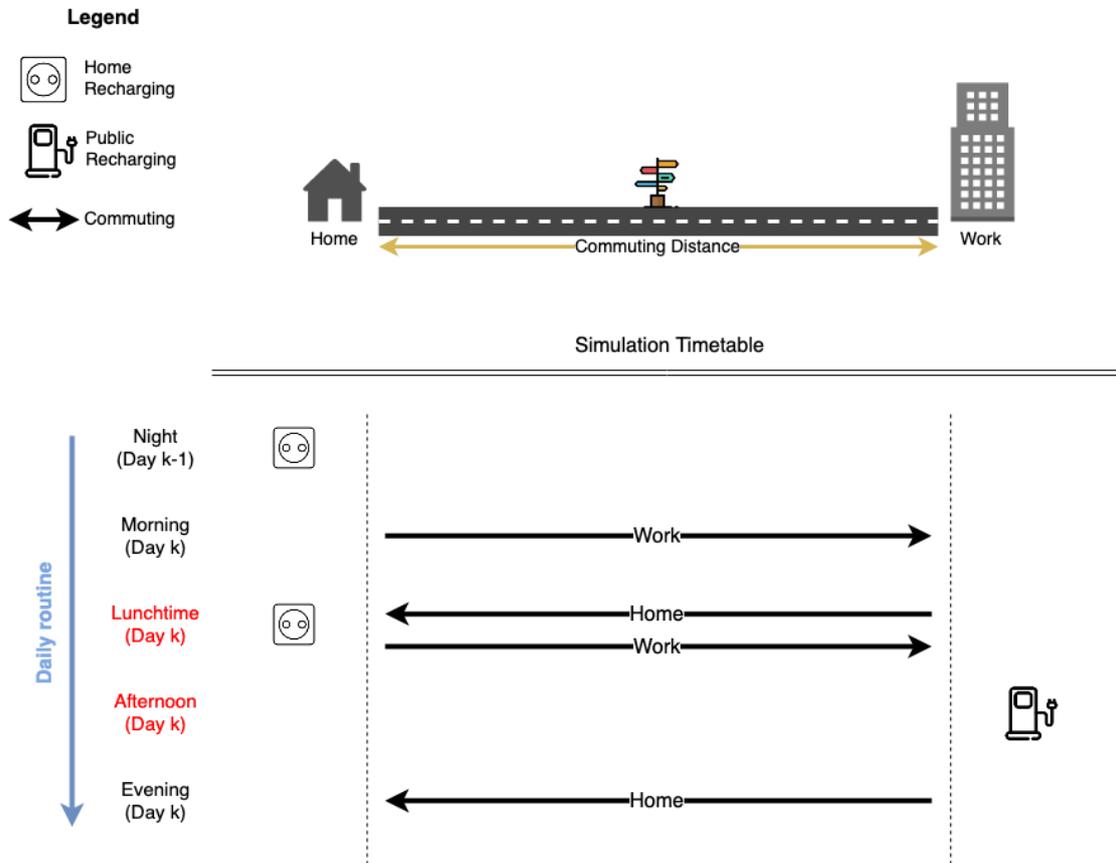


Figura 5: Schema della routine quotidiana

Come è possibile vedere, il ciclo giornaliero di simulazione è diviso in cinque momenti principali.

1. **Notte: (Night):** Il consumatore effettua la ricarica del proprio veicolo elettrico; in base alla *commuting distance* la stazione di ricarica domestica effettua una simulazione sulla quantità necessaria di carica (minima) per intraprendere il viaggio del giorno successivo. Le previsioni sulle condizioni del traffico sono generate tramite curve parametriche. I dati della simulazione comprendono una previsione sull'energia spesa per la ricarica del veicolo elettrico e potenziale surplus utilizzabile dal fornitore di energia elettrica.
2. **Mattino (Morning):** Il consumatore percorre la distanza casa-lavoro, consumando carica di batteria in base alle condizioni del traffico. Le condizioni del traffico vengono simulate tramite un ricalcolo dei chilometri effettivi percorsi dal consumatore con una distribuzione normale

$$d_{eff} = d + \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

dove $\mu = 0$ e σ può essere variato all'interno della simulazione; d corrisponde alla *commuting distance*; x viene generato randomicamente. Ne risulta che in caso di condizioni del traffico positive, la distanza "effettiva" percorsa sia inferiore a d , risultando in consumi più contenuti rispetto al normale. Al contrario, per condizioni di traffico negative i consumi relativi saranno peggiori.

3. **Ora di Pranzo (Lunchtime):** Questo evento viene innescato solo nel caso che il consumatore torni a casa per pranzo come abitudine. Questa impostazione è dipendente dalla *commuting distance*. In caso questo evento abbia luogo il consumatore tornerà a casa da lavoro, caricherà l'auto per un lasso di tempo variabile nelle impostazioni del simulatore, e tornerà a lavoro, compiendo in questo modo due volte la sua d_{eff} .
4. **Pomeriggio (Afternoon):** La frequenza di innesco di questo evento viene modellata stocasticamente; il consumatore decide di caricare l'auto ad una colonnina pubblica per un lasso di tempo variabile prima di intraprendere il viaggio di ritorno a casa (o lungo la strada). Le colonnine pubbliche possono avere una capacità di ricarica pari a 11, 22, 45 kW.
5. **Sera (Evening):** Ritorno a casa, il consumatore percorre una distanza pari a d_{eff} .

3.3 Input / Output

3.3.1 Variabili del Simulatore

La totalità dei parametri del simulatore può essere modificata dal file [simulator_vars.py](#). La parte numerica associata alle variabili in questo paragrafo corrisponde all'impostazione di default.

- STAT_INFOJOBS = (29, 32, 18, 21)

Distribuzione statistica delle *commuting distance*. I valori riportati sono in percentuale, e sono relativi alle *tuples* nella variabile RANGES_TUPS. Per la simulazione di un singolo consumatore, in caso di alta regolarità nel suo chilometraggio giornaliero, questa variabile non ha interesse.

- RANGES_TUPS = ((0, 10), (11, 31), (31, 50), (50, 70))

Coppie di *ranges* relativi alle distanze percorse dal consumer della giornata (range minimo, range massimo). Per la simulazione di una singola colonnina, se un consumer ha una regolarità marcata, basta inserire il valore 100 (o un valore molto vicino) nella variabile STAT_INFOJOBS in corrispondenza della tupla con il chilometraggio prescelto. Al contrario, se il consumer avesse una alta variabilità di percorrenza giornaliera, si possono inserire percentuali diverse nella variabile STAT_INFOJOBS e/o creare tuple in RANGES_TUPS con alte escursioni (range min, range max).

- HOME_RECHARGING_CAPABILITY = (3.3, 4.5, 6)

Alternative di ricarica domestica espresse in kW. Il valore assegnato all'inizializzazione della classe *Consumer* viene determinato randomicamente.

- TOTEM_RECHARGING_CHANCE = .2

Probabilità (valore tra 0 e 1) che il consumatore decida di caricare il proprio veicolo elettrico ad una colonnina pubblica. Il valore di default è .2 che corrisponde al 20% di probabilità.

- `TOTEM_RECHARGING_CAPABILITY = (11,22,43)`

Potenza di ricarica delle colonnine pubbliche espressa in kW. La disponibilità della colonnina è definita da `TOTEM_AVAILABILITY`.

- `TOTEM_AVAILABILITY = (80,80,20)`

Disponibilità della colonnina in base alla potenza di ricarica. Le percentuali sono relative ai valori contenuti in `TOTEM_RECHARGING_CAPABILITY`. I valori di *default* sono 80% di disponibilità delle colonnine da 11 kW e 22 kW e 20% per quelle a 42 kW.

