

Ricerca di Sistema elettrico



Avvio CER: Sviluppo di modelli e implementazione di codici di calcolo per l'analisi tecnica ed economica di sistemi di accumulo e sistemi di ricarica di veicoli elettrici inseriti in comunità energetiche rinnovabili

Giovanni Brumana, Giuseppe Franchini, Elisa Ghirardi

Avvio CER: Sviluppo di modelli e implementazione di codici di calcolo per l'analisi tecnica ed economica di sistemi di accumulo e sistemi di ricarica di veicoli elettrici inseriti in comunità energetiche rinnovabili

LA 1.3 - Avvio CER: Sviluppo di modelli e implementazione di codici di calcolo per l'analisi tecnica ed economica di sistemi di accumulo e sistemi di ricarica di veicoli elettrici inseriti in comunità energetiche rinnovabili

Giovanni Brumana, Giuseppe Franchini, Elisa Ghirardi (Università degli Studi di Bergamo)

Dicembre 2024

Report Ricerca di Sistema Elettrico

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

Obiettivo: Decarbonizzazione

Progetto: 1.7 - Tecnologie per la penetrazione efficiente del vettore elettrico negli usi finali

Linea di attività: 1.3

Responsabile del Progetto: Claudia Meloni, ENEA

Responsabile del Work Package: Angelo Frascella, ENEA

Responsabile Linea di Attività: Giuseppe Franchini, Università di Bergamo

Mese inizio previsto: 13

Mese inizio effettivo: 13

Mese fine previsto: 36

Mese fine effettivo: 36

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione: "Avvio CER: Sviluppo di modelli e implementazione di codici di calcolo per l'analisi tecnica ed economica di sistemi di accumulo e sistemi di ricarica di veicoli elettrici inseriti in comunità energetiche rinnovabili"

Indice

1	Risultati attesi	4
1.1	Sistemi di accumulo energetico	4
1.2	Sistemi di ricarica di veicoli elettrici	5
2	Risultati ottenuti.....	6
2.1	Sistemi di accumulo energetico.....	6
2.2	Sistemi di ricarica di veicoli elettrici	6
3	Prodotti attesi - Deliverable	8
4	Prodotti sviluppati	9
4.1	Rapporto tecnico.....	9
4.2	Codici di calcolo	9
4.2.1	Modelli di sistemi di accumulo.....	9
4.2.2	Modelli di sistemi di ricarica di veicoli elettrici	10
5	Analisi degli scostamenti su attività e risultati.....	11
6	Sintesi delle attività svolte	12
6.1	Sistemi di accumulo energetico.....	12
6.2	Sistemi di ricarica di veicoli elettrici	12
7	Dettaglio delle attività svolte.....	14
7.1	Sistemi di accumulo energetico.....	14
7.2	Sistemi di ricarica di veicoli elettrici	17
8	Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte.....	23
9	Pubblicazioni scientifiche.....	24
10	Eventi di disseminazione	25

Indice delle figure

Figura 1 – Schema delle configurazioni ammissibili per il collegamento di un sistema di accumulo secondo le Regole tecniche del GSE.	14
Figura 2 – Logica di funzionamento del modello del sistema di accumulo.	15
Figura 3 – Risultati analisi di sensitività della capacità dei sistemi di accumulo	17
Figura 4 – Profili di prelievo della colonnina (punti) per le diverse aree e diverse probabilità di saturazione per colonnine a ricarica accelerata	20
Figura 5 – Profili di prelievo della colonnina (punti) per le diverse aree e diverse probabilità di saturazione per colonnine a ricarica veloce	21
Figura 6 – Schematizzazione dell'implementazione dei veicoli elettrici nei meccanismi V2G e V2H	22

Indice delle tabelle

Tabella 1 – Caratteristiche tecno-economiche delle principali tecnologie di accumulo elettrochimico	15
---	----

