



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 di una metodologia per modellare un aggregato di colonnine di ricarica per auto elettriche come un sistema di accumulo equivalente**

*Rapporto Tecnico di Ricerca Industriale D3.6b*



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

## INDICE

Indice delle figure .....	4
Executive Summary.....	6
1 INTRODUZIONE .....	7
2 ePop simulator per aggregati di colonnine- tool online .....	8
2.1L’ecosistema di un aggregato di punti di ricarica di veicoli elettrici.....	8
2.2Input e funzionamento .....	9
2.2.1 Input e Motore di Simulazione .....	10
2.2.2 Output del Simulatore .....	14
2.3Specifiche.....	19
3 Risultati .....	19
3.1ePopSimulator Aggregatore/VPP per servizi di flessibilità alla rete .....	22
3.2ePopSimulator per la valutazione dell’impatto della mobilità elettrica sull’assorbimento di potenza dalla rete elettrica .....	26
4 CONCLUSIONI.....	29
Bibliografia .....	30

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 . Schermata iniziale del simulatore.....	9
Figura 2. Scelta dei sotto gruppi dei consumatori. Cliccando il button blu “Config” è possibile accedere al settaggio completo dei parametri. ....	10
Figura 3. L'utente ha accesso a una serie di parametri modificabili, per ogni sottogruppo, incluse distribuzione delle distanze di viaggio (commuting distances) e distribuzione dei budget (per generare la popolazione di veicoli elettrici), così come distribuzioni continue per gli orari degli eventi di plugout la mattina, eventuale ritorno presso l'abitazione a pranzo e il plug-in serale. ....	11
Figura 4. Distribuzioni mattutine e serali e rispettive funzioni di densità cumulative di probabilità relative agli eventi plug-in (prima riga) e agli eventi plugout (seconda riga). I diversi colori (blu e rosso) delle curve evidenziano le possibili scelte dell'utente al fine di determinare il comportamento dei diversi clienti. ....	12
Figura 5: Nel pannello di sinistra viene mostrato un esempio di inserimento di commuting distances come in Figura 2. Nel pannello di destra è rappresentata la distribuzione discreta corrispondente. I diversi colori (blu e rosso) delle curve evidenziano le possibili scelte dell'utente al fine di determinare il comportamento dei diversi clienti. ....	12
Figura 6: Nel pannello di sinistra, il grafico a barre rappresenta la distribuzione dei prezzi di listino inseriti nel documento cars-ranges.xlsx (Descritto nell'allegato A3.6a). La curva in rosso rappresenta il fitting (modello) dei prezzi di listino. Nel pannello di destra è rappresentata la distribuzione della popolazione generata dal modello. I diversi colori (blu e rosso) delle curve evidenziano le possibili scelte dell'utente al fine di determinare il comportamento dei diversi clienti. ....	13
Figura 7: Rappresentazione schematica del motore di simulazione. Il file di configurazione contiene le informazioni per generare la consumers population. Per ogni consumatore viene completata una routine giornaliera per un tempo stabilito nel file di configurazione. I dati in uscita vengono salvati ad ogni iterazione giornaliera.....	13
Figura 8. Output aggregato per 100 consumatori, 7 giorni e un tempo di campionamento di 30 minuti. Il primo pannello mostra la potenza e l'energia totale fornita dalla rete ai veicoli elettrici. Il secondo pannello mostra le SOC e MINSOC della flotta di EVs in termini di energia per ogni istante di campionamento. Il terzo pannello mostra l'energia disponibile per la rete dalla flotta EV (in ottica V2G, curva rosa) e l'energia che potrebbe essere fornita alla flotta di EV dalla rete (in ottica G2V, curva rossa) per ogni istante di campionamento. ....	15
Figura 9 . Json RechStation events.....	16
Figura 10 . Json RechStation.....	16
Figura 11 – Pagina web iniziale di configurazione dell'Aggregato.....	20
Figura 12 - Pagina di configurazione dei sottogruppi dei consumatori.....	20
Figura 13 - Pagina di configurazione dei sottogruppi dei consumatori (reddito e coomuting distance) .....	21
Figura 14 - Pagina di configurazione dei sottogruppi dei consumatori (orari).....	21
Figura 15 - Pagina di simulazione completata e opzioni disponibili.....	22
Figura 16 – Profilo aggregato della domanda di energia e dell'impegno di potenza delle colonnine .....	22
Figura 17 - Profilo aggregato dell'energia accumulata all'interno delle batterie dei veicoli elettrici .....	23
Figura 18 - Profilo aggregato della potenziale flessibilità del parco veicoli elettrici connessi .....	23
Figura 19 - Pagina di simulazione completata ed esempio di selezione di una singola colonnina .....	24
Figura 20 – Profilo Colonnina/Utente 27.....	24
Figura 21 – Profilo Colonnina/Utente 56.....	25
Figura 22 – Colonnina/Utente 12 .....	25
Figura 23 – Profilo Colonnina/Utente 31.....	25
Figura 24: Numero di stazioni di ricarica previste nella città di Osimo in accordo a 9 differenti scenari [1] .....	26

*Figura 25 – Profilo annuale dei consumi orari di energia elettrica consumata e della potenza prelevata dalla rete dalle 270 colonnine di ricarica ..... 27*

*Figura 26 – Profilo annuale dell’energia accumulata nelle 270 colonnine di ricarica ..... 27*

*Figura 27 - Profilo annuale della flessibilità nelle 270 colonnine di ricarica..... 28*

*Figura 28 – Profilo del prelievo di potenza nella settimana con massimo assorbimento di potenza..... 28*

## 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.

L'attività 3.6 è stata suddivisa in tre sotto-attività corrispondenti ad altrettanti deliverable. Il presente documento è il secondo deliverable dell'attività 3.6. Nel primo deliverable, D3.6a, dal titolo "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", è stato descritto in dettaglio ePopSimulator, il simulatore online di simulazione di profili di ricarica di singole colonnine di auto elettriche, pubbliche o private.

Questo secondo deliverable, la cui lettura presuppone quella del deliverable D3.6a, descrive l'attività svolta per estendere le funzionalità di ePopSimulator ad un aggregato di colonnine. Lo strumento sviluppato non è una mera estensione del primo software, sviluppato e descritto nel primo deliverable, per la simulazione di una colonnina di ricarica. Esso ricostruisce una platea di EV (marche, modelli, consumi...) associati ad una popolazione di consumatori (differenti per reddito, tipologia di lavoro, potenza impegnata della stazione di ricarica) e simula il profilo di consumo dell'insieme di colonnine come somma dei singoli profili simulati per ciascuna di esse, fornendo come risultato finale il profilo aggregato, su un determinato intervallo di tempo (giornaliero, settimanale, mensile, annuale o definito dall'utente) e passo temporale (orario, 15 minuti, minuto, o inferiore), dell'intero parco batterie collegate alle colonnine come fosse un unico accumulo equivalente da poter essere gestito da un soggetto Aggregatore (il gestore delle colonnine). Il simulatore sviluppato in questo deliverable, è pensato per essere utilizzato con differenti scopi di ricerca quali, ad esempio: la valutazione del potenziale impatto della mobilità elettrica, sia in termini di consumi che di potenza impegnata, in determinate zone della rete elettrica; lo studio di strategie di demand side management/flexibility che un Aggregatore può implementare per fornire servizi di flessibilità alla rete elettrica (vehicle-to-grid V2G e grid-to-vehicle, G2Vs) gestendo il parco colonnine come un virtual power plant (VPP).

Il deliverable descrive il simulatore ePopSimulator, nella sua versione "per colonnine aggregate". In particolare, vengono presentate due esempi di possibili applicazioni del software di simulazione:

- **soggetto Aggregatore di colonnine di ricarica elettriche:** in questo caso, ePopSimulator è utilizzato per simulare la potenziale flessibilità di un parco di colonnine pensato come un accumulo aggregato e gestito come un VPP.
- **Soggetto pianificatore di politiche ed infrastrutture per la mobilità elettrica:** in questo secondo caso, ePopSimulator è utilizzato per stimare il potenziale impatto della mobilità elettrica, sull'aumento dei consumi energetici e della potenza impegnata di un distretto.

il simulatore ePopSimulator è un simulatore online.

## 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 deliverable.

In questo 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", viene 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.

Conoscere il profilo di ricarica di un parco di colonnine elettriche sta diventando un aspetto sempre più importante visto il ruolo che la mobilità elettrica assumerà nei prossimi anni, anche in vista di futuri servizi ancillari alla rete. In particolare, l'insieme aggregato di veicoli elettrici collegati alle colonnine di ricarica potrà essere gestito in futuro per fornire flessibilità alla rete elettrica nazionale caricando (grid-to-vehicle, G2V) o scaricando (vehicle-to-grid, V2G) le batterie in maniera coordinata come fosse uno storage equivalente di grandi dimensioni o un impianto di potenza virtuale (virtual power plant, VPP).

Per questo, in assenza di dati reali, lo sviluppo di un valido simulatore è importante per simulare le interazioni tra veicolo e rete elettrica (V2G, G2V) e per sviluppare, quindi, strategie di demand side management/flexibility che coordinino l'insieme delle colonnine di ricarica come un unico virtual power plant. Oltre a fornire dati di simulazione per lo studio di strategie ottimali di gestione dell'aggregato di colonnine, il simulatore sviluppato permette anche di studiare l'impatto che la sempre maggiore diffusione di veicoli elettrici potrà avere sui consumi elettrici e sulla potenza elettrica impegnata (e quindi sulla infrastruttura elettrica) in un determinato distretto.

Il documento è strutturato come segue: dopo l'introduzione, il capitolo 2 presenta come la funzionalità del software online ePopSimulator sono state estese ad un insieme aggregato di colonnine di ricarica; il capitolo 3 riporta i risultati delle simulazioni applicate a due casi d'uso (soggetto Aggregatore di colonnine di ricarica elettriche, per simulare la potenziale flessibilità di un parco di colonnine gestito come un VPP; soggetto pianificatore di politiche ed infrastrutture per la mobilità elettrica per valutare l'impatto della mobilità elettrica sull'aumento dei consumi e della potenza richiesta nelle rete elettrica). Infine, il capitolo 4 riporta le conclusioni dell'attività svolta.

## 2 ePOP SIMULATOR PER AGGREGATI DI COLONNINE- TOOL ONLINE

Nel deliverable D3.6a “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” è stato ampiamente descritto il funzionamento del software ePopSimulator.

Questo è stato modificato per permettere la simulazione del profilo di consumo energetico di una popolazione di n colonnine di ricarica residenziale e/o pubbliche considerate in forma aggregata in un lasso di tempo di k giorni. Per ogni colonnina di ricarica dell’aggregato, il software simula lo stato di carica (SOC) dei veicoli elettrici collegati, 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).