- `CARS_DATA_FITTING_CURVE = '1'`

Riga selezionata per generare il tipo di auto a partire dal documento [cars-ranges.xlsx](#).

- `TOTEM_RECH_TIME = 1`

Massimo numero di ore che il consumatore passa a caricare l'auto alla colonnina pubblica.

- `MAX_RECH_TIME = 10`

Massimo numero di ore che il consumatore terrà in carica l'auto durante la notte (in casa).

- `LUNCH_HOME_MAX_DISTANCE = 15`

Massima distanza (km) per la quale il consumatore possa considerare un'abitudine il ritorno a casa per pranzo.

- `LUNCH_TIME = 1`

Massimo numero di ore che il consumatore passerà a casa per pranzo.

- `HOME_FOR_LUNCH_CHANCE = .2`

Per basse *commuting distances* (inferiori a `LUNCH_HOME_MAX_DISTANCE`), questo valore rappresenta la probabilità che il consumatore consideri un'abitudine il tornare a casa per pranzo. Il valore di default corrisponde a un 20% di probabilità.

- `CONSUMERS_POP = 1`

Numero di consumatori previsti nella simulazione (variabile che verrà in seguito utilizzata per l'aggregazione).

- `SIMULATION_DAYS = 7`

Numero di giorni simulati.

3.3.2 Funzionamento interno del Simulatore

```

in [41]: sim.consumers[np.random.randint(1000)].show()
Car: Fiat 500e
Commuting Dist [km]: 39
Home for lunch: False
Batt. Cap. [kWh]: 24.0
Batt. Range [km]: 126.0
Batt. Avg. Cons. [kWh/km] : 0.19047619047619047
Home rech. Cap. [kW]: 6

Home (Evening) Recharging History

```

	SOC	Required Energy	Delta	Potential Surplus	Minumum hours recharging	Maximum hours available	Actual hours recharging	Actual recharged energy	SOC after recharge
0	1.000000	0.000000	9.175542	60.000000	0.000000	10.000000	0.000000	0.000000	1.0
1	0.375631	14.853786	0.000000	54.161358	0.973107	9.026893	2.497476	14.984856	1.0
2	0.690408	0.000000	1.382309	60.000000	0.000000	10.000000	1.238367	7.430203	1.0
3	0.377706	15.174974	0.000000	53.889976	1.018337	8.981663	2.489175	14.935050	1.0
4	0.364503	14.678820	0.000000	54.069245	0.988459	9.011541	2.541989	15.251935	1.0
5	0.704955	0.000000	2.245671	60.000000	0.000000	10.000000	1.180178	7.081070	1.0
6	0.367717	14.674813	0.000000	54.150391	0.974935	9.025065	2.529133	15.174795	1.0

```

Home (Lunch) Recharging History

```

	SOC	Required Energy	Delta	Potential Surplus	Minumum hours recharging	Maximum hours available	Actual hours recharging	Actual recharged energy	SOC after recharge
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0

```

Totem Recharging History

```

	SOC	Required Energy	Delta	Potential Surplus	Minumum hours recharging	Maximum hours available	Actual hours recharging	Actual recharged energy	SOC after recharge
0	0.000000	0.0	0.000000	0.0	0.0	0.0	0.000000	0.000000	0.0
1	0.689779	0.0	9.127809	22.0	0.0	1.0	0.338423	7.445298	1.0
2	0.000000	0.0	0.000000	0.0	0.0	0.0	0.000000	0.000000	0.0
3	0.000000	0.0	0.000000	0.0	0.0	0.0	0.000000	0.000000	0.0
4	0.702110	0.0	9.511236	22.0	0.0	1.0	0.324971	7.149354	1.0
5	0.000000	0.0	0.000000	0.0	0.0	0.0	0.000000	0.000000	0.0
6	0.696592	0.0	9.380799	22.0	0.0	1.0	0.330991	7.281795	1.0

Figura 6: Variabili interne di simulazione di un singolo soggetto per 7 giorni. Le tre tabelle corrispondono ai dati relativi alle ricariche a casa (notte), all'ora di pranzo (casa) e alla colonnina pubblica (totem). In questo esempio particolare, il soggetto avendo una commuting distance superiore alla massima impostata nel simulatore, non effettuerà ricariche domestiche all'ora di pranzo, risultando nella tabella 2 (lunch) con soli zeri.

L'esempio di simulazione riportato in Figura 6 è relativo al singolo consumatore. Ogni tabella rappresenta i dati raccolti dal dispositivo di ricarica domestico al momento della ricarica. Per ogni tabella, i dati riportati da ciascuna colonna sono descritti qui di seguito:

- SOC: Quantità di carica residua **prima** della ricarica.
- Required Energy: Minima energia richiesta dal consumatore in base alla *commuting distance* e alle condizioni del traffico simulate.
- Delta: Quantita di carica [kWh] in eccesso rispetto alla richiesta minima del consumatore (colonna precedente).
- Potential Surplus (PS): Questa quantità [kWh] rappresenta la carica potenziale in eccesso. Calcolata come

$$PS = h_{eccess} * RP$$

Dove $h_{excess} = h_{max} - h_{min}$, ovvero la differenza tra il massimo numero di ore disponibili per la ricarica e il minimo di ore necessarie a ricaricare l'energia richiesta dal consumatore (colonna Required Energy). Mentre RP è la potenza di ricarica del dispositivo in oggetto (casa, colonnina pubblica).

- Minimum hours recharging: Corrispondente a h_{min} .
- Minimum hours available: Corrispondente a h_{excess} .
- Actual hours recharging: Numero effettivo di ore in cui viene effettuata la ricarica. Questo valore tiene in conto anche la richiesta del soggetto aggregatore sul singolo consumatore (Network class in fase di sviluppo).
- Actual recharged energy: Energia effettivamente utilizzata per caricare il veicolo elettrico. Anche questa quantità è influenzata dalla richiesta del soggetto aggregatore.
- SOC after charge: Quantità di carica residua dopo la ricarica. In caso di richiesta nulla da parte del soggetto aggregatore, il consumatore andrà a sfruttare totalmente le ore a disposizione per caricare il proprio veicolo, risultando in un SOC pari a 1 quando h_{excess} lo consenta.

3.3.3 Output del Simulatore

Al termine della simulazione, l'utente può effettuare il download di tutti i risultati della simulazione online in formato .json o .csv. In particolare, il loro contenuto comprenderà i seguenti vettori:

{Power}: Potenza fornita al veicolo elettrico espressa in kW.

{Energy}: Energia fornita al veicolo elettrico espressa in kWh.

{SOC}: State of charge del veicolo elettrico espressa in kWh.

{MINSOC}: Rappresenta il minimo valore di SOC che la batteria del veicolo deve avere, per ogni intervallo di tempo, affinché nel momento del plugout si possa raggiungere almeno il valore prestabilito di SOC (il minimo valore necessario per percorrere la distanza nella giornata successiva). Espressa in kWh.

{FLEXIBILITY UP}: Ammontare di energia che il veicolo può potenzialmente erogare alla rete (V2G) per ogni intervallo di tempo, espressa in kWh.

{FLEXIBILITY DOWN}: Ammontare di energia che la rete può potenzialmente erogare al veicolo (G2V) per ogni intervallo di tempo, espressa in kWh.

{PLUGIN/PLUGOUT}: Eventi di Plugin e Plugout per il veicolo elettrico espressi come indice progressivo di tempo (considerando il tempo di campionamento del simulatore) e in formato datetime.