1 Risultati attesi

La presente linea di attività prevede lo sviluppo, l'implementazione e la validazione di modelli per l'analisi energetica ed economica di sistemi di accumulo energetico e di sistemi di ricarica di veicoli elettrici inseriti in configurazioni di autoconsumo diffuso (autoconsumatori collettivi, comunità energetiche rinnovabili) sulla base del quadro normativo e regolatorio in vigore. Tali modelli saranno implementati in codice di calcolo in ambiente Matlab e saranno sviluppati con una logica modulare che permetterà la loro efficiente interazione e l'integrazione nel simulatore RECON (quest'ultima operazione a cura di ENEA). I modelli permetteranno un'affidabile previsione dei benefici energetici, economici ed ambientali conseguibili nelle comunità energetiche attraverso l'installazione di sistemi di accumulo e/o colonnine di ricarica ad uso individuale o collettivo.

Si riportano di seguito i risultati attesi nella Linea di Attività (LA) come da capitolato.

1.1 Sistemi di accumulo energetico

Analisi sull'evoluzione delle tecnologie dei sistemi di accumulo e sul relativo quadro normativo e legislativo europeo e nazionale in configurazioni di autoconsumo diffuso.

Valutazione tecnica (taglie, tecnologie, vita operativa) ed economica (costi di installazione e di O&M) del potenziale di diffusione dei sistemi di accumulo in abbinamento con configurazioni di autoconsumo diffuso (autoconsumatori collettivi, comunità energetiche).

Individuazione dei principali parametri tecnici – disponibili su datasheet o ricavabili dalla letteratura tecnica aggiornata – per l'analisi e la simulazione di sistemi di accumulo e colonnine di ricarica elettrica in un orizzonte temporale di 20 anni.

Definizione di modelli numerici per l'analisi energetica ed economica di sistemi di accumulo inseriti in contesti di autoconsumo diffuso, considerando le configurazioni di installazione ammissibili riportate nelle Regole tecniche GSE e altre configurazioni che saranno eventualmente inserite nello stato dell'arte dall'evoluzione normativa nel corso della durata del presente Accordo. I modelli saranno inclusi in un codice di calcolo che richiederà all'utente dati di input facilmente reperibili. Il codice includerà parametri di calcolo (anche nella forma di database) che saranno selezionabili dall'utente. Sarà possibile distinguere tra accumuli localizzati presso un'utenza specifica (funzionali quindi all'incremento dell'autoconsumo fisico) e accumuli energetici di comunità (che gestiscono solo l'energia condivisa). Dei vari accumuli verranno analizzati i cicli di carica e scarica con i relativi rendimenti. Sarà possibile analizzare più di un sistema di accumulo nella medesima configurazione.

Analisi di sensitività: al variare della capacità degli accumuli installati il codice sarà in grado di individuare la soluzione che massimizza l'autoconsumo diffuso e quella che rappresenta il migliore rapporto qualità/prezzo.

Sviluppo in ambiente Matlab di un codice di calcolo che implementa i modelli di cui ai punti precedenti. Il codice abiliterà l'analisi energetica ed economica su un orizzonte pluriennale (20 anni) di uno o più sistemi di accumulo e colonnine di ricarica elettrica inseriti in configurazioni di autoconsumo diffuso.

Validazione del codice di calcolo su casi studio reali o ricavati dalla letteratura tecnica.

1.2 Sistemi di ricarica di veicoli elettrici

Analisi sull'evoluzione delle tecnologie dei sistemi di ricarica dei veicoli elettrici e sul relativo quadro normativo e legislativo europeo e nazionale in configurazioni di autoconsumo diffuso.

Individuazione dei principali parametri tecnici – disponibili su datasheet o ricavabili dalla letteratura tecnica aggiornata – per l'analisi e la simulazione di sistemi di accumulo e colonnine di ricarica elettrica in un orizzonte temporale di 20 anni.

Definizione di modelli numerici per l'analisi energetica ed economica di colonnine di ricarica elettrica inseriti in contesti di autoconsumo diffuso, considerando le configurazioni di installazione ammissibili riportate nelle Regole tecniche GSE e altre configurazioni che saranno eventualmente inserite nello stato dell'arte dall'evoluzione normativa nel corso della durata del presente Accordo.