È importante sottolineare il fatto che ePopSimulator, nella sua versione “aggregata”, è stato pensato per simulare il profilo di consumo di un parco di colonnine di ricarica di auto elettriche come somma dei profili delle singole colonnine e non come un unico profilo “monolitico”. È quindi possibile, scendere nel dettaglio del profilo di ciascuna singola colonnina di ricarica privata e/o pubblica che contribuisce al profilo di consumo aggregato di un parco di colonnine gestite da un soggetto Aggregatore come un unico accumulo/impianto virtuale (virtual power plant VPP).

### 2.1 L’ecosistema di un aggregato di punti di ricarica di veicoli elettrici

Nel deliverable D3.6a è stato descritto l’ecosistema che si è inteso modellare con il software ePopSimulator. Tale ecosistema si compone essenzialmente di tre fattori: il veicolo elettrico, la colonnina di ricarica e l’utente finale. Ciascun 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 del veicolo). Contestualmente, alla connessione del veicolo alla colonnina di ricarica, ciascun utente può esprimere le proprie esigenze, impostando come vincoli, l’orario a cui vuole che il veicolo disponibile (ora di disconnessione) e lo stato di carica minimo della batteria corrispondente alla capacità necessaria alla percorrenza giornaliera del giorno successivo.

Il passaggio fondamentale e maggiormente problematico legato all’estensione dell’utilizzo di ePopSimulator dalla versione “singola colonnina” alla versione “aggregato di colonnine” è quello della costruzione di un parco di veicoli elettrici verosimile che possa essere rappresentativo di una platea di utenti di un determinato distretto/contesto.

Questo passaggio è stato fatto generando un campione statistico di utenti a partire dal quale poter simulare i profili delle singole colonnine (così come descritto nel deliverable D3.6a).

Il campione di utenti viene generato a partire da una serie di dati statistici disponibili a livello nazionale in gran parte dei Paesi sviluppati. In questo modo è possibile simulare un distretto/platea/aggregato di colonnine che abbia almeno le caratteristiche della popolazione media nazionale, qualora non fossero disponibili dati più specifici per rappresentare una popolazione più circoscritta. Tuttavia,

almeno per l'Italia, molti dei dati statistici richiesti sono disponibile anche in un dettaglio regionale o provinciale, a volte persino comunale

Il fatto che questi dati statistici siano presenti nella maggior parte dei Paesi sviluppati rende il software ePopSimulator applicabile alla modellazione di parchi di colonnine elettriche anche nella maggior parte dei contesti internazionali.

La necessità di generare un campione verosimile di utenti a partire da statistiche disponibili spiega, in questa fase, la scelta dei parametri utilizzati per rappresentare il fattore "utente" all'interno dell'ecosistema veicolo elettrico; in particolare:

- Reddito: a partire dalle statistiche sulle fasce di reddito della popolazione è possibile definire una distribuzione di veicoli elettrici per "segmento" di mercato;
- Attività lavorativa e composizione dei nuclei famigliari: dalle numerose statistiche sulle attività lavorative (pensionati, lavoratori attivi, disoccupati e inoccupati) e dei nuclei famigliari (numero di componenti, percentuale di componenti che lavorano...) è possibile definire generare una distribuzione di probabilità di ricarica;
- Pendolarismo: dalle statistiche sulla distanza media percorsa e sul pendolarismo è possibile definire una distribuzione di "commuting distance".

Nei paragrafi successivi, vengono descritti nel dettaglio gli input e gli output del simulatore ePopSimulator nella versione "aggregato di colonnine" ed il suo funzionamento.

## 2.2 Input e funzionamento

La schermata iniziale di input del simulatore è la seguente:

**ePopSimulator**

Insert the configuration info and simulate.

Consumers ex: 100

Days ex: 7

Sample [min] ex: 30

Simulate

Advanced

Figura 1 . Schermata iniziale del simulatore.

Dove l'utente può impostare il numero di colonnine da simulare, il tempo di campionamento e il numero di giorni per la simulazione.

Come nella descrizione del simulatore per singola colonnina, il modulo fondamentale resta la classe Consumer. I cui parametri sono la commuting distance, il veicolo elettrico e la potenza impegnata dalla colonnina elettrica residenziale.

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 e motore di simulazione**.

Il modello di automobile, con la relativa capienza della batteria, autonomia e consumo medio, viene assegnato al consumatore sulla base di una popolazione di automobili generata dalla lista di veicoli attualmente presenti sul mercato, integrabile nel software tramite un file Excel. La popolazione di automobili viene generata attraverso il *fitting* delle fasce di prezzo del consumer con quelle delle automobili nel listino. Le curve di fitting consentite nell'inizializzazione del programma sono reperibili nella sezione **Input e motore di simulazione**.

La fornitura domestica di energia elettrica viene assegnata randomicamente tra 3.3, 4.5 e 6 kW.

Il ciclo giornaliero di simulazione dell'utente si basa sulla ripetizione quotidiana dello schema presentato nella descrizione del simulatore per singola colonnina.

### 2.2.1 Input e Motore di Simulazione

I parametri di input elencati nella sezione precedente sono necessari alla generazione della popolazione su cui avverrà la simulazione. In particolare, dal menu "advanced" nella schermata iniziale, si accede ad una schermata in cui l'utente può impostare un certo numero di "tipologie" di utilizzatori di veicoli elettrici, come mostrato in Figura 2.

## Consumers subgroups

Define consumers subgroups with different configurations...

Consumers subgroup 1 [%]	100	<a href="#">Config</a>
Consumers subgroup 2 [%]	0	<a href="#">Config</a>
Consumers subgroup 3 [%]	0	<a href="#">Config</a>
Consumers subgroup 4 [%]	0	<a href="#">Config</a>

[Save Changes](#) [Back](#)

Figura 2. Scelta dei sottogruppi dei consumatori. Cliccando il button blu "Config" è possibile accedere al settaggio completo dei parametri.

All'interno di ciascun sottogruppo è poi possibile andare a definire i seguenti parametri:

## Advanced configuration

Subgroup 1 Save Changes

**Commuting distances discrete distribution [%]**

29	32	18	21
< 10 km	11-30 km	31-50 km	> 50 km

**Consumers budget discrete distribution [%]**

20	50	20	10
10-30k€	31-50k€	51-70k€	71-100k€

**Morning departure time continuous distribution [hours]**

7.5	0.65	Plot
Mean	Variance	

**Evening return time continuous distribution [hours]**

19	1	Plot
Mean	Variance	

**Lunch return time continuous distribution [hours]**

13	0.4	Plot
Mean	Variance	

Save Changes
Back

Figura 3. L'utente ha accesso a una serie di parametri modificabili, per ogni sottogruppo, incluse distribuzione delle distanze di viaggio (commuting distances) e distribuzione dei budget (per generare la popolazione di veicoli elettrici), così come distribuzioni continue per gli orari degli eventi di plugout la mattina, eventuale ritorno presso l'abitazione a pranzo e il plug-in serale.

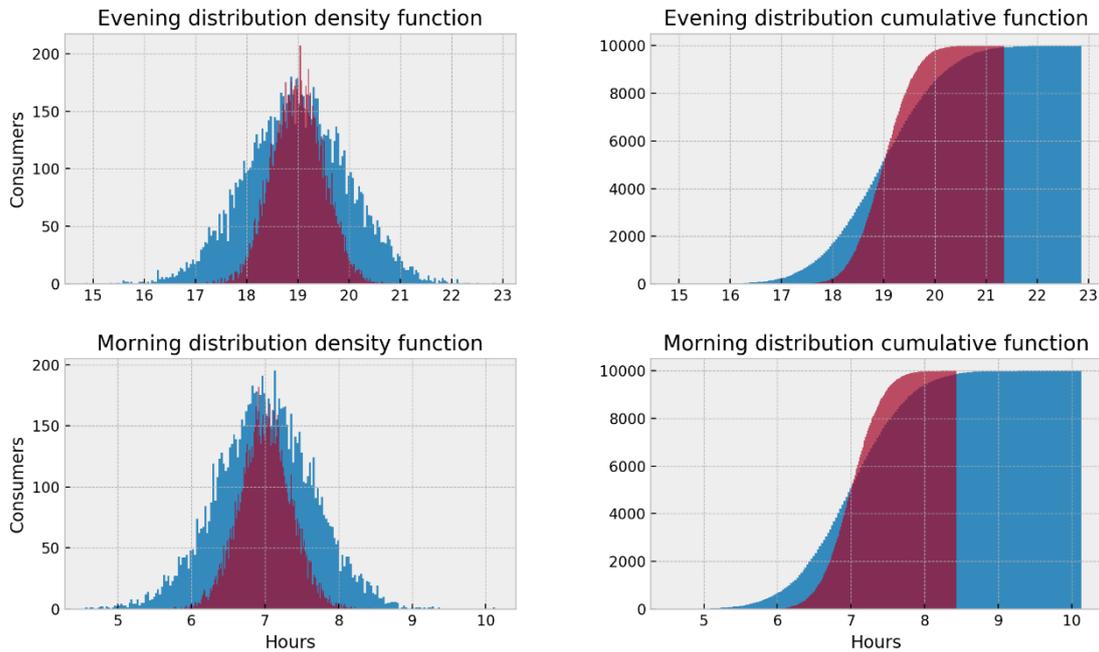


Figura 4. Distribuzioni mattutine e serali e rispettive funzioni di densità cumulative di probabilità relative agli eventi plug-in (prima riga) e agli eventi plugout (seconda riga). I diversi colori (blu e rosso) delle curve evidenziano le possibili scelte dell'utente al fine di determinare il comportamento dei diversi clienti.