L'utente potrà altresì visualizzare l'andamento temporale delle suddette variabili in formato grafico come nel seguente esempio:

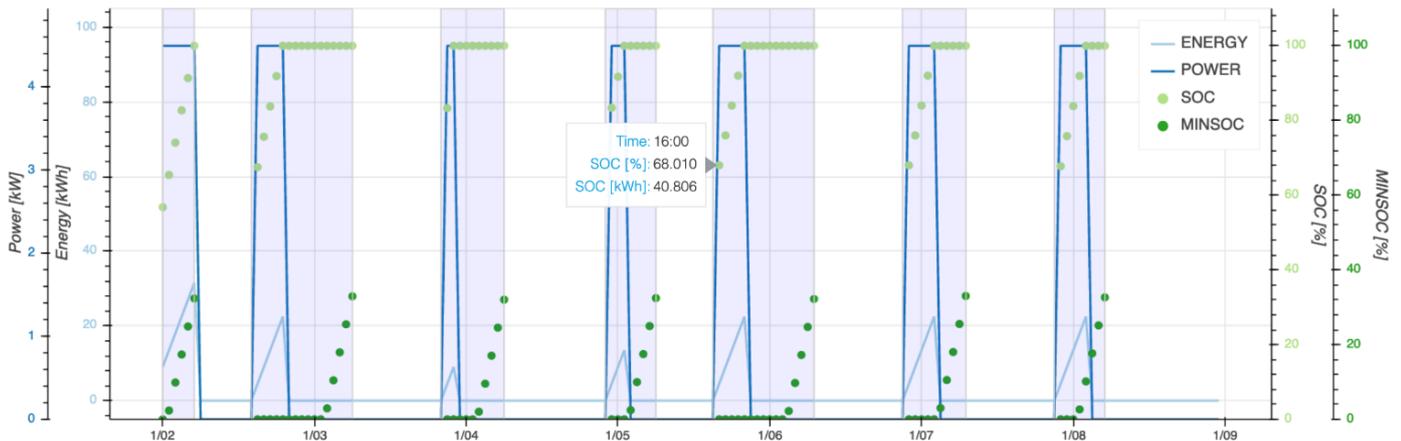


Figura 7 – Esempio di output di profilo settimanale di carica della colonnina

Il presente esempio è relativo ad un singolo soggetto in una simulazione di 7 giorni. I dati presenti per i soggetti simulati possono essere esportati in formato *.csv, *.xlsx, *.pkl o testuale per un'analisi statistica più approfondita.

3.4 Risultati

Nella presente sezione si mostrerà come configurare la simulazione per un singolo consumatore con le opzioni desiderate e verranno visualizzati ed interpretati i risultati in termini sia grafici che relativi ai files di output che l'utente può scaricare per effettuare successive analisi. Dal file "simulator_vars.py", descritto in precedenza, è possibile impostare manualmente le opzioni di simulazione per il consumer, in particolare per quanto riguarda le tipiche distanze percorse giornalmente e la distribuzione statistica delle stesse (variabili STAT_INFOJOBS e RANGES_TUPS), il tipo di veicolo elettrico, la potenza erogabile dalla stazione di ricarica residenziale e la possibilità che il consumatore effettui ricariche da colonnine pubbliche, come mostrato in *Figura 8*.

```
*simulator_vars - Blocco note di Windows
File Modifica Formato Visualizza ?
"""Variables collection for ePopSimulator"""

# Statistic distributions for data generation or input for single consumer

"""The following array contains the percentuals of people with a milleage (as expressed in RANGES_TUPS):

- < 10 km
- between 10 and 31 km
- between 31 and 50 km
- over 50 km
.....
STAT_INFOJOBS = (0, 0, 0, 100)
RANGES_TUPS = ((0, 10), (11, 41), (41, 70), (70, 100))

HOME_RECHARGING_CAPABILITY = (4.5)
TOTEM_RECHARGING_CHANCE = 0
TOTEM_RECHARGING_CAPABILITY = (11,22, 43) # [kwh]
TOTEM_AVAILABILITY = (80, 80, 20)
CARS_DATA_FITTING_CURVE = "12"
```

Figura 8 -. File di configurazione manuale utilizzato per effettuare la simulazione di un singolo consumatore.

Nel caso in esame, viene effettuata la simulazione di un utente che, nel 100% dei casi, effettua tra i 70 e i 100 km al giorno, ha una stazione di ricarica domestica da 4.5 kW di potenza erogabile e non è solito effettuare mai ricariche presso stazioni pubbliche (TOTEM_RECHARGING_CHANCE = 0).

Il veicolo elettrico scelto corrisponderà alla riga numero 12 del file “cars-ranges.xlsx”, in particolare, come mostrato nella *Figura 9*, si tratterà di una Kia Soul, con una batteria di capacità 27 kWh, un’autonomia dichiarata dal costruttore di 166.5 km e un prezzo di quasi 34000 €.

1	Model	Battery Capacity kWh	Starting price Eur	Declared Autonomy (km)
2	Audi e-tron	95	74100	450
3	BMW i3	22-33	40600	130-245
4	BYD e6	60	31600	300
5	Chevrolet Bolt / Opel Ampera-e	60	27100	383
6	Citroen C-Zero / Peugeot iOn (i.MIEV)	16-14.5	30890	160-100
7	Fiat 500e	24	24900	126
8	Ford Focus Electric	23-33.5	16700	122-185
9	Honda Clarity (2018)	25,5	58000	143
10	Hyundai Kona Electric	39.2-64	38000	252-415
11	Hyundai Ioniq Electric	28	41000	200
12	Kia Soul EV	27	33900	166,5
13	Kia Niro EV	39.2-64	23500	218-358
14	Jaguar I-Pace	90	82460	470
15	Mini Cooper SE	32,6	33900	270
16	Nissan Leaf I	24-30	9000	117-172
17	Nissan Leaf II	24-60	30000	243-270
18	Mercedes-Benz EQ C	80	61325	300
19	Mitsubishi i-MIEV	16	25300	100
20	Renault Fluence Z.E.	22	27500	185
21	Renault Twizy	6	7350	90
22	Renault Zoe	22-41-51	14000	210-240-400
23	Smart electric drive II	16,5	23300	135
24	Smart electric drive III	17,6	25000	145
25	Tesla Model S	60-100	72300	401-595

Figura 9 - File “cars-ranges.xlsx” contenente le diverse opzioni di veicoli elettrici con prezzi, capacità della batteria e autonomia dichiarata.

Una volta settate le impostazioni del consumatore è possibile iniziare la simulazione nel portale web al link <http://193.206.121.28:32000> (il link è provvisorio).

Dalla prima schermata di benvenuto, l’utente potrà scegliere un numero per il progetto che sta creando (necessario nel momento in cui si effettua il download dei risultati della simulazione) e andare nella successiva schermata di input dati.

A questo punto l’utente dovrà inserire gli ultimi input di configurazione, come mostrato in *Figura 10*, quali il numero di consumatori per cui si vuole effettuare la simulazione (come verrà mostrato nel deliverable D3.6b il simulatore potrà effettuare simulazioni per aggregati di veicoli), il numero di giorni per cui si vuole simulare il comportamento del veicolo elettrico (superiore ad 1 giorno e senza limiti superiori) e il tempo di campionamento (selezionabile in base alle esigenze, ma superiore al minuto).

In questa simulazione è stato inserito un solo consumatore (con le opzioni inserite in precedenza), per un totale di 7 giorni ed un tempo di campionamento di 30 minuti.

Cliccando sul button “Simulate”, si avvierà la simulazione nel server per la configurazione inserita e, dopo un’attesa di alcuni secondi, apparirà la schermata relativa ai risultati.