Sviluppo in ambiente Matlab di un codice di calcolo che implementa i modelli di cui ai punti precedenti. Il codice abiliterà l'analisi energetica ed economica su un orizzonte pluriennale (20 anni) di colonnine di ricarica elettrica inseriti in configurazioni di autoconsumo diffuso.

Validazione del codice di calcolo su casi studio reali o ricavati dalla letteratura tecnica.

2 Risultati ottenuti

Si riportano di seguito i risultati ottenuti, evidenziando per ciascuna attività/prodotto/servizio in che misura il risultato è stato ottenuto, esplicitando eventuali risultati ottenuti non previsti nel capitolato e i risvolti che ne conseguono per gli utenti del sistema elettrico nazionale.

2.1 Sistemi di accumulo energetico

Nel corso della presente LA sono stati ottenuti i risultati attesi riportati in Sezione 1. È stata effettuata un'analisi bibliografica della normativa a livello nazionale ed europeo, includendo anche le regole tecniche pubblicate dal GSE per definire le configurazioni ammissibili per i sistemi di accumulo in configurazioni di autoconsumo diffuso.

Il potenziale di diffusione dei sistemi di accumulo su base tecnica è stato valutato, a partire dalle principali tecnologie presenti sul mercato, in termini di impatto dei cicli di carica per soddisfare le richieste di autoconsumo sulla vita utile della batteria. Per quanto riguarda la valutazione economica, vengono forniti i costi di installazione e di O&M da aggiungere alla valutazione economica già impostata nel software RECON.

Sono stati individuati principali parametri che sono necessari per una simulazione accurata dei sistemi di accumulo, tra cui capacità di accumulo, efficienza energetica, percentuale di autoscarica, profondità di scarica ammessa, durata di vita in termini di cicli di carica. Tali parametri potranno essere definiti dall'utente oppure avranno valori di riferimento per le diverse tecnologie, in una modalità di utilizzo più semplificata.

La modellazione dei sistemi di accumulo è stata implementata a partire dai riferimenti normativi in termini di configurazioni di installazione. Il modello si interfacerà con l'esistente modello di RECON da cui prenderà i valori di energia disponibile e/o mancante nella comunità/utente e restituirà l'effettivo contributo della batteria in funzione dell'attuale livello di carica. In questo modo RECON potrà includere nei bilanci i contributi degli accumuli, nella forma di autoconsumo nel caso di accumulo localizzato o in termini di energia condivisa nel caso di una batteria di comunità. A ogni simulazione annuale, per ogni sistema di accumulo vengono monitorati i cicli di carica e scarica e viene prevista la possibilità di variare la strategia di gestione della batteria in funzione della vita utile desiderata. La configurazione attuale non pone limiti al numero di accumuli considerati per ogni configurazione di autoconsumo. Il codice di calcolo prevede la selezione da parte dell'utente di alcuni parametri, di cui viene già fornita un'opzione "consigliabile".

Infine, è stata effettuata un'analisi di sensitività per valutare l'impatto sulla vita utile al variare di diverse grandezze, tra cui la capacità delle batterie, le configurazioni di installazione e le strategie di gestione.

Il codice di calcolo è stato implementato in linguaggio Matlab e validato utilizzando delle configurazioni da letteratura.

2.2 Sistemi di ricarica di veicoli elettrici

L'analisi della normativa identifica i sistemi di ricarica dei veicoli elettrici come utenti che possono aderire alle configurazioni di autoconsumo diffuso con un proprio profilo di prelievo.