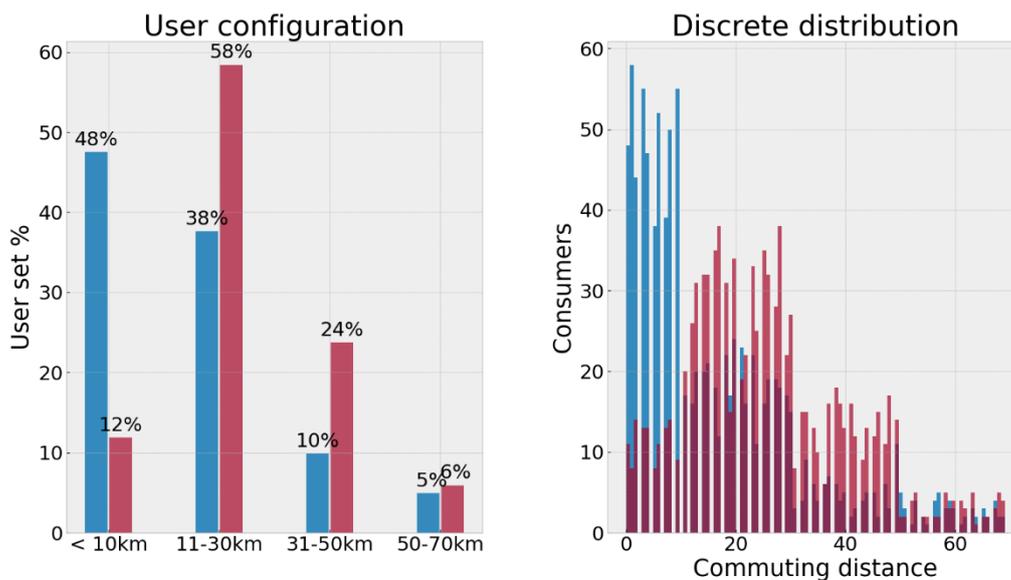


Figura 5: Nel pannello di sinistra viene mostrato un esempio di inserimento di commuting distances come in Figura 2. Nel pannello di destra è rappresentata la distribuzione discreta corrispondente. I diversi colori (blu e rosso) delle curve evidenziano le possibili scelte dell'utente al fine di determinare il comportamento dei diversi clienti

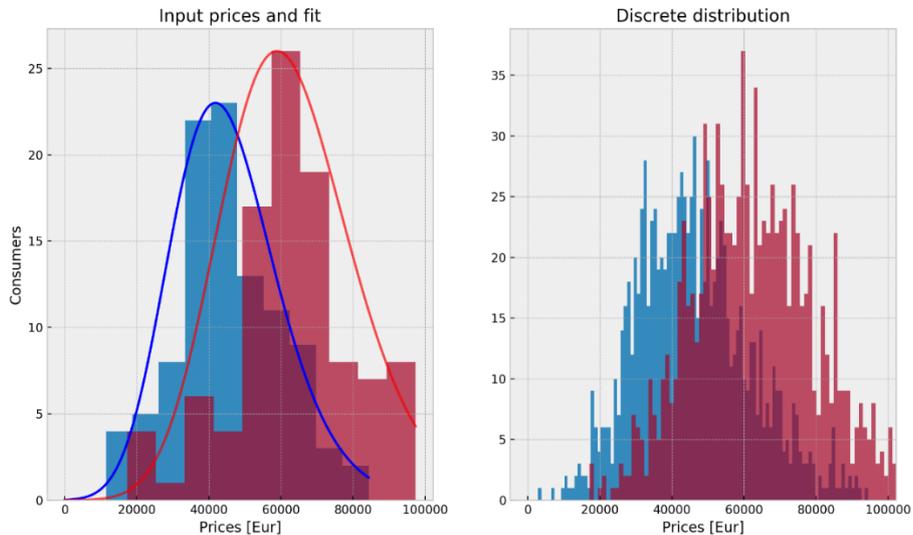


Figura 6: Nel pannello di sinistra, il grafico a barre rappresenta la distribuzione dei prezzi di listino inseriti nel documento cars-ranges.xlsx (Descritto nell'allegato A3.6a). La curva in rosso rappresenta il fitting (modello) dei prezzi di listino. Nel pannello di destra è rappresentata la distribuzione della popolazione generata dal modello. I diversi colori (blu e rosso) delle curve evidenziano le possibili scelte dell'utente al fine di determinare il comportamento dei diversi clienti

La simulazione è di tipo Monte Carlo: una popolazione di CONSUMERS\_POP soggetti viene fatta iterare come per un numero di volte pari a SIMULATION\_DAYS (cfr. Figura 7).

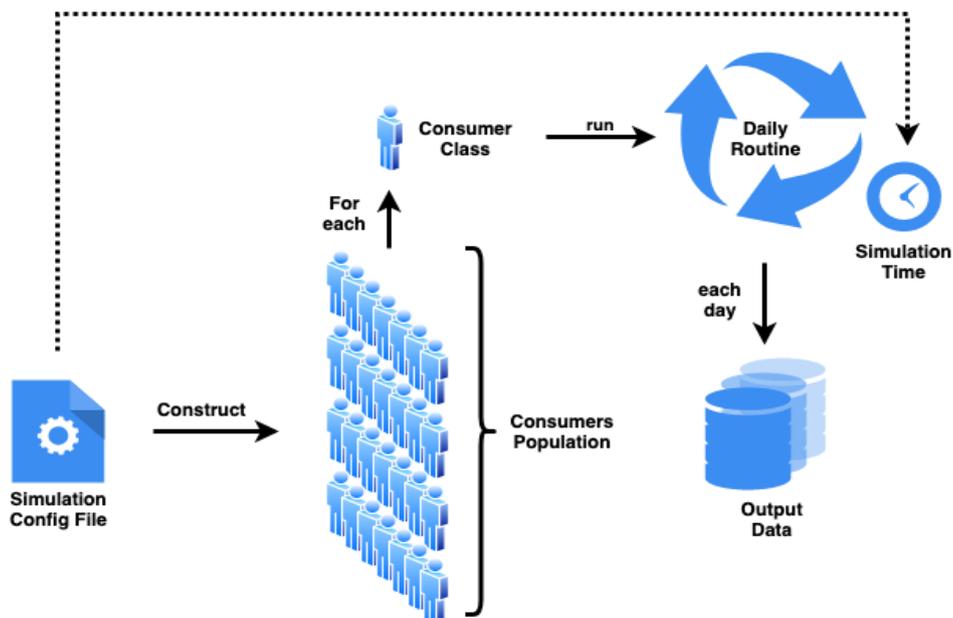


Figura 7: Rappresentazione schematica del motore di simulazione. Il file di configurazione contiene le informazioni per generare la consumers population. Per ogni consumatore viene completata una routine giornaliera per un tempo stabilito nel file di configurazione. I dati in uscita vengono salvati ad ogni iterazione giornaliera.

### 2.2.2 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, disponibili sia in formato aggregato, sia per tutti i singoli veicoli compresi nella simulazione:

{Power}: Potenza fornita all'aggregato di veicoli elettrici espressa in kW.

{Energy}: Energia fornita all'aggregato di veicoli elettrici espressa in kWh.

{SOC}: State of charge dell'aggregato di veicoli elettrici espressa in kWh.

{MINSOC}: Rappresenta il minimo valore complessivo di SOC che la batteria dell'aggregato di veicoli 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 l'aggregato di veicoli elettrici 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 all'aggregato di veicoli elettrici (G2V) per ogni intervallo di tempo, espressa in kWh.

{PLUGIN/PLUGOUT}: Eventi di Plugin e Plugout per i singoli veicoli elettrici 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:

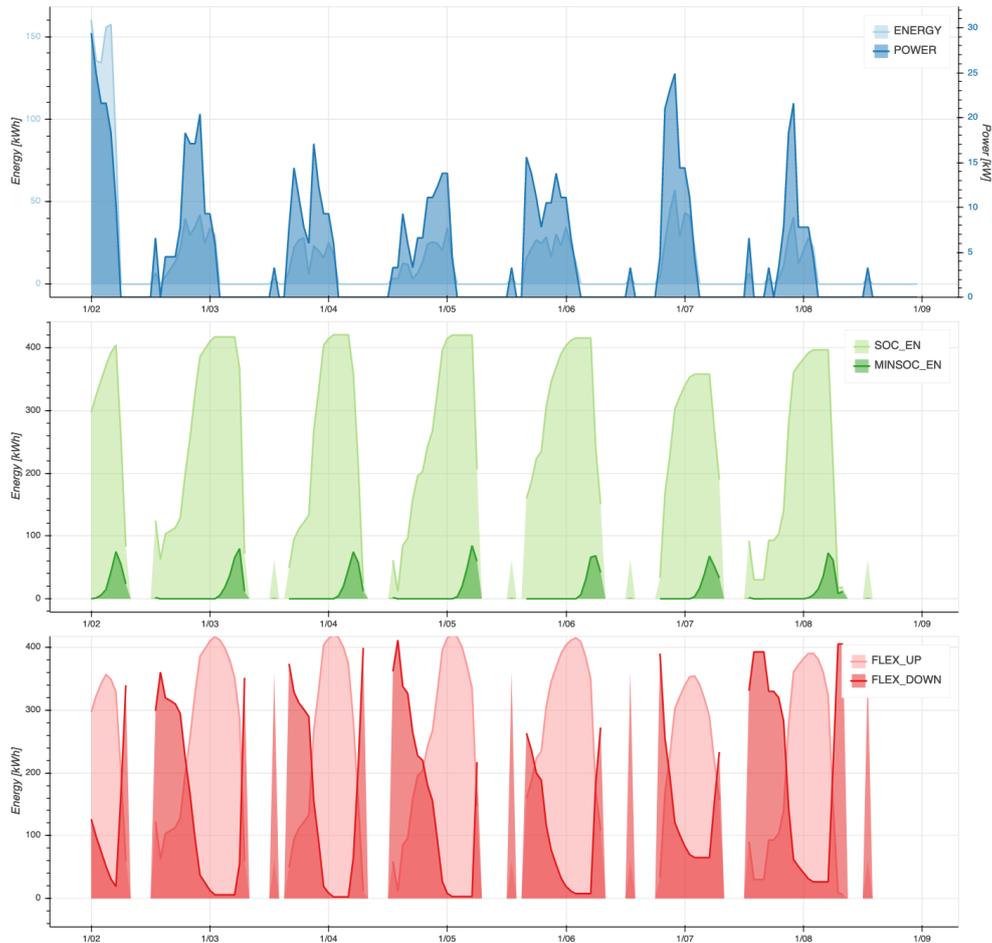


Figura 8. Output aggregato per 100 consumatori, 7 giorni e un tempo di campionamento di 30 minuti. Il primo pannello mostra la potenza e l'energia totale fornita dalla rete ai veicoli elettrici. Il secondo pannello mostra le SOC e MINSOC della flotta di EVs in termini di energia per ogni istante di campionamento. Il terzo pannello mostra l'energia disponibile per la rete dalla flotta EV (in ottica V2G, curva rosa) e l'energia che potrebbe essere fornita alla flotta di EV dalla rete (in ottica G2V, curva rossa) per ogni istante di campionamento.

I dati presenti per i soggetti simulati possono essere esportati in formato \*.csv, \*.xlsx, \*.pk1 o testuale per un'analisi statistica più approfondita.