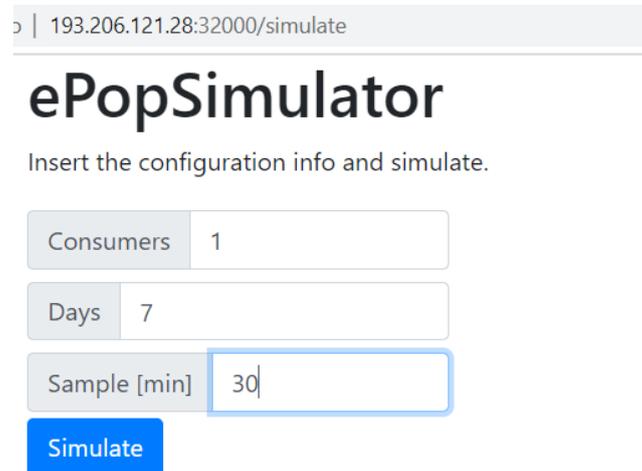


Figura 10 - Schermata finale di configurazione dove l’utente può inserire il numero di consumatori, la durata della simulazione (in giorni) e il tempo di campionamento (in minuti).

Nella schermata che appare al termine della simulazione, l’utente avrà la possibilità di accedere agevolmente a tutti i risultati, come mostrato in Figura 11. È importante notare come la simulazione del veicolo elettrico effettuata dal tool web si comporta nel seguente modo: non appena il veicolo viene connesso alla colonnina, gli viene erogata una potenza pari alla potenza massima disponibile, fino al raggiungimento della SOC massima o fino alla disconnessione dalla colonnina stessa.

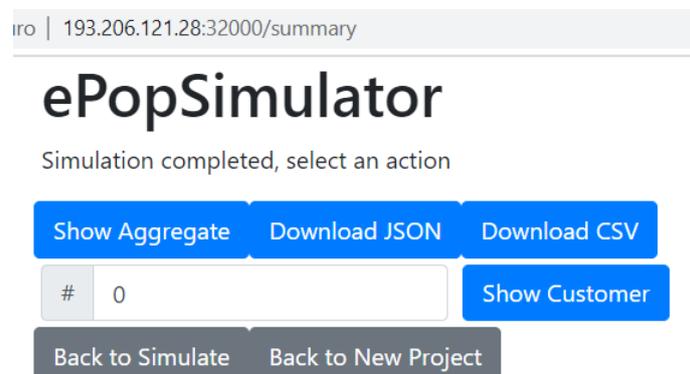


Figura 11 - Schermata di accesso ai risultati di ePopSimulator.

Nella barra al centro, l’utente potrà inserire il numero del veicolo elettrico per il quale si vogliono visualizzare i risultati grafici della simulazione (nella simulazione di un solo customer, il numero da

inserire sarà lo 0). Cliccando poi il button “Show Customer”, si aprirà la pagina di visualizzazione grafica, come rappresentato in *Figura 12*.

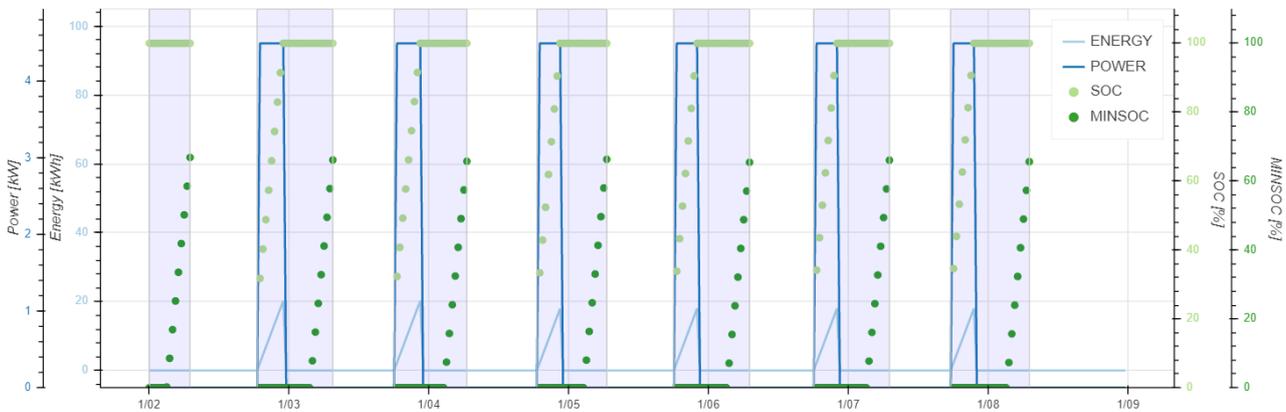


Figura 12 - Grafico cumulativo del consumer simulato.

In questa schermata sarà quindi possibile visualizzare in un singolo plot tutte le variabili di interesse del consumatore. In particolare, come è possibile notare in *Figura 12*, per ogni istante in cui il veicolo è connesso alla colonnina (mostrato come un box di colore celeste all’interno del quale sono presenti diverse curve), saranno mostrate le diverse variabili: l’energia fornita dalla stazione di ricarica dal momento della connessione in kWh (linea continua di colore ciano), la potenza istantanea erogata dalla colonnina in kW (linea continua di colore blu), la SOC attuale del veicolo elettrico in percentuale (dot di colore verde chiaro) e la MINSOC, ovvero la minima quantità di SOC che il veicolo deve avere in ogni istante di tempo per poter percorrere il chilometraggio previsto dopo la disconnessione, anche quest’ultima in percentuale (dot di colore verde scuro).

Dalla *Figura 11*, cliccando invece su “Show Aggregate” vengono aperti 3 differenti plot ad area che mostrano nel dettaglio le informazioni contenute nel grafico precedente (nel caso del singolo consumer, mentre nel caso di una simulazione di una popolazione di veicoli elettrici tali grafici saranno aggregati, come mostrato nel deliverable D3.6b).

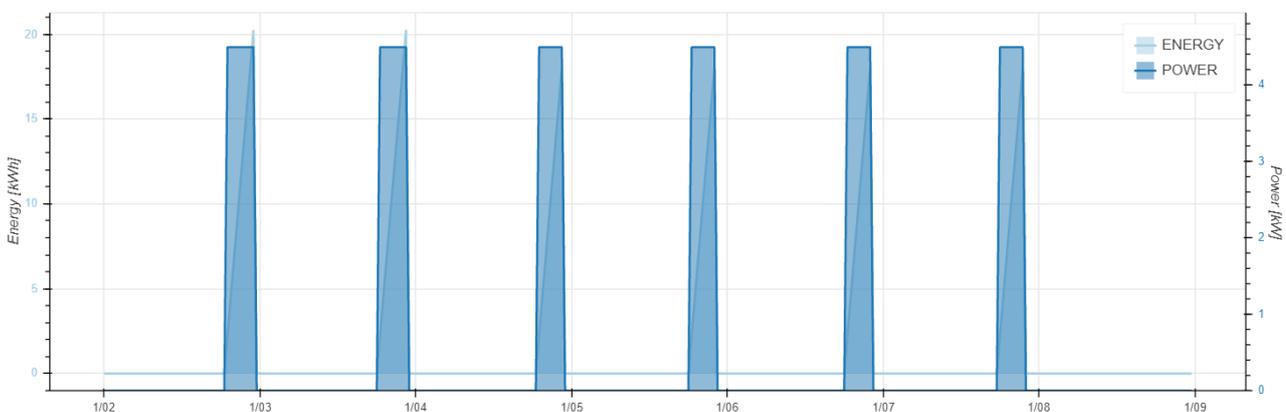


Figura 13 - Primo plot mostrato cliccando il button “Show Aggregate” (utilizzabile anche nel caso del singolo consumer) con energia e potenza.