Per poter valutare le prestazioni delle colonnine di ricarica, è necessario tener presente che il loro funzionamento è influenzato dal comportamento di migliaia di utenti, proprietari dei veicoli elettrici che utilizzano/potrebbero utilizzare le colonnine. Per questo motivo si è scelto un approccio semplificativo che non considera le singole vetture che si connettono alle colonnine ma si prevedono diversi scenari di utilizzo per ogni tipologia di colonnina individuata. Tali scenari nascono dall'analisi di dati di funzionamento reali e condensano le informazioni legate all'ubicazione della colonnina di ricarica (evidenziando diversi comportamenti degli utenti che frequentano aree con diverse destinazioni d'uso) e alla saturazione dei dispositivi di ricarica, in base al numero di auto elettriche nel parco circolante nazionale. L'unico parametro tecnico che viene scelto è la tipologia della colonnina che impone le caratteristiche della ricarica del veicolo, principalmente in termini di potenza massima.

Il modello dei sistemi di ricarica, alla luce delle semplificazioni adottate, prevede la selezione di pochi parametri per la definizione dell'effettivo profilo di prelievo che viene poi fornito al software RECON per l'aggiornamento dei bilanci energetici.

Il codice è stato implementato in linguaggio Matlab e la validazione è basata sul confronto di molteplici casi applicativi, in mancanza di dati sperimentali.

3 Prodotti attesi

La seguente linea di attività prevede lo sviluppo, l'implementazione e la validazione di modelli per l'analisi energetica ed economica di sistemi di accumulo energetico e di sistemi di ricarica di veicoli elettrici inseriti in configurazioni di autoconsumo diffuso (autoconsumatori collettivi, comunità energetiche rinnovabili) sulla base del quadro normativo e regolatorio in vigore. Tali modelli saranno implementati in codice di calcolo in ambiente Matlab e saranno sviluppati con una logica modulare che permetterà la loro efficiente interazione e l'integrazione nel simulatore RECON (quest'ultima operazione a cura di ENEA).

Si riportano di seguito i prodotti attesi nella Linea di Attività (LA) come da capitolato.

- Rapporto tecnico su attività svolte e risultati conseguiti, dal titolo: "Sviluppo di modelli e implementazione di codici di calcolo per l'analisi tecnica ed economica di sistemi di accumulo e sistemi di ricarica di veicoli elettrici inseriti in comunità energetiche rinnovabili". Il rapporto tecnico si divide in report, allegato al report e guida per l'utilizzo dei modelli. Il presente testo, dal titolo "Sviluppo di modelli e implementazione di codici di calcolo per l'analisi tecnica ed economica di sistemi di accumulo e sistemi di ricarica di veicoli elettrici inseriti in comunità energetiche rinnovabili" rappresenta la versione formattata secondo le linee guida ENEA. L'allegato al report presenta la descrizione dettagliata di tutte le attività svolte e richieste per ottenere i deliverables richiesti del capitolato. La guida per l'utilizzo dei modelli è la descrizione della struttura del codice Matlab e delle variabili necessarie per il suo utilizzo successivo ad operatori terzi.
- Codice di calcolo implementato in ambiente Matlab, incluso di tutti i file e i database necessari al suo funzionamento, e guida per l'utilizzo. I codici di calcolo si dividono in codice di simulazione dei sistemi di accumulo e codice di simulazione delle colonnine di ricarica per veicoli elettrici.

4 Prodotti sviluppati

Il prodotto ottenuto per la LA1.3, così come pianificato, è diviso tra le due richieste specifiche:

- Rapporto tecnico su attività svolte e risultati conseguiti, dal titolo: "Avvio CER: Sviluppo di modelli e implementazione di codici di calcolo per l'analisi tecnica ed economica di sistemi di accumulo e sistemi di ricarica di veicoli elettrici inseriti in comunità energetiche rinnovabili".
- Codice di calcolo implementato in ambiente Matlab, incluso di tutti i file e i database necessari al suo funzionamento, e guida per l'utilizzo.

Segue la lista dei prodotti hardware/software sviluppati nella LA, illustrando, per i software, le modalità di accesso per gli utenti.

Tutti i prodotti sviluppati sono disponibili al repository:

<https://sccserver.enea.it/rds/RDS-PTR22-24-WP1-LA1.3>

sono inoltre caricati esempi di file esterni necessari per i permettere il run dei modelli Matlab in locale. Il dettaglio dei file è illustrato nella guida per l'utilizzo.