C:\Users\utente\Downloads\sim\_data\_1 (1).zip\\_projects\_\1\data\_\

File Modifica Visualizza Preferiti Strumenti Aiuto

Aggiungi Estrai Verifica Copia Sposta Elimina Informazioni

Nome	Dimensi...	Dimensi...	Creato Ulti...	Attributi	Critt...	Com...	CRC Met...	Cara...	OS C...	Versi...	Indic...	Offset
Aggregate.json	784 309	784 309		-rw-r--r--	-		8678...	Store	Unix	20	0	101 ...
RechStation_217.json	416 438	416 438		-rw-r--r--	-		AF1E...	Store	Unix	20	0	118 ...
RechStation_224.json	413 959	413 959		-rw-r--r--	-		2FD...	Store	Unix	20	0	43 4...
RechStation_211.json	413 837	413 837		-rw-r--r--	-		92C4...	Store	Unix	20	0	151 ...
RechStation_230.json	413 774	413 774		-rw-r--r--	-		10B...	Store	Unix	20	0	175 ...
RechStation_274.json	413 756	413 756		-rw-r--r--	-		12D...	Store	Unix	20	0	182 ...
RechStation_41.json	413 489	413 489		-rw-r--r--	-		4F90...	Store	Unix	20	0	35 0...
RechStation_173.json	412 093	412 093		-rw-r--r--	-		71D...	Store	Unix	20	0	195 ...
RechStation_157.json	410 372	410 372		-rw-r--r--	-		06E7...	Store	Unix	20	0	150 ...
RechStation_84.json	410 295	410 295		-rw-r--r--	-		F2D...	Store	Unix	20	0	118 ...
RechStation_135.json	410 180	410 180		-rw-r--r--	-		FA1...	Store	Unix	20	0	167 ...
RechStation_33.json	409 712	409 712		-rw-r--r--	-		EE0A...	Store	Unix	20	0	107 ...
RechStation_3.json	409 517	409 517		-rw-r--r--	-		AC3...	Store	Unix	20	0	168 ...
RechStation_272.json	409 429	409 429		-rw-r--r--	-		439B...	Store	Unix	20	0	139 ...
RechStation_49.json	409 232	409 232		-rw-r--r--	-		B415...	Store	Unix	20	0	51 8...
RechStation_212.json	409 147	409 147		-rw-r--r--	-		CE73...	Store	Unix	20	0	59 2...
RechStation_5.json	409 131	409 131		-rw-r--r--	-		8085...	Store	Unix	20	0	175 ...
RechStation_318.json	409 006	409 006		-rw-r--r--	-		781...	Store	Unix	20	0	193 ...
RechStation_79.json	408 824	408 824		-rw-r--r--	-		9E35...	Store	Unix	20	0	183 ...
RechStation_309.json	408 753	408 753		-rw-r--r--	-		204A...	Store	Unix	20	0	214 ...
RechStation_116.json	408 734	408 734		-rw-r--r--	-		8F8B...	Store	Unix	20	0	29 2...
RechStation_31.json	408 537	408 537		-rw-r--r--	-		4D2...	Store	Unix	20	0	133 ...
RechStation_121.json	408 496	408 496		-rw-r--r--	-		7EAD...	Store	Unix	20	0	213 ...
RechStation_136.json	408 215	408 215		-rw-r--r--	-		600E...	Store	Unix	20	0	94 7...
RechStation_123.json	407 575	407 575		-rw-r--r--	-		A4F5...	Store	Unix	20	0	110 ...
RechStation_204.json	407 472	407 472		-rw-r--r--	-		DD7...	Store	Unix	20	0	20 7...
RechStation_51.json	407 385	407 385		-rw-r--r--	-		33CE...	Store	Unix	20	0	36 0...
RechStation_70.json	407 309	407 309		-rw-r--r--	-		D97...	Store	Unix	20	0	104 ...
RechStation_343.json	407 049	407 049		-rw-r--r--	-		CC4...	Store	Unix	20	0	79 6...

*Figura 9 . Json RechStation events*

sim\_data\_1\_json.zip\\_projects\_\1\data\_ - archivio ZIP, dimensione non-compressa di 215.086.067 bytes

Nome oggetto	Dimensione	Compresso Tipo
RechStationEvents_29.json	395.242	395.242 File JSON
RechStationEvents_30.json	196.987	196.987 File JSON
RechStationEvents_31.json	200.182	200.182 File JSON
RechStationEvents_32.json	199.148	199.148 File JSON
RechStationEvents_33.json	199.510	199.510 File JSON
RechStationEvents_34.json	199.187	199.187 File JSON
RechStationEvents_35.json	197.022	197.022 File JSON
RechStationEvents_36.json	396.143	396.143 File JSON
RechStationEvents_37.json	197.737	197.737 File JSON
RechStationEvents_38.json	198.463	198.463 File JSON
RechStationEvents_39.json	199.737	199.737 File JSON
RechStationEvents_40.json	197.330	197.330 File JSON
RechStationEvents_41.json	199.208	199.208 File JSON
RechStationEvents_42.json	197.014	197.014 File JSON
RechStationEvents_43.json	197.006	197.006 File JSON
RechStationEvents_44.json	197.007	197.007 File JSON
RechStationEvents_45.json	198.496	198.496 File JSON
RechStationEvents_46.json	199.182	199.182 File JSON
RechStationEvents_47.json	198.809	198.809 File JSON
RechStationEvents_48.json	198.496	198.496 File JSON
RechStationEvents_49.json	393.588	393.588 File JSON
RechStationEvents_50.json	197.388	197.388 File JSON
RechStationEvents_51.json	200.539	200.539 File JSON
RechStationEvents_52.json	197.715	197.715 File JSON
RechStationEvents_53.json	196.981	196.981 File JSON
RechStationEvents_54.json	200.904	200.904 File JSON
RechStationEvents_55.json	198.063	198.063 File JSON
RechStationEvents_56.json	198.804	198.804 File JSON
RechStationEvents_57.json	199.173	199.173 File JSON
RechStationEvents_58.json	197.741	197.741 File JSON
RechStationEvents_59.json	198.183	198.183 File JSON
RechStationEvents_60.json	198.157	198.157 File JSON
RechStationEvents_61.json	198.863	198.863 File JSON
RechStationEvents_62.json	197.739	197.739 File JSON
RechStationEvents_63.json	197.730	197.730 File JSON
RechStationEvents_64.json	199.174	199.174 File JSON

*Figura 10 . Json RechStation*

In particolare, dopo la simulazione di un aggregato di colonnine, scaricando i files in formato .json, verrà generato un archivio .zip contenente 3 tipi di files: un singolo file “Aggregate.json”, un file “RechStation\_X.json” e un file “RechStationsEvents\_0” per ciascun EV che si è scelto di simulare.