Il primo grafico, mostrato in *Figura 13*, è relativo alla potenza erogata istantaneamente al veicolo elettrico (espressa in kW) e all'energia che viene caricata dal momento della connessione del veicolo alla stazione di ricarica (espressa in kWh). Come detto in precedenza e come è possibile notare dal grafico, il comportamento del tool nella sua versione online è quello di una simulazione "standard", ovvero nel momento in cui il veicolo elettrico viene connesso (se la SOC è inferiore al 100%), la colonnina erogherà la massima potenza fino al raggiungimento del 100% di SOC o fino al momento in cui avverrà la disconnessione. Nel grafico è possibile notare come, nel primo giorno di simulazione (dalla mezzanotte del 1/02) non viene erogata potenza dal momento che la batteria del veicolo è completamente carica (visibile in *Figura 12*). Inoltre, tutti i profili di carica che portano il veicolo alla SOC massima sono di "breve" durata e terminano tutti entro la mezzanotte del giorno, lasciando intuire una evidente flessibilità di shift o modulazione della carica in un'ottica di gestione del processo di carica.

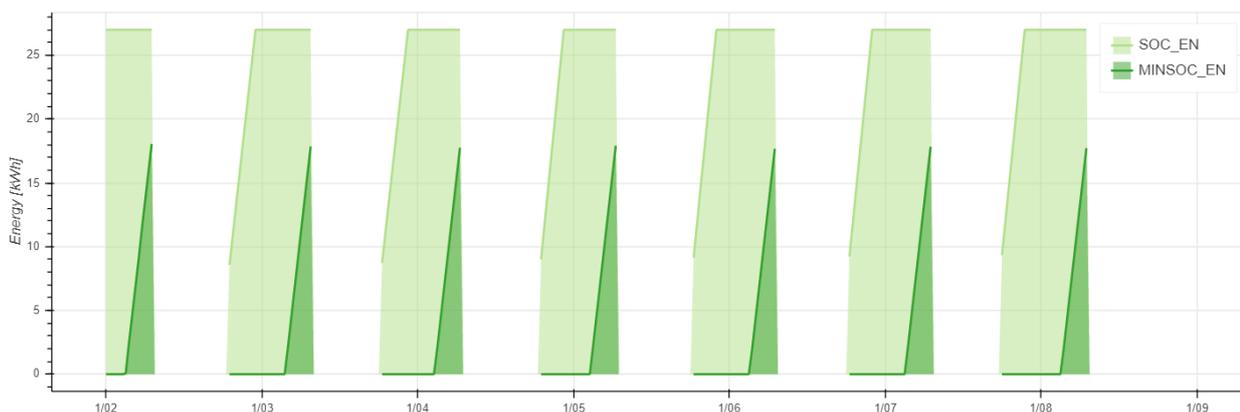


Figura 14 - Secondo plot mostrato cliccando il button "Show Aggregate" (utilizzabile anche nel caso del singolo consumer) con le aree di SOC e MINSOC.

Il secondo grafico, mostrato in *Figura 14*, è quello relativo ai valori di SOC e MINSOC (questa volta in kWh). In particolare, è possibile notare dal grafico come in ogni ciclo di carica il veicolo raggiunge sempre la massima capacità della batteria (27 kWh) anche se la minima capacità necessaria a percorrere il chilometraggio per la giornata successiva è nettamente inferiore. La MINSOC, inoltre, sarà il vincolo minimo che un Aggregatore, un ottimizzatore o un supervisore esterno non dovrà superare per ciascun istante di tempo, in maniera tale da non intaccare la qualità del servizio (percorrenza prevista per il giorno successivo) per l'utente finale. Queste considerazioni di carattere qualitativo diverranno valori quantificati nel grafico successivo.

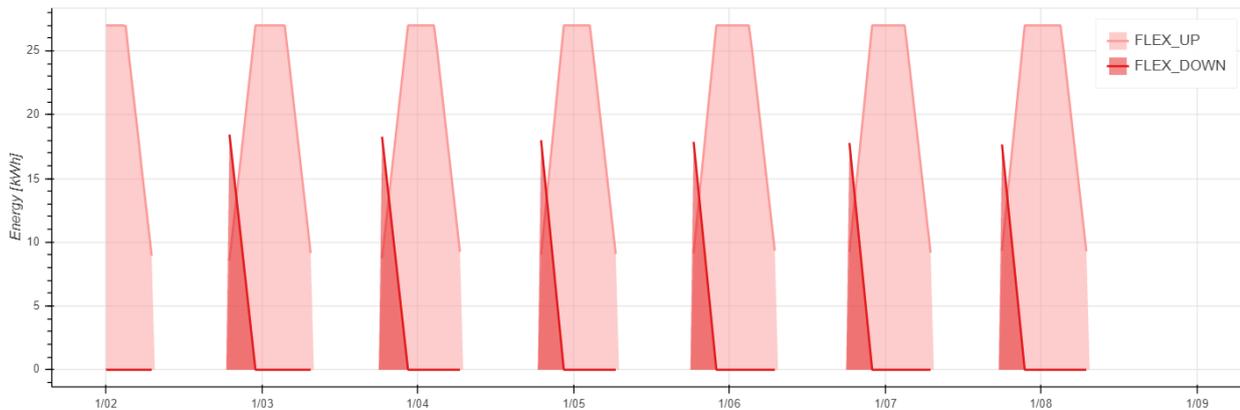


Figura 15 - Terzo plot mostrato cliccando il button “Show Aggregate” (utilizzabile anche nel caso del singolo consumer) con le aree di Flessibilità disponibile in ottica V2G (area rosa, Flex UP) e G2V (area rossa, Flex Down).

Il terzo grafico, infatti, mostrato in Figura 15, è quello relativo alla flessibilità che il singolo veicolo elettrico rende disponibile in ottica V2G (area rosa, Flex UP) e G2V (area rossa, Flex Down). In particolare, è possibile notare come, visto il profilo di carica effettuato (non appena il veicolo è connesso viene immediatamente caricato con la massima potenza erogabile dalla colonnina) la possibilità di G2V è limitata alle prime ore in cui il veicolo è connesso e il massimo di energia non supera mai i 18 kWh. Al contrario, la flessibilità in uno scenario V2G, nel primo giorno di simulazione inizia con il valore massimo (27 kWh) e, per ogni istante di tempo, assumerà un valore che rispetta il vincolo legato alla MINSOC considerando al contempo la capacità di erogazione di potenza della colonnina a cui è connesso il veicolo. Nei giorni seguenti è possibile notare come il valore iniziale di flessibilità V2G al momento della connessione del veicolo alla colonnina è più basso (inferiore ai 10kWh), per via del fatto che il consumer ha percorso un certo chilometraggio durante la giornata. Tale valore di Flex_Up aumenterà nelle prime ore di connessione (mentre il veicolo viene caricato) e si attesta al valore massimo di 27 kWh al termine della carica, per poi scendere, al momento della disconnessione, fino al valore di energia necessario per permettere al consumer la percorrenza del chilometraggio previsto nel giorno seguente. È possibile notare come, per ogni giorno di simulazione, il consumer in questione avrebbe a disposizione tra i 9 kWh e i 10 kWh al momento della disconnessione dalla stazione di ricarica, lasciando quindi la possibilità di implementare logiche di DSM in maniera flessibile, sia in termini di V2G, sia di modulazione o shift del processo di carica.