4.1 Rapporto tecnico

Il rapporto tecnico si divide in report, allegato al report e guida per l'utilizzo dei modelli. Il presente testo, dal titolo "Avvio CER: Sviluppo di modelli e implementazione di codici di calcolo per l'analisi tecnica ed economica di sistemi di accumulo e sistemi di ricarica di veicoli elettrici inseriti in comunità energetiche rinnovabili" rappresenta la versione formattata secondo le linee guida ENEA.

L'allegato al report presenta la descrizione dettagliata di tutte le attività svolte e richieste per ottenere i deliverables richiesti del capitolato.

La guida per l'utilizzo dei modelli è la descrizione della struttura del codice Matlab e delle variabili necessarie per il suo utilizzo successivo ad operatori terzi.

4.2 Codici di calcolo

4.2.1 Modelli di sistemi di accumulo

Implementazione di una prima versione di modelli per la simulazione di accumuli elettrochimici. Vengono studiate le tecnologie più comuni sul mercato, differenziate per taglia, capacità di accumulo e potenza di carica e scarica. I modelli sono stati validati per mezzo di dati forniti dai costruttori o desunti dalla letteratura scientifica.

Le configurazioni di installazione e di conseguenza i componenti ausiliari del sistema sono stati definiti a partire dalle più aggiornate regole tecniche pubblicate dal GSE.

I modelli valutano lo stato di carica del sistema di accumulo a partire dai quantitativi di energia disponibile/richiesta dal singolo utente o dalla rete e restituisce il contributo della batteria in termini di autoconsumo per gli utenti e di energia condivisa della configurazione di autoconsumo. Per ogni simulazione annuale, viene aggiornata la vita utile residua della batteria in funzione dei cicli di carica/scarica realizzati.

Viene fornita una valutazione qualitativa rispetto all'implementazione di accumuli termoidraulici abbinati a sistemi di riscaldamento/raffrescamento a pompa di calore per i membri di comunità energetiche.

I moduli software implementati si trovano su macchine locali accessibili ai ricercatori coinvolti nello sviluppo, per le fasi di test e validazione.

4.2.2 Modelli di sistemi di ricarica di veicoli elettrici

Implementazione di una prima versione di modelli per la simulazione di sistemi di ricarica dei veicoli elettrici sulla base delle configurazioni ammesse dalla normativa (ricarica accelerata, ricarica veloce e ricarica ultrarapida). L'analisi preventiva della letteratura ha portato alla semplificazione del modello, riconducendo le colonnine di ricarica a una tipologia di utente della configurazione di autoconsumo diffuso di tipo *consumer*, caratterizzato da un profilo di domanda dipendente da diversi parametri che l'utente può modificare.

La ricarica domestica a corrente alternata (wallbox chargers) e l'implementazione dei meccanismi "Vehicle-to-Grid" (V2G) o "Vehicle-to-Home" (V2H) richiedono la valutazione dello stato di carica dei singoli veicoli connessi il cui comportamento e impatto è stato valutato in termini qualitativi.

I moduli software implementati si trovano su macchine locali accessibili ai ricercatori coinvolti nello sviluppo, per le fasi di test e validazione.

5 Analisi degli scostamenti su attività e risultati

Non vengono riscontrate differenze rispetto ai prodotti attesi nella Linea di Attività (LA) come da capitolato.

6 Sintesi delle attività svolte

Sintesi delle attività svolte e dei risultati ottenuti in relazione ai risultati attesi.