Il file “Aggregate.json” contiene tutti i valori delle serie temporali aggregate che sono rappresentate graficamente all’interno di Figura 8, nella modalità tipica del formato .json chiave-valore. In particolare, si ottengono le seguenti informazioni aggregate di tutto il parco veicoli:

```
{"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\_X.json”, allo stesso modo, contiene i valori delle serie temporali di energia [kWh], potenza [kW], SOC [%] e MINSOC [%] per il veicolo elettrico X per tutta la durata della simulazione, nello stesso formato del file “Aggregate.json”.

Infine, il file “RechStationsEvents\_X.json”, 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 X 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) generando così la possibilità di controllare il comportamento dell’intero aggregato di EV mediante un aggregator, un ottimizzatore o un supervisore esterno. 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 (nella simulazione di un aggregato di veicoli, questo parametro è la chiave per identificare il singolo veicolo);

"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 indicato con l'"incremental\_id" precedente;

"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";

"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.

Allo stesso modo è possibile effettuare l'export dei files in formato .csv. In questo caso i tipi di files generati all'interno dell'archivio .zip che viene scaricato sono soltanto due, ovvero "Aggregate.json" e "RechStation\_X.json" (come per i .json, sarà un singolo file per ogni EV simulato).

Come per il file "Aggregate.json", anche il file "Aggregate.csv" contiene tutti i valori delle serie temporali che sono rappresentate graficamente all'interno della Figura 8 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.

I files "RechStation\_X.csv", allo stesso modo dei files "RechStation\_X.json", contengono tutti i valori delle serie temporali del veicolo X, con 4 colonne relative ad energia [kWh], potenza [kW], SOC [%] e

MINSOC [%] e un numero di righe variabile con un valore per ogni istante di campionamento a partire dalla mezzanotte del primo giorno di simulazione fino alla mezzanotte dell'ultimo.

## 2.3 Specifiche

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

## 3 RISULTATI

In questo paragrafo viene riportato il funzionamento del software ePopSimulator per la simulazione di un aggregato di colonnine. In particolare, vengono presentate le due principali applicazioni per cui il software di simulazione è stato pensato:

- **soggetto Aggregatore di colonnine di ricarica elettriche:** in questo caso, ePopSimulator è utilizzato per simulare la potenziale flessibilità di un parco di colonnine pensato come un accumulo aggregato e gestito come un VPP.
- **Soggetto pianificatore di politiche ed infrastrutture per la mobilità elettrica:** in questo secondo caso, ePopSimulator è utilizzato per stimare il potenziale impatto della mobilità elettrica, sull'aumento dei consumi energetici e della potenza impegnata di un distretto.

In entrambi i casi, dal sito <http://193.206.121.28:32000/> (link provvisorio), è possibile accedere al configuratore. Nella prima schermata (*Figura 11*) è possibile impostare:

- Il numero di colonnine (consumers) da simulare;
- Il numero di giorni da simulare
- Il passo orario della simulazione in minuti (non c'è un limite al passo orario)



Figura 11 – Pagina web iniziale di configurazione dell’Aggregato

Prima di iniziare la simulazione è possibile andare a personalizzare la platea di consumatori da voler simulare. Nel caso di questa simulazione, sono stati definiti 3 sottogruppi di utilizzatori distribuiti come riportato in *Figura 12*.

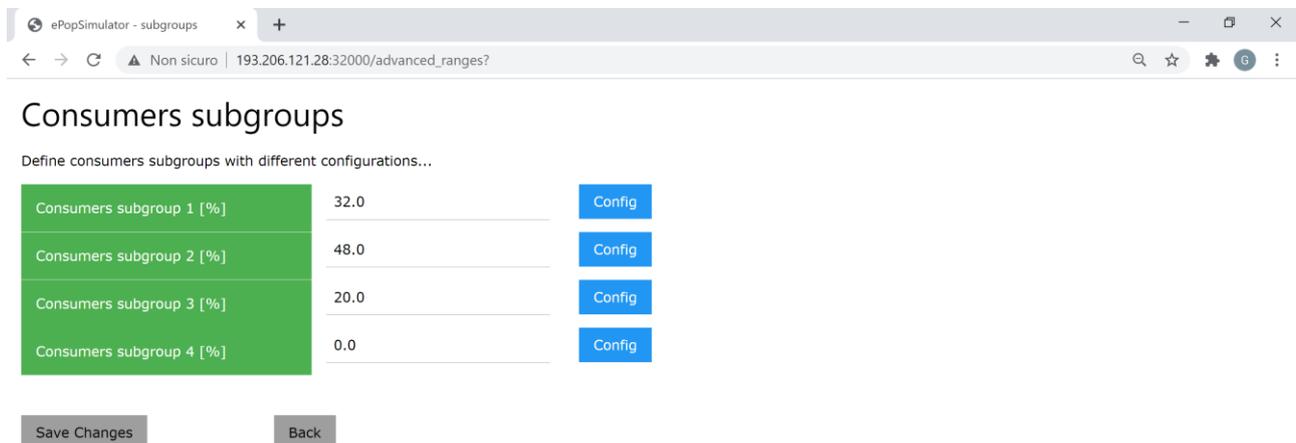
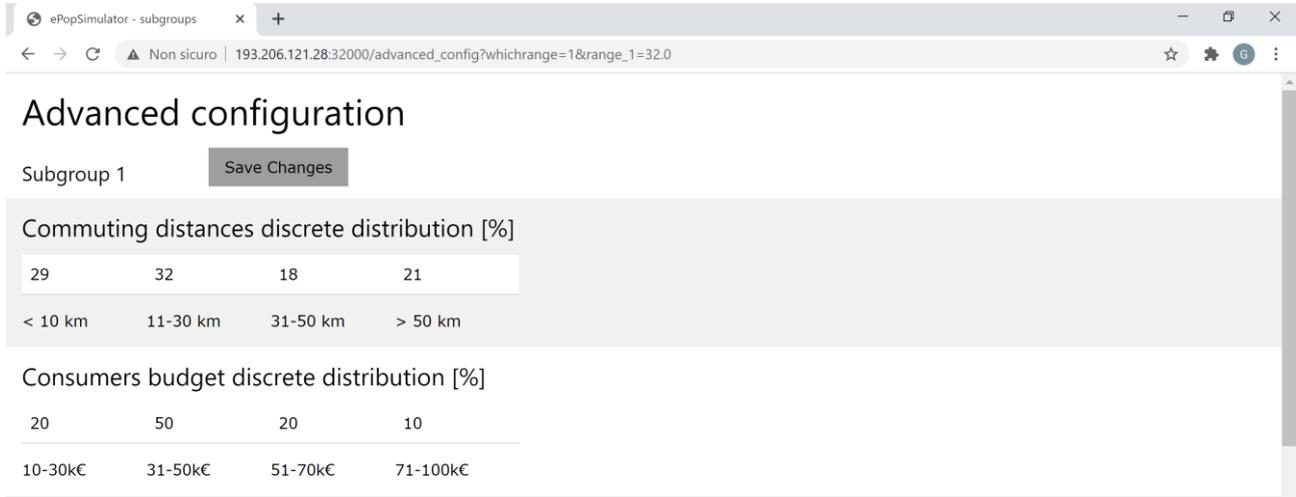


Figura 12 - Pagina di configurazione dei sottogruppi dei consumatori

Ciascun sottogruppo di consumatori potrà essere modellato a seconda dei parametri già descritti in questo deliverable e nel deliverable D3.6a. La *Figura 13* e la *Figura 14* riportano le distribuzioni statistiche del sottogruppo 1, in termini di reddito (budget), distanza dal posto di lavoro, orari di partenza, arrivo e pranzo.



Advanced configuration

Subgroup 1

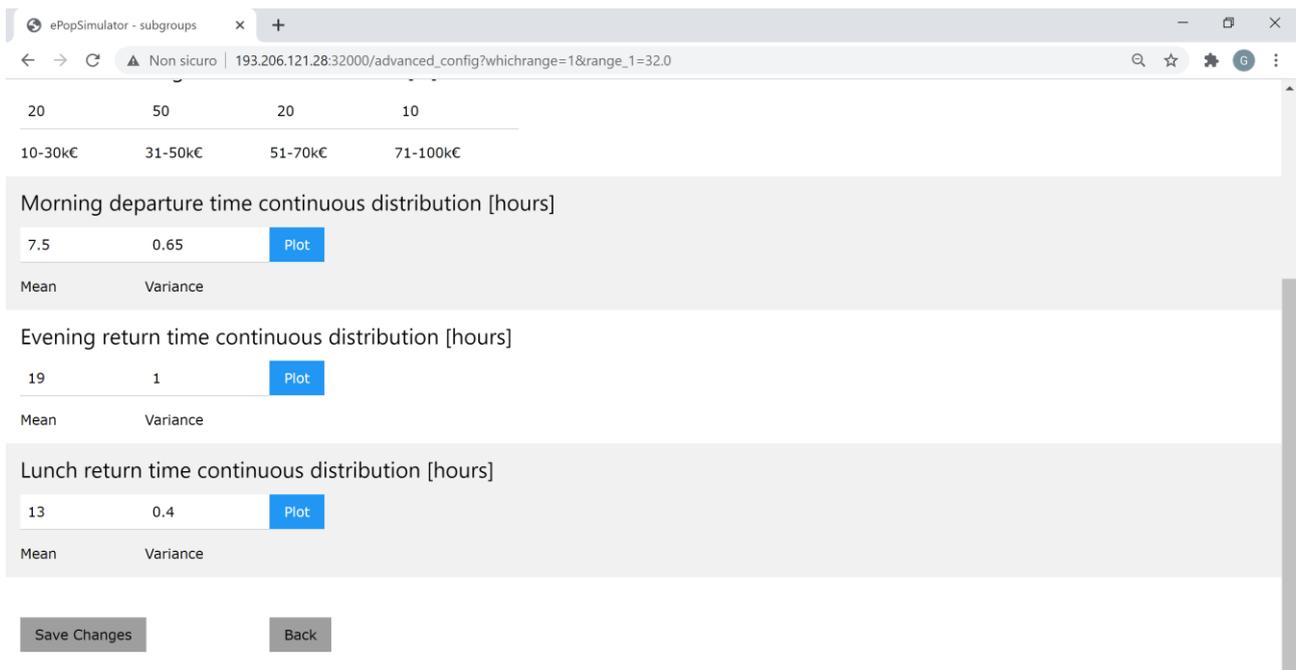
Commuting distances discrete distribution [%]