3.5 Files prodotti dalla simulazione

In Figura 11 è presente anche l’opzione per scaricare tutti i risultati della simulazione e tutti gli eventi della classe consumer generati per ulteriori analisi, integrazioni o per il loro sfruttamento in ambienti esterni di simulazione.

In particolare, cliccando il button “Download JSON”, l’utente potrà scaricare un file .zip con all’interno una cartella contenente i files relativi al progetto di simulazione appena creato, come mostrato in Figura 16.

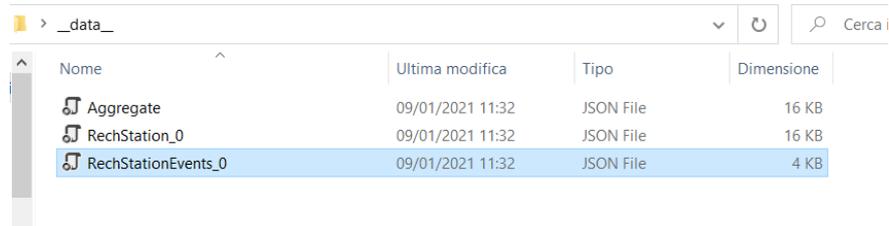


Figura 16 - Files che vengono scaricati cliccando il button “Download JSON”.

In particolare il file “Aggregate.json” contiene tutti i valori delle serie temporali che sono rappresentate graficamente all’interno delle Figura 13, Figura 14 e Figura 15, nella forma tipica del formato .json chiave-valore. In particolare, si ottengono informazioni del seguente tipo:

```
{“energy”: [0.0, ... 0.0], “power”: [0.0, ...0.0], “soc_en”: [27.0,...100], “minsoc_en”: [0.0027,... 10], “flex_up”: [26.9973,...10], “flex_down”: [0.0,... 0.0] }
```

In cui ogni valore di ciascuna variabile è temporalmente ordinato dalla mezzanotte del primo giorno di simulazione alla mezzanotte dell’ultimo e due valori consecutivi sono temporalmente distanziati tra loro del valore del tempo di campionamento. I valori “null” rappresentano i momenti in cui il veicolo elettrico non è connesso alla colonnina di ricarica elettrica.

Il file “RechStation_0.json”, allo stesso modo, contiene tutti i valori delle serie temporali rappresentate graficamente all’interno della Figura 12, nello stesso formato del file “Aggregate.json”.

Infine, il file “RechStationsEvents_0”, simulando quelli che sono i dati ottenibili mediante la comunicazione con la stazione di ricarica e con il consumer, contiene tutte le informazioni del veicolo elettrico nell’istante in cui si connette alla colonnina di ricarica. Parte di tali informazioni saranno poi utilizzate per la creazione di un simulatore in ambiente Matlab Simulink (descritto nel D3.6c) in modo da poter controllare la potenza erogata da ogni colonnina (o immessa dal veicolo alla rete) della simulazione. Il file ha il seguente formato:

```
“event_1”: {“uuid”: “1635394326f446ba82e7daf4c9862d3d”, “incremental_id”: 1, “time_resolution_min”: 30, “simulation_days”: 7, “min_rech_en”: 17.86, “min_rech_hours”: 2.06, “delta_en”: 0, “hours_surplus”: 10.94, “energy_surplus”: 49.21, “plug_in_time”: “19:00”, “plug_out_time”: “08:00”, “plugin_time_index”: 37, “plugout_time_index”: 63, “SOC_perc”: 31.72, “SOC_en”: 8.57, “rech_power”: 4.5, “minsoc_perc”: 66.13, “minsoc_en”: 17.86, “where”: “home_ev”, “battery_cap”: 27.0, “future_consumption_perc”: 59.69, “future_consumption_en”: 16.08}
```

“uuid” è un identificativo univoco dell’evento di connessione del particolare veicolo alla colonnina;
“incremental_id” è l’identificativo del veicolo (in questa simulazione con un solo veicolo, sarà sempre l’id numero 1 a connettersi alla colonnina);

“time_resolution_min” e “simulation_days” sono i parametri scelti per la simulazione nel pannello di configurazione iniziale (e saranno quindi fissi per tutti gli eventi nel file .json);

“min_rech_en” rappresenta la minima quantità di energia che il veicolo dovrà avere a fine ricarica;

“min_rech_hours” il numero minimo di ore di ricarica alla massima potenza erogabile dalla colonnina che serviranno a raggiungere il valore di “min_rech_en”;

“delta_en” rappresenta il delta di energia disponibile in ottica V2G all’istante di plug in del veicolo;

“hours_surplus” e “energy_surplus” rappresentano le ore e l’energia in eccesso che potrebbe essere caricata oltre le “min_rech_hours”;

“plug_in_time” e “plug_out_time” sono gli orari di connessione serale e disconnessione mattutina dalla stazione di ricarica in questione;

“plugin_time_index” e “plugout_time_index” rappresentano gli index temporali dall’inizio della simulazione in cui avvengono gli eventi di plug in e plug out (corrispondenti ai “plug_in_time” e “plug_out_time” precedentemente introdotti);

“SOC_perc” e “SOC_en” rappresentano la SOC in termini di percentuale ed energia nel momento in cui il veicolo si connette alla stazione di ricarica;

“rech_power” rappresenta il valore di potenza massimo erogabile dalla stazione di ricarica (ed è un valore fisso in tutti gli eventi per la singola stazione di ricarica);

“minsoc_perc” e “minsoc_en” rappresentano la SOC minima (in termini percentuali e di energia) che il veicolo elettrico dovrà avere al momento del plug out dalla stazione di ricarica per permettere al consumer di percorrere il chilometraggio atteso;

“where” rappresenta la tipologia di stazione di ricarica a cui si è connesso il veicolo identificato da “incremental_id” e può assumere i valori “home” e “public” (nell’esempio di simulazione riportato, la probabilità che l’utente si connettesse ad una stazione pubblica è stato impostato a 0, quindi si otterranno solo valori con campo “home”);

“battery_cap” rappresenta il valore in kWh di capacità massima della batteria (ed è un valore costante per il singolo veicolo);

“future_consumption_perc” e “future_consumption_en” rappresentano la percentuale di SOC e i kWh necessari alla batteria dell’EV per effettuare il chilometraggio atteso del consumer.

In alternativa cliccando in Figura 11 il button “Download CSV”, l’utente potrà scaricare un file .zip con all’interno una cartella contenente due files relativi al progetto di simulazione appena creato, come mostrato in Figura 17.

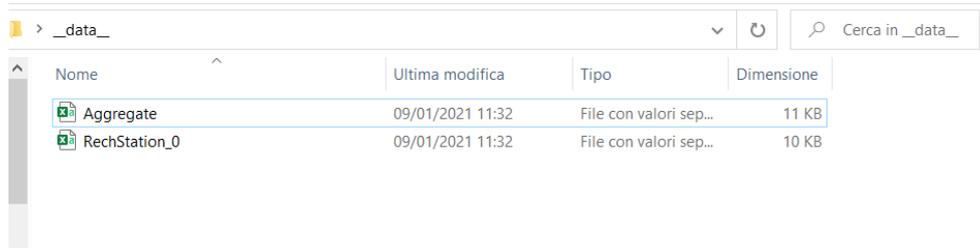


Figura 17 – Files che vengono scaricati cliccando il button “Download CSV”.

Come per il file “Aggregate.json”, anche il file “Aggregate.csv” contiene tutti i valori delle serie temporali che sono rappresentate graficamente all’interno delle Figura 13, Figura 14 e Figura 15, su diverse colonne, una relativa a ciascuna delle 6 variabili in cui le righe rappresentano i valori temporalmente ordinati dalla mezzanotte del primo giorno di simulazione alla mezzanotte dell’ultimo e due righe consecutive sono temporalmente distanziate tra loro del valore del tempo di campionamento. I valori “null” rappresentano i momenti in cui il veicolo elettrico non è connesso alla colonnina di ricarica elettrica.