6.1 Sistemi di accumulo energetico

- Analisi tecnica ed economica delle tecnologie dei sistemi di accumulo e sul relativo quadro normativo e legislativo europeo e nazionale in configurazioni di autoconsumo diffuso.
- Valutazione tecnica (taglie, tecnologie, vita operativa) ed economica (costi di installazione e di O&M) del potenziale di diffusione dei sistemi di accumulo in abbinamento con configurazioni di autoconsumo diffuso (autoconsumatori collettivi, comunità energetiche).
- Individuazione dei principali parametri tecnici – disponibili su datasheet o ricavabili dalla letteratura tecnica aggiornata – per l’analisi e la simulazione di sistemi di accumulo in un orizzonte temporale di 20 anni.
- Definizione di modelli numerici per l’analisi energetica ed economica di sistemi di accumulo inseriti in contesti di autoconsumo diffuso, considerando le configurazioni di installazione ammissibili riportate nelle Regole tecniche GSE.
- Implementazione in ambiente Matlab di modelli numerici per l’analisi energetica ed economica di sistemi di accumulo inseriti in contesti di autoconsumo diffuso. Il codice include i parametri di calcolo necessari per simulare configurazioni personalizzate dall’utente. Il codice include tutte le configurazioni di accumulo previste dalla normativa tecnica e ne sono analizzati i cicli di carica e scarica per valutarne i relativi rendimenti. Il codice include l’analisi energetica ed economica su un orizzonte pluriennale (20 anni) di uno o più sistemi di accumulo inseriti in configurazioni di autoconsumo diffuso.
- Analisi di sensitività al variare della capacità degli accumuli installati per massimizzare l’autoconsumo o la vita utile della batteria.
- Validazione del codice di calcolo su casi studio reali e ricavati dalla letteratura tecnica.

6.2 Sistemi di ricarica di veicoli elettrici

- Analisi sull’evoluzione delle tecnologie dei sistemi di ricarica dei veicoli elettrici e sul relativo quadro normativo e legislativo europeo e nazionale in configurazioni di autoconsumo diffuso.
- Valutazione tecnica (taglie, tecnologie, vita operativa) ed economica (costi di installazione e di O&M) delle colonnine di ricarica per veicoli elettrici in abbinamento con configurazioni di autoconsumo diffuso (autoconsumatori collettivi, comunità energetiche).
- Individuazione dei principali parametri tecnici – disponibili su datasheet o ricavabili dalla letteratura tecnica aggiornata – per l’analisi e la simulazione delle colonnine di ricarica per veicoli elettrici.
- Definizione di modelli numerici per l’analisi energetica ed economica delle colonnine di ricarica per veicoli elettrici inseriti in contesti di autoconsumo diffuso, considerando le configurazioni di installazione ammissibili riportate nelle Regole tecniche GSE.

- Implementazione in ambiente Matlab di modelli numerici per l'analisi energetica ed economica delle colonnine di ricarica per veicoli elettrici inseriti in contesti di autoconsumo diffuso. Il codice include i parametri di calcolo necessari per simulare configurazioni personalizzate dall'utente. Il codice include tutte le configurazioni di accumulo previste dalla normativa.
- Analisi di sensitività al variare della capacità ed utilizzo delle colonnine di ricarica per veicoli elettrici per massimizzare l'autoconsumo.
- Validazione del codice di calcolo su casi studio reali e ricavati dalla letteratura tecnica.

7 Dettaglio delle attività svolte

Di seguito sono descritte nel dettaglio le attività svolte.

7.1 Sistemi di accumulo energetico

L'analisi della normativa più aggiornata in riferimento a sistemi di accumulo in configurazioni di autoconsumo diffuso ha permesso di identificare le configurazioni di installazione ammissibili (Regole tecniche per l'accesso al servizio di valorizzazione e incentivazione dell'energia elettrica condivisa (GSE 04/04/2022) - Fig. 1) e gli algoritmi per la quantificazione dell'energia elettrica che ha diritto agli incentivi (Regole tecniche per l'attuazione delle disposizioni relative all'integrazione di sistemi di accumulo di energia elettrica nel sistema elettrico nazionale (GSE 22/01/2021)).