29	32	18	21
< 10 km	11-30 km	31-50 km	> 50 km

Consumers budget discrete distribution [%]

20	50	20	10
10-30k€	31-50k€	51-70k€	71-100k€

Figura 13 - Pagina di configurazione dei sottogruppi dei consumatori (reddito e commuting distance)



20 50 20 10

10-30k€ 31-50k€ 51-70k€ 71-100k€

Morning departure time continuous distribution [hours]

7.5	0.65	<input type="button" value="Plot"/>
Mean	Variance	

Evening return time continuous distribution [hours]

19	1	<input type="button" value="Plot"/>
Mean	Variance	

Lunch return time continuous distribution [hours]

13	0.4	<input type="button" value="Plot"/>
Mean	Variance	

Figura 14 - Pagina di configurazione dei sottogruppi dei consumatori (orari)

Una volta terminata la simulazione, lanciata cliccando sul pulsante “simulate” di Figura 11, appare la schermata in Figura 15, da cui è possibile: visualizzare i grafici della simulazione dell’intero aggregato (Show Aggregate) o della singola colonnina (Show Customer); scaricare l’intero dataset simulato.

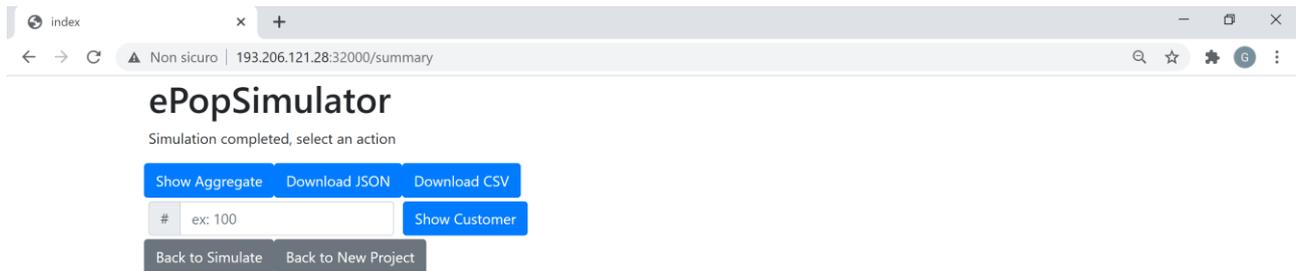


Figura 15 - Pagina di simulazione completata e opzioni disponibili

### 3.1 ePopSimulator Aggregatore/VPP per servizi di flessibilità alla rete

In primo questo caso d'uso, l'ePopSimulator è utilizzato per simulare la potenziale flessibilità di un parco di colonnine pensato come un accumulo aggregato e gestito come un VPP.

La Figura 16 mostra, con passo di 15 minuti, l'andamento aggregato della domanda di energia e dell'impegno di potenza delle 100 colonnine di ricarica simulate.

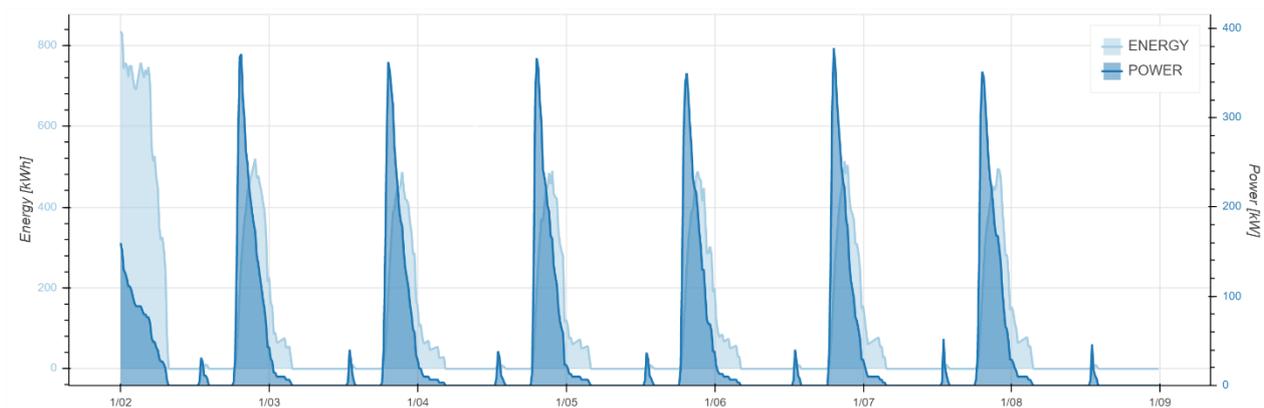
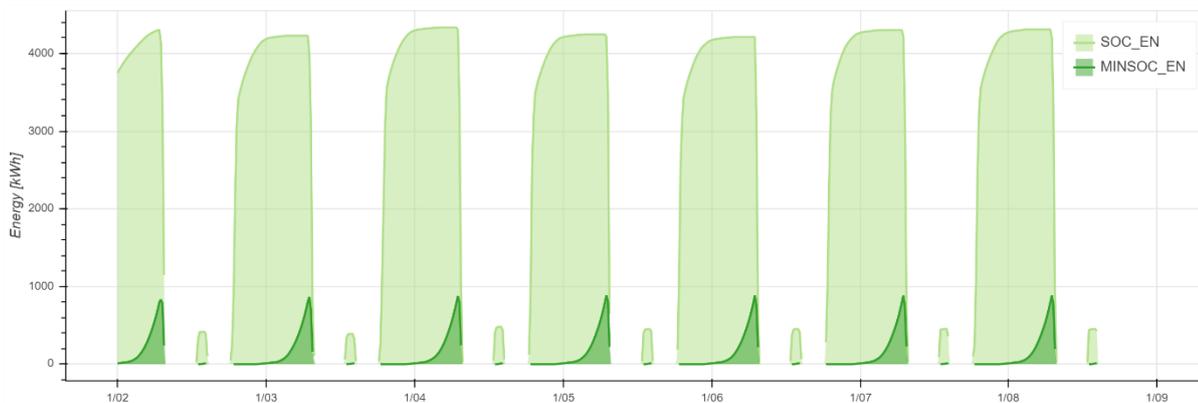


Figura 16 – Profilo aggregato della domanda di energia e dell'impegno di potenza delle colonnine

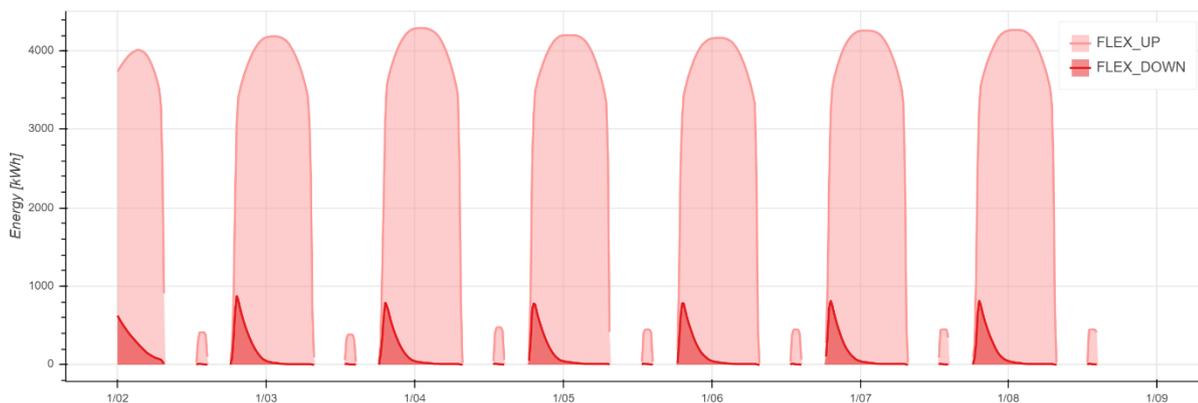
La Figura 17 mostra, in verde chiaro ("SOC\_EN"), l'andamento aggregato, con passo di 15 minuti, del totale dell'energia accumulata all'interno delle batterie dei veicoli elettrici collegati al parco di colonnine. In verde chiaro è riportato il profilo aggregato della quantità di energia minima ("MINSOC\_EN") richiesta dall'intero parco auto connesso alle colonnine di ricarica. Come già spiegato, questa quantità rappresenta la somma dei quantitativi minimi di energia (da accumulare) richiesta dalle singole auto elettriche al momento di disconnessione dalla colonnina per poter soddisfare la

percorrenza richiesta. Questo parametro è un vincolo inferiore alla flessibilità che potrebbe essere offerta alla rete.

La *Figura 18* mostra la flessibilità dell'intero Aggregato di colonnine in termini di energia disponibile per la "scarica verso la rete" (in ottica V2G, curva rosa) e di disponibile "per la carica dalla rete" (in ottica G2V, curva rossa) per ogni istante di campionamento. In particolare, lo stato iniziale della curva rosa rappresenta l'insieme dell'energia residua (SOC) all'interno del parco batterie man mano che i veicoli elettrici vengono connessi ed il processo di ricarica comincia. Inoltre, è evidente che man mano che il processo di ricarica del parco auto avanza nel tempo, la disponibilità a prelevare dalla rete è sempre più bassa fino ad azzerarsi nel momento in cui i veicoli sono stati tutti caricati.



*Figura 17 - Profilo aggregato dell'energia accumulata all'interno delle batterie dei veicoli elettrici*



*Figura 18 - Profilo aggregato della potenziale flessibilità del parco veicoli elettrici connessi*

Come anticipato, oltre all'Aggregato è possibile andare a visualizzare l'andamento della n-esima colonnina/utente (vedi *Figura 19*).

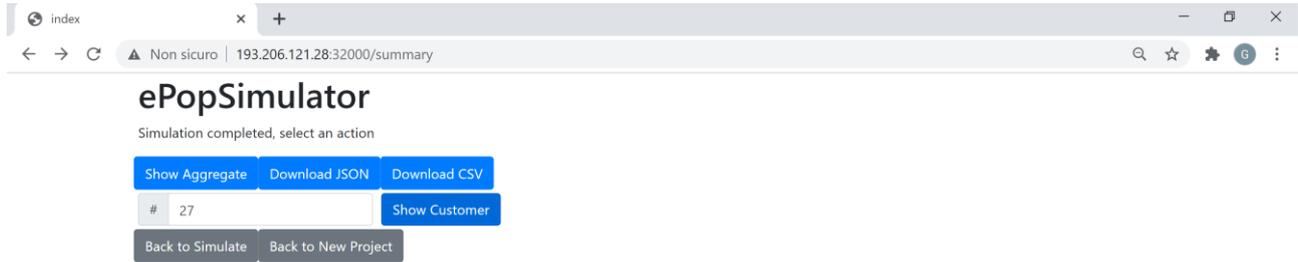


Figura 19 - Pagina di simulazione completata ed esempio di selezione di una singola colonnina

Le Figura 20, Figura 21, Figura 22 e Figura 23 riportano l'andamento di differenti utenti per mostrare che tutti i profili, tra i 100 simulate, sono diversi tra loro. In particolare, i profili scelti si differenziano per: potenza della colonnina di ricarica (3.3, 4.5, 6 kW), ora di connessione e disconnessione della colonnina (anche se difficilmente apprezzabile nelle figure), stato di carica della batteria al momento della connessione alla colonnina.