Il file “RechStation_0.csv”, allo stesso modo del file “RechStation_0.json”, contiene tutti i valori delle serie temporali rappresentate graficamente all’interno della Figura 12, nello stesso formato del file “Aggregate.csv”.

3.6 Specifiche

- Python 3.7 (o più recente).
- Qualsiasi sistema operativo che supporti il linguaggio sopramenzionato.
- Sito web ePopSimulator: <http://193.206.121.28:32000/>

4 POSSIBILI INPUT DATA DRIVEN PER MODELLAZIONE DISTRETTI

Come già evidenziato nelle conclusioni della sezione sullo stato dell'arte, pur non esistendo dataset importanti per lo sviluppo di modelli completamente data driven, ne esistono di utili per poter sviluppare metodi e modelli data driven da utilizzare come dati di input nei modelli di simulazione delle colonnine. In questo paragrafo viene riportato un esempio di sviluppo di modelli per la simulazione di pattern di utilizzo delle colonnine di ricarica in distretti residenziali. A partire da un dataset reale, l'analisi si è concentrata su dati reali di 73 utenze residenziali. In particolare, l'obiettivo è stato quello di individuare le probabilità di ricarica nell'arco della giornata lavorativa da poter utilizzare come input del software di simulazione. Di seguito vengono riportati due di esempi riguardanti l'analisi di probabilità di ricarica nelle fasce orarie 10.00-11.00 e 17.00-18.00.

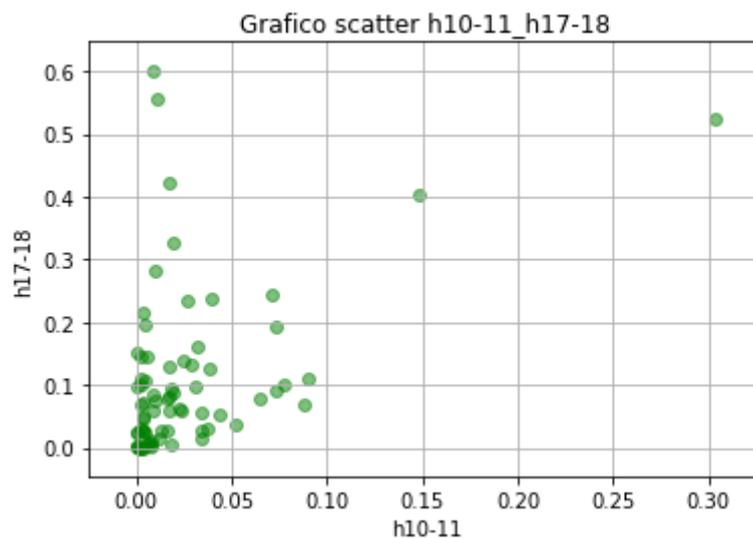


Figura 18 - Rappresentazione scatter fasce orarie 10-11 e 17-18

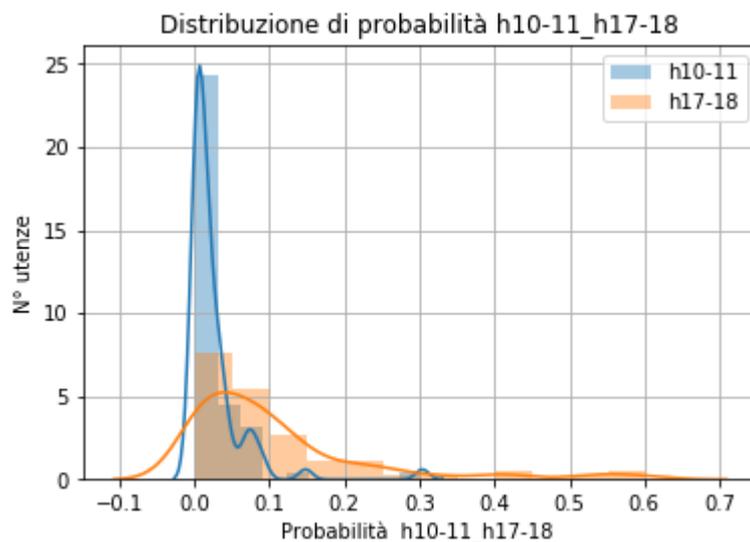


Figura 19 - Distribuzione di probabilità fasce orarie 10-11 e 17-18

La Figura 18, ad esempio mostra che è più probabile avere consumi da colonnine elettriche nella fascia 17-18 anziché 10-11. La Figura 19, conferma l'informazione della Figura 18 mostrando la distribuzione di probabilità di ricarica delle due fasce orarie in considerazione.

L'analisi della probabilità di ricarica è stata fatta per tutte le fasce orarie. Il risultato finale di questa prima di analisi dei dati è stata l'individuazione di 18 cluster di probabilità di ricarica (Figura 20). Questo risultato è stato applicato utilizzando la tecnica *K-means*.

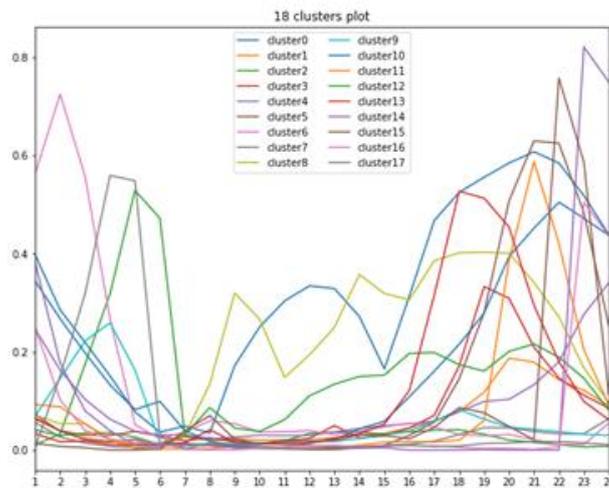


Figura 20 - *K-means* clustering con diciotto cluster

Questi primi risultati sono stati ulteriormente elaborati fino ad individuare quattro cluster di distribuzione di probabilità di ricarica (Figura 21). I quattro cluster individuati possono essere considerati rappresentativi delle seguenti utenze:

- Cluster 0 e cluster 2: utenti che prediligono la ricarica notturna, probabilmente perché fuori durante le ore lavorative. La probabilità di ricarica si concentra nelle fasce orarie 17.00-24.00 o 1.00-7.00. La durata di circa 7 ore potrebbe essere legata proprio alla durata di una ricarica lenta;
- Cluster 3: profilo di utente casalingo o che comunque frequenta l'abitazione durante tutto il giorno;
- Cluster 1: profilo di ricarica del fine settimana.

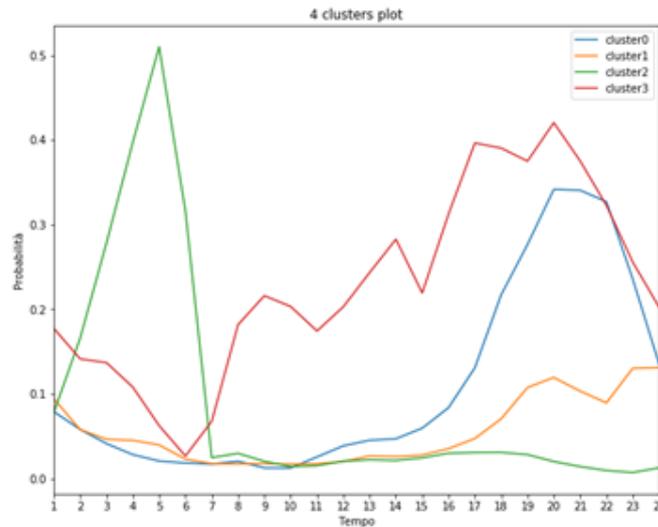


Figura 21 – Cluster di probabilità di ricarica per il distretto oggetto di indagine

Questi quattro profili di probabilità di inizio ricarica potranno essere quindi inseriti come input in ePopSimulator per una modellazione più verosimile del profilo dei consumi di ricarica residenziali nel distretto preso in considerazione.