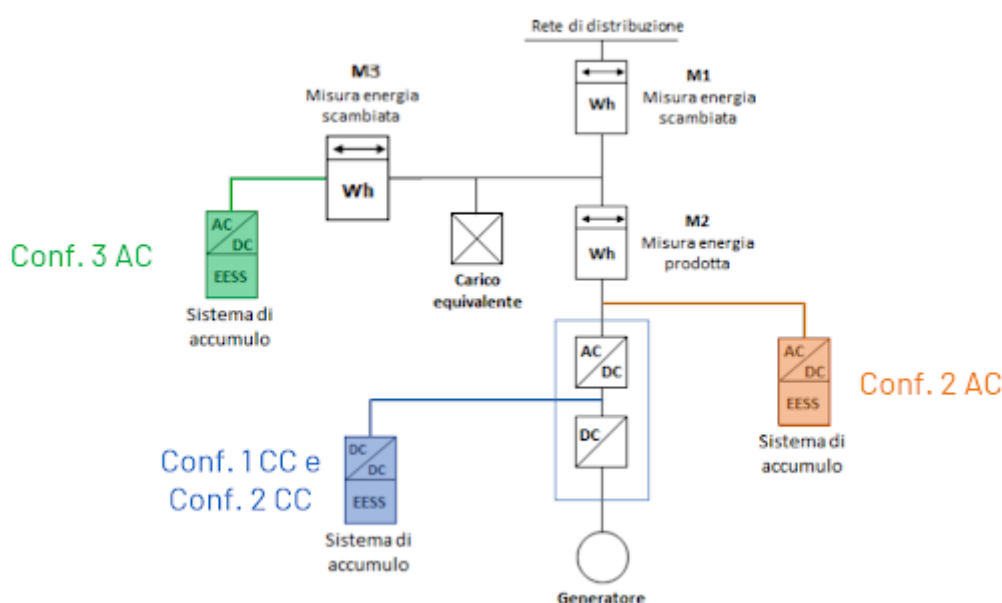


Figura 1 – Schema delle configurazioni ammissibili per il collegamento di un sistema di accumulo secondo le Regole tecniche del GSE.

L'analisi della letteratura in merito ai sistemi di accumulo più comuni sul mercato ha permesso di circoscrivere l'analisi ai sistemi di accumulo elettrochimico, grazie alla loro diffusione, alla facilità di utilizzo e il compromesso tra rendimento energetico e costi. I principali parametri che definiscono le prestazioni tecno-economiche di un sistema di accumulo possono essere riassunti come segue:

- **Capacità (Wh):** quantità di carica elettrica che può essere estratta dal sistema durante la scarica.
- **Efficienza energetica (%):** rapporto tra l'energia scaricata e l'energia spesa per riportare il sistema di accumulo nello stato di carica iniziale.
- **Stato di carica (SOC)(%):** quantità di carica presente nell'accumulatore.
- **Auto-scarica (%/h):** quantità di energia persa spontaneamente nell'arco di tempo prefissato.
- **Profondità di scarica (DOD) (%):** quantità di carica in Ah erogata da un accumulatore completamente carico, rapportata alla sua capacità nominale.

- **Durata di vita:** tempo di esercizio dell'accumulatore, espresso in anni o in cicli di carica-scarica, con una profondità di scarica generalmente compresa tra l'80% e il 90%.
- **Costo specifico (€/kWh)** di realizzazione per unità di potenza.

Nella tabella 2 vengono riportati alcuni dei parametri identificati per le principali tecnologie considerate.

	Piombo-acido	Ioni di Litio	Nichel-Metallo Idruro	Ni-NaCl (Zebra)
Range di taglia (kWh)	0,01 – 1 000	0,001 – 3 000	0,001 – 10	5 – 500
Efficienza di carica (%)	80	90	65	85
Percentuale di auto-scarica (%/day)	10%	5%	12.5%	20%
Vita utile (n. cicli di vita con DOD 80%)	1 000	5 000	1 500	4 500
Costo di installazione (€/kWh)	280	1 000	500	500
Costo di manutenzione (€/kWh all'anno)	20 – 50	5 – 20	10 -30	15 – 40

Tabella 1 – Caratteristiche tecno-economiche delle principali tecnologie di accumulo elettrochimico