Non essendo stata implementata nessuna strategia di gestione, tutte le colonnine mostrano lo stesso andamento di ricarica: al momento della connessione del veicolo alla colonnina, inizia il processo di ricarica al massimo della potenza di carica della stessa; la durata della fase di ricarica varia a seconda del tipo di veicolo (caratteristiche batteria), della SOC al momento della connessione (funzione della batteria, dell'autonomia e della percorrenza media giornaliera) e, ovviamente, della potenza della colonnina.

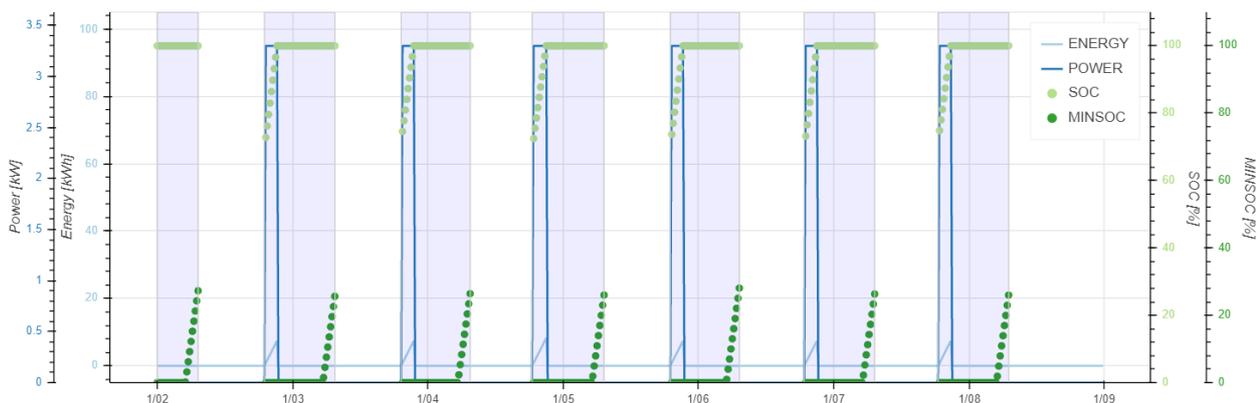


Figura 20 – Profilo Colonnina/Utente 27

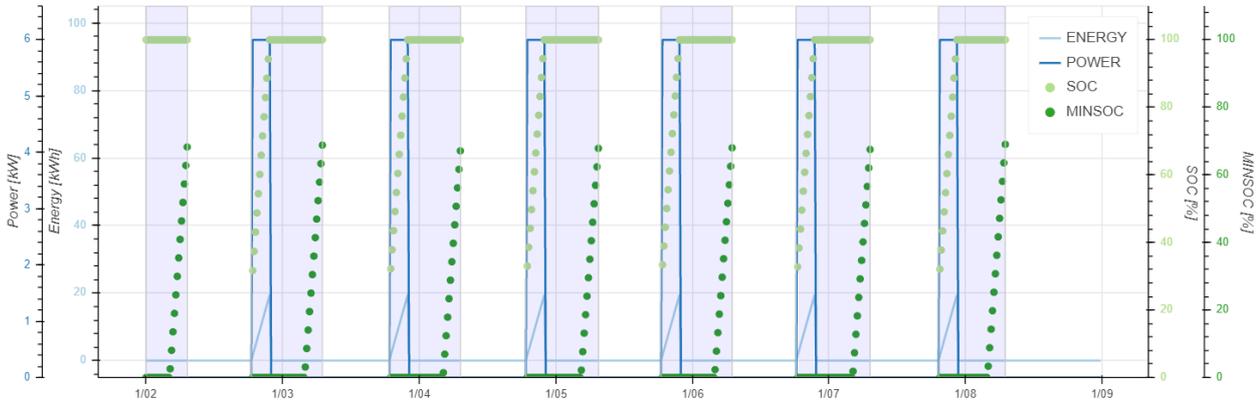


Figura 21 – Profilo Colonnina/Utente 56

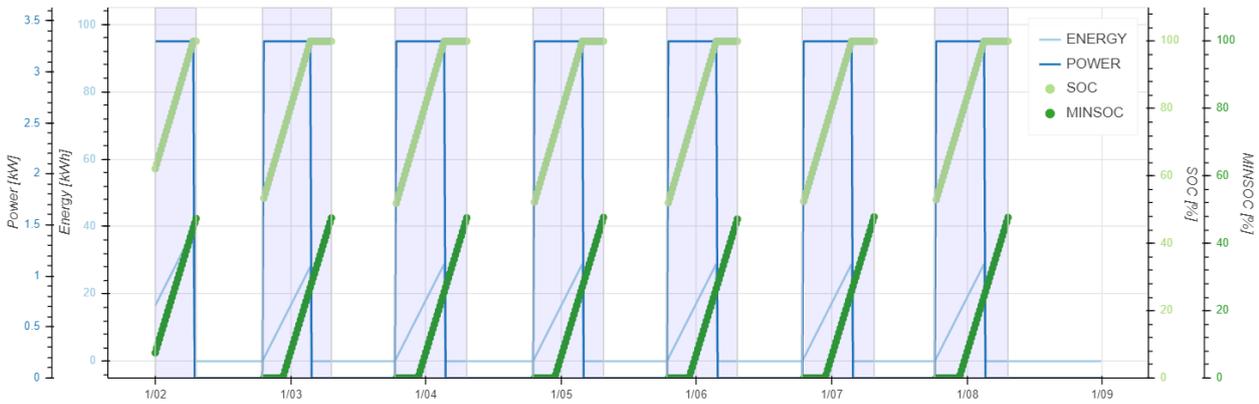


Figura 22 – Colonnina/Utente 12

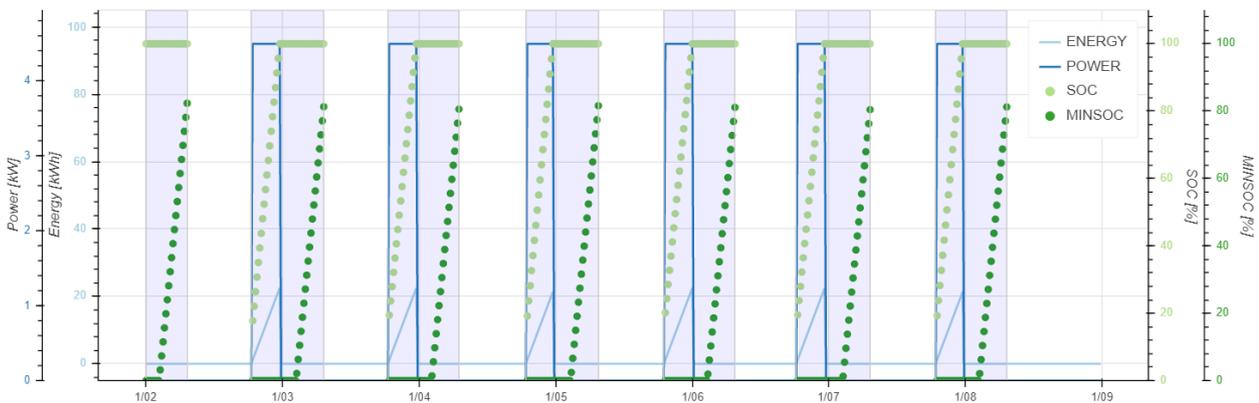
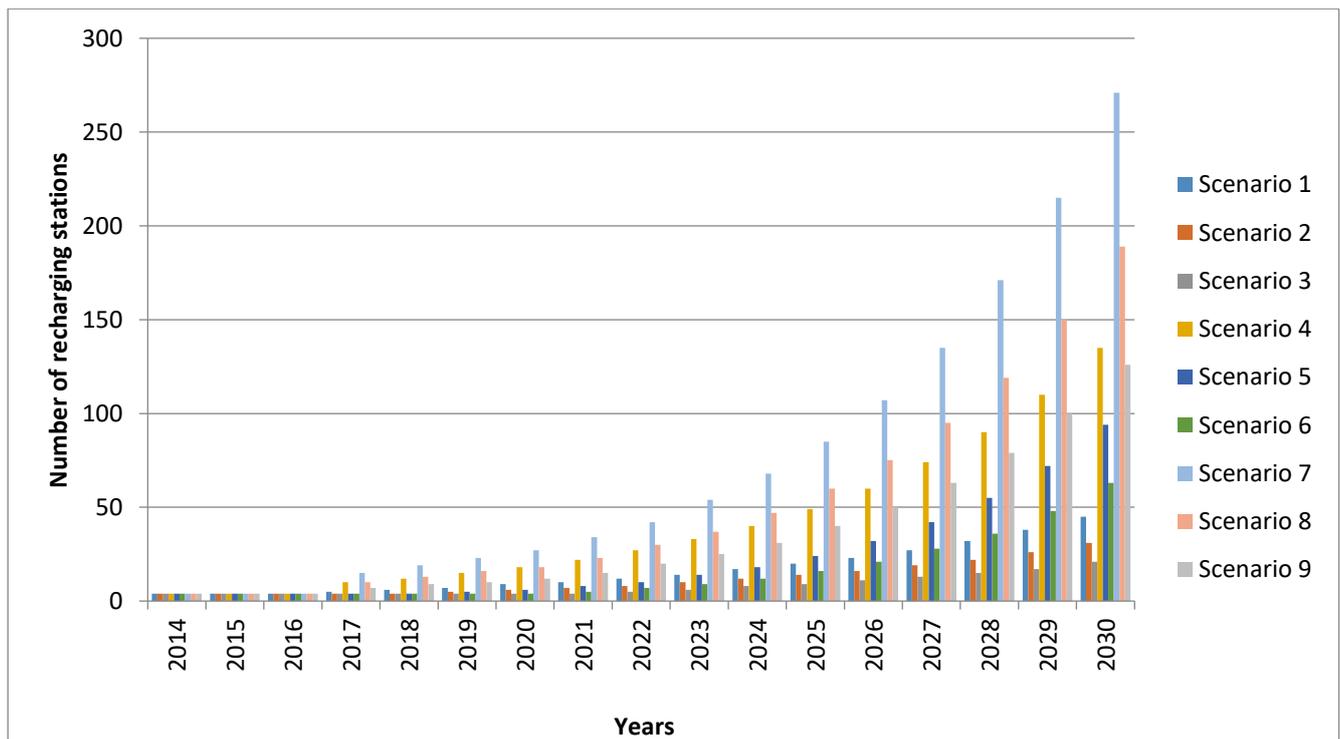


Figura 23 – Profilo Colonnina/Utente 31

### 3.2 ePopSimulator per la valutazione dell’impatto della mobilità elettrica sull’assorbimento di potenza dalla rete elettrica

In questo secondo caso, ePopSimulator è utilizzato per stimare il potenziale impatto della mobilità elettrica, sull’aumento dei consumi energetici e della potenza impegnata di un distretto. Soltanto a titolo di esempio, in questo paragrafo viene presentato l’utilizzo di ePopSimulator applicato ad un caso reale già studiato, in passato, dall’Università Politecnica delle Marche: la mini-rete cittadina della città di Osimo [1]. Lo studio di riferimento si riferiva a potenziali scenari di penetrazione di veicoli elettrici nella microrete cittadina gestita del distributore di energia elettrica locale e aveva l’obiettivo di valutare l’impatto della mobilità elettrica sui consumi elettrici futuri. Lo studio venne svolto partendo dai possibili scenari di penetrazione di EV presentati da TERNA. Senza voler entrare ulteriormente nei dettagli dello studio, la *Figura 24* riporta il numero di colonnine previste, dallo studio, nei nove scenari individuati ed analizzati.



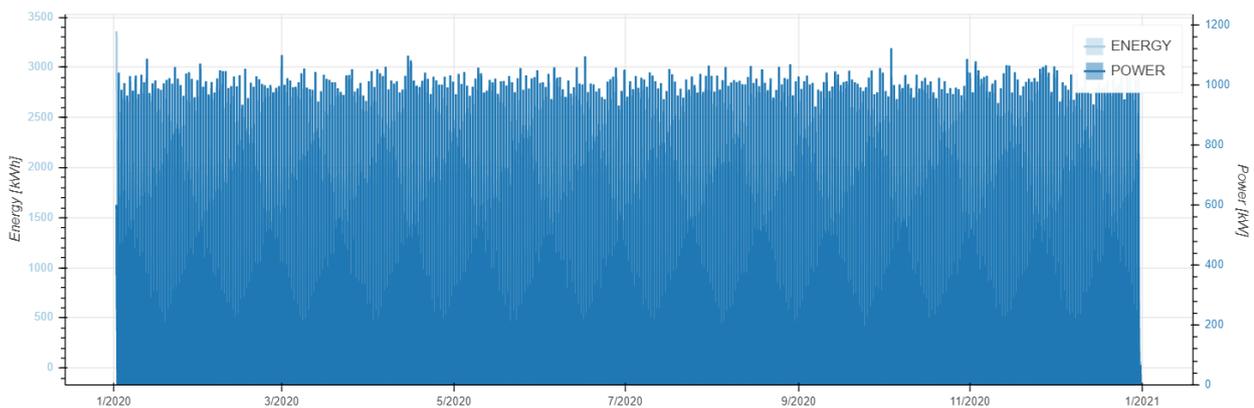
*Figura 24: Numero di stazioni di ricarica previste nella città di Osimo in accordo a 9 differenti scenari [1]*

Dato che lo scopo del presente documento è semplicemente quello di mettere in evidenza le funzionalità e le potenzialità del software di simulazione sviluppato, ePopSimulator è stato utilizzato solo per mostrare, a titolo di esempio, i risultati delle simulazioni applicate al caso con maggior numero (270) di colonnine di ricarica elettriche, sia pubbliche che private.

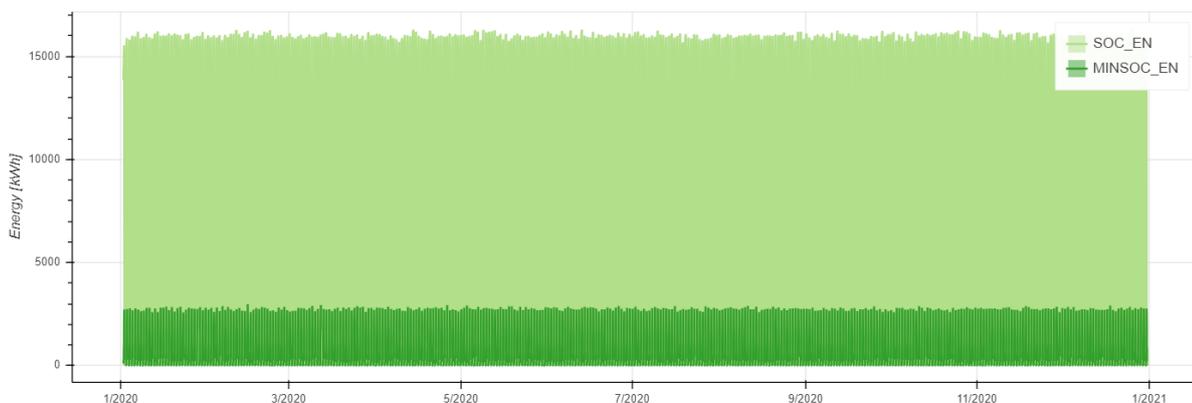
La *Figura 25* mostra, con passo orario, l’andamento dei consumi orari di energia elettrica consumata e della potenza prelevata dalla rete dalle 270 colonnine di ricarica.

La *Figura 26* mostra, in verde chiaro (“SOC\_EN”), l’andamento aggregato, con passo orario, del totale dell’energia accumulata all’interno delle batterie dei veicoli elettrici collegati al parco di colonnine. In verde chiaro è riportato il profilo aggregato della quantità di energia minima (“MINSOC\_EN”) richiesta dall’intero parco auto connesso alle colonnine di ricarica. Come già spiegato, questa quantità rappresenta la somma dei quantitativi minimi di energia (da accumulare) richiesta dalle singole auto elettriche al momento di disconnessione dalla colonnina per poter soddisfare la percorrenza richiesta. Questo parametro è un vincolo inferiore alla flessibilità che potrebbe essere offerta alla rete.

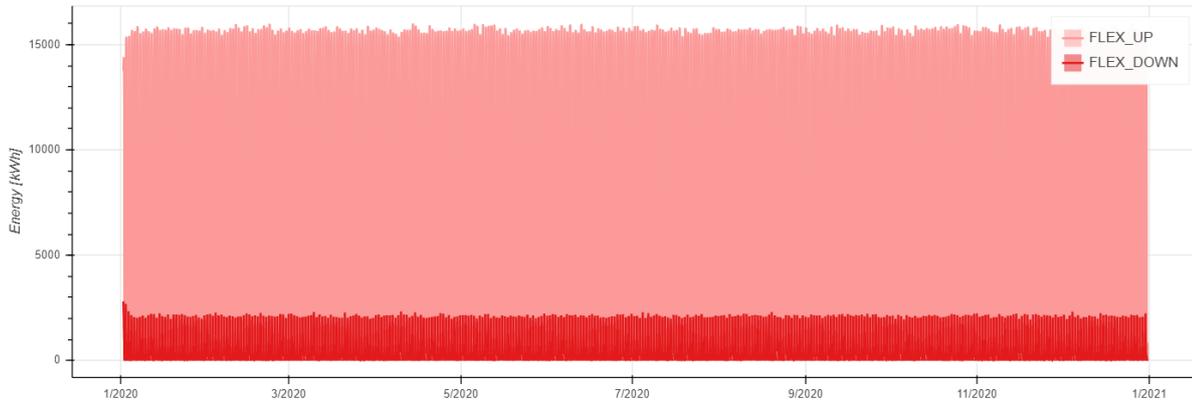
La *Figura 27* mostra la flessibilità del parco colonnine in termini di energia disponibile per la “scarica verso la rete” (in ottica V2G, curva rosa) e di disponibile “per la carica dalla rete” (in ottica G2V, curva rossa) per ogni istante di campionamento.



*Figura 25 – Profilo annuale dei consumi orari di energia elettrica consumata e della potenza prelevata dalla rete dalle 270 colonnine di ricarica*



*Figura 26 – Profilo annuale dell’energia accumulata nelle 270 colonnine di ricarica*

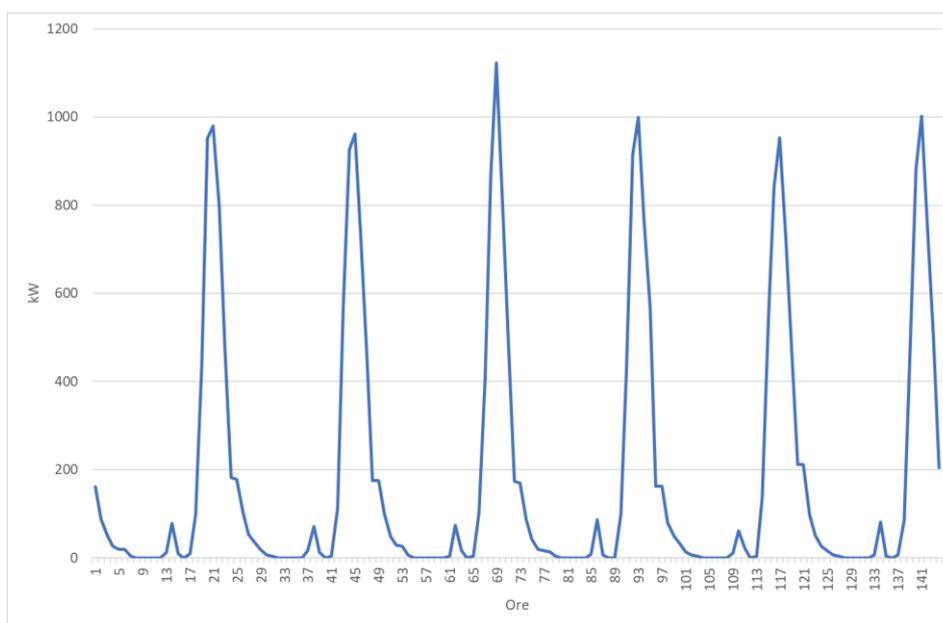


*Figura 27 - Profilo annuale della flessibilità nelle 270 colonnine di ricarica*

Ai fini della pianificazione della rete, il simulatore permette di stimare il potenziale impatto sui consumi e sull'impegno di potenza richiesto dalle 270 nuove colonnine di ricarica. In particolare:

- Incremento consumo annuale energia elettrica da colonnine di ricarica: 4,003 GWh
- Picco di potenza: 1122,6 kW
- Potenza media (escludendo i momenti senza ricarica): 246,7 kW