5 CONCLUSIONI

In questo primo deliverable dell’A3.6 viene riportata l’attività di sviluppo di un simulatore di profili di consumo di colonnine di ricarica di veicoli elettrici sia pubbliche che private. Dall’indagine bibliografica iniziale sui dataset open utilizzabili per modellare l’impatto dei veicoli elettrici (EVs) è emerso che non esistono ancora, ad oggi, dataset con una mole di dati reali tale da poter sviluppare modelli completamente data driven per la modellazione dei consumi e del profilo di ricarica degli autoveicoli facilmente estendibili/adattabili a differenti contesti. Infatti, non solo la quantità di dati a disposizione è molto ridotta, ma anche la loro qualità è di scarsa utilità. Infatti, database estrapolati da certi contesti (ad esempio quello nordamericano) rendono eventuali modelli data driven poco generalizzabili al loro utilizzo in altri contesti (ad esempio quello italiano). Alcuni esempi di limitazioni alla estendibilità dei dataset individuati sono:

- Ridotta mole di dati, specie riguardo l’utilizzo di colonnine di ricarica;
- Dati riferiti a contesti potenzialmente molto diversi da quello italiano;
- Dati provenienti da progetti di ricerca, dunque rappresentanti situazioni potenzialmente diverse da un uso quotidiano tipo;

Per questo motivo, al termine dell’indagine bibliografica, si è deciso di sviluppare un modello ibrido per la simulazione di colonnine di ricarica, pubbliche o private, che potesse generare i loro profili di carica, in forma singola e/o aggregata, a partire da dati definiti dall’utente o provenienti da statistiche o elaborati attraverso modelli data driven su dati misurati. Infatti, l’analisi bibliografica, pur evidenziando una carenza di dati operativi sulle colonnine di ricarica di veicoli elettrici che impediscono lo sviluppo di modelli di colonnine di ricarica completamente data driven, ha evidenziato

una buona quantità di dati e statistiche utili per poter dettagliare gli input ed i vincoli ai fini di una simulazione verosimile di colonnine di ricarica.

ePopSimulator è un software di simulazione online ed è stato sviluppato in modo tale da essere uno strumento flessibile in grado di simulare nel modo più verosimile possibile il funzionamento reale dell'ecosistema legato al veicolo elettrico, inteso come l'insieme dei fattori che influenzano o possono influenzare il profilo di consumo del veicolo elettrico connesso alla colonnina. L'ecosistema modellato in ePopSimulator consiste di tre fattori principali: i) il veicolo elettrico; ii) la colonnina di ricarica; iii) l'Utente finale.

Il software fornisce come risultato il profilo di energia e di potenza della singola colonnina, l'energia accumulata all'interno della batteria dell'autoveicolo connesso alla colonnina, l'energia minima richiesta dall'utente al momento della disconnessione del veicolo dalla colonnina per soddisfare le proprie esigenze di percorrenza, la flessibilità di scarica o di carica che la batteria può mettere a disposizione di un eventuale building energy management system della nanorete residenziale o della rete elettrica nazionale, nel caso di colonnina pubblica.

I risultati delle simulazioni mostrano che il software di simulazione raggiunge lo scopo prefissato di simulare in maniera verosimile il comportamento di una colonnina di ricarica pubblica o privata.

ePopSimulator è stato pensato per essere esteso alla simulazione di un parco di colonnine di ricarica di veicoli elettrici. La descrizione di come ePopSimulator sia stato esteso a tale scopo è l'oggetto del deliverable D3.6b "Sviluppo di una metodologia per poter modellare un aggregato di colonnine di ricarica per auto elettriche come un sistema di storage equivalente".

ePopSimulator è stato sviluppato come un software di simulazione online ed è reso disponibile alla comunità scientifica e imprenditoriale che vorrà farne uso.

6 BIBLIOGRAFIA

- [1] International Energy Agency (IEA), “Global ev outlook 2019: Scaling up the transition to electric mobility.” <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2019>.
- [2] Expert Group 3 (EG3), “Final report: Demand side flexibility, perceived barriers and proposed recommendations,” *European Smart Grid Task Force, EU Commission*.
- [3] K. M. Tan, V. K. Ramachandaramurthy, and J. Y. Yong, “Integration of electric vehicles in smart grid: A review on vehicle to grid technologies and optimization techniques,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 53, pp. 720–732, 2016.
- [4] S. Karnouskos and T. N. De Holanda, “Simulation of a smart grid city with software agents,” in *2009 third uk sim european symposium on computer modeling and simulation*, 2009, pp. 424–429.
- [5] J. R. Pillai and B. Bak-Jensen, “Impacts of electric vehicle loads on power distribution systems,” in *2010 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, 2010, pp. 1–6.
- [6] C. Shumei, L. Xiaofei, T. Dewen, Z. Qianfan, and S. Liwei, “The construction and simulation of v2g system in micro-grid,” in *2011 international conference on electrical machines and systems*, 2011, pp. 1–4.
- [7] A. Arancibia and K. Strunz, “Modeling of an electric vehicle charging station for fast dc charging,” in *2012 IEEE International Electric Vehicle Conference*, 2012, pp. 1–6.
- [8] G. Cardoso *et al.*, “Optimal investment and scheduling of distributed energy resources with uncertainty in electric vehicle driving schedules,” *Energy*, vol. 64, pp. 17–30, 2014.
- [9] “DER-cam.” <https://building-microgrid.lbl.gov/projects/der-cam>.
- [10] T. Novosel *et al.*, “Agent based modelling and energy planning—utilization of matsim for transport energy demand modelling,” *Energy*, vol. 92, pp. 466–475, 2015.
- [11] L. Bedogni *et al.*, “An integrated simulation framework to model electric vehicle operations and services,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 65, no. 8, pp. 5900–5917, 2015.
- [12] “VEINS.” <https://veins.car2x.org/>.
- [13] “Omnet++.” <https://omnetpp.org/>.
- [14] “SUMO.” <http://sumo.sourceforge.net/>.
- [15] E. S. Rigas, S. Karapostolakis, N. Bassiliades, and S. D. Ramchurn, “EVLibSim: A tool for the simulation of electric vehicles’ charging stations using the evlib library,” *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 87, pp. 99–119, 2018.
- [16] B. Canizes *et al.*, “Electric vehicles’ user charging behaviour simulator for a smart city,” *Energies*, vol. 12, no. 8, p. 1470, 2019.

- [17] “AVL cruise.” <https://www.avl.com/cruise>.
- [18] “CASPOC.” <https://www.integratedsoft.com/Products/caspoc.aspx>.
- [19] “EMCAS.” <https://ceesa.es.anl.gov/projects/emcas.html>.
- [20] “EnergyPLAN.” <https://www.energyplan.eu/>.
- [21] “FASTSim.” <https://www.nrel.gov/transportation/fastsim.html>.
- [22] “HOMER.” <https://www.homerenergy.com/index.html>.
- [23] “V2G-sim.” <http://v2gsim.lbl.gov/home>.