- Totale potenza installata colonnine: 1575 kW
- Coefficiente di contemporaneità massimo delle colonnine: 71%
- Coefficiente di contemporaneità medio delle colonnine: 16%

La *Figura 28* riporta l'andamento simulato della potenza assorbita dal totale delle 270 colonnine di ricarica nella settimana in cui risulta avvenire il picco massimo.



*Figura 28 – Profilo del prelievo di potenza nella settimana con massimo assorbimento di potenza*

## 4 CONCLUSIONI

Questo deliverable descrive l'attività svolta per estendere le funzionalità di ePopSimulator, già descritto nel D3.6a, ad un aggregato di colonnine. Lo strumento sviluppato non è una mera estensione del primo software, sviluppato e descritto nel primo deliverable, per la simulazione di una colonnina di ricarica. Esso ricostruisce una platea di EV (marche, modelli, consumi...) associati ad una popolazione di consumatori (differenti per reddito, tipologia di lavoro, potenza impegnata della stazione di ricarica) e simula il profilo di consumo dell'insieme di colonnine come somma dei singoli profili simulati per ciascuna di esse, fornendo come risultato finale il profilo aggregato, su un determinato intervallo di tempo (giornaliero, settimanale, mensile, annuale o definito dall'utente) e passo temporale (orario, 15 minuti, minuto, o inferiore), dell'intero parco batterie collegate alle colonnine come fosse un unico accumulo equivalente da poter essere gestito da un soggetto Aggregatore (il gestore delle colonnine). Il simulatore sviluppato in questo deliverable, è pensato per essere utilizzato con differenti scopi di ricerca quali, ad esempio: la valutazione del potenziale impatto della mobilità elettrica, sia in termini di consumi che di potenza impegnata, in determinate zone della rete elettrica; simulare una base di dati per lo studio di strategie di demand side management/flexibility che un Aggregatore può implementare per fornire servizi di flessibilità alla rete elettrica (vehicle-to-grid V2G e grid-to-vehicle, G2Vs) gestendo il parco colonnine come un virtual power plant (VPP).

Il deliverable descrive il simulatore ePopSimulator, nella sua versione "aggregata". In particolare, descrive come, attraverso una simulazione di tipo Montecarlo venga definita una popolazione di consumatori/EV/Colonnine (quello che nel D3.6a è stato chiamato l'"ecosistema" del veicolo elettrico) su cui simulare i profili di carica. Il software è pensato per essere il più flessibile possibile; esso consente, ad esempio, di: aggiornare il catalogo delle auto elettriche; definire tipologie di utenza con differenti fasce di reddito; percorrenze medie e orari di lavoro; definire il passo temporale della simulazione; definire la lunghezza del periodo di simulazione.

I principali risultati della simulazione, visualizzabili già da web, sono: il profilo di energia e potenza dell'aggregato di colonnine, l'energia accumulata all'interno dell'intero parco EV connesso alle colonnine, l'energia minima richiesta dal parco EV per soddisfare le esigenze minime delle utenze, la flessibilità di scarica o di carica che il VPP può mettere a disposizione della rete.

Infine, il software ePopSimulator è stato applicato a due possibili applicazioni di interesse:

- **soggetto Aggregatore di colonnine di ricarica elettriche:** in questo caso, ePopSimulator è utilizzato per simulare la potenziale flessibilità di un parco di colonnine pensato come un accumulo aggregato e gestito come un VPP.
- **Soggetto pianificatore di politiche ed infrastrutture per la mobilità elettrica:** in questo secondo caso, ePopSimulator è utilizzato per stimare il potenziale impatto della mobilità elettrica, sull'aumento dei consumi energetici e della potenza impegnata di un distretto.

In entrambi i casi, il simulatore ha mostrato la sua validità nel simulare profili verosimili di colonnine di auto elettriche. Questo aspetto è sicuramente di fondamentale importanza in un contesto energetico e di mercato a cui si stanno affacciando nuovi soggetti (Aggregatori) e a cui serve valutare, testare vecchi e nuovi business models in assenza di dati reali.

## **BIBLIOGRAFIA**

[1] G Comodi, F Caresana, D Salvi, L Pelagalli, M Lorenzetti. Local promotion of electric mobility in cities: Guidelines and real application case in Italy. Energy 95, 494-503 (2016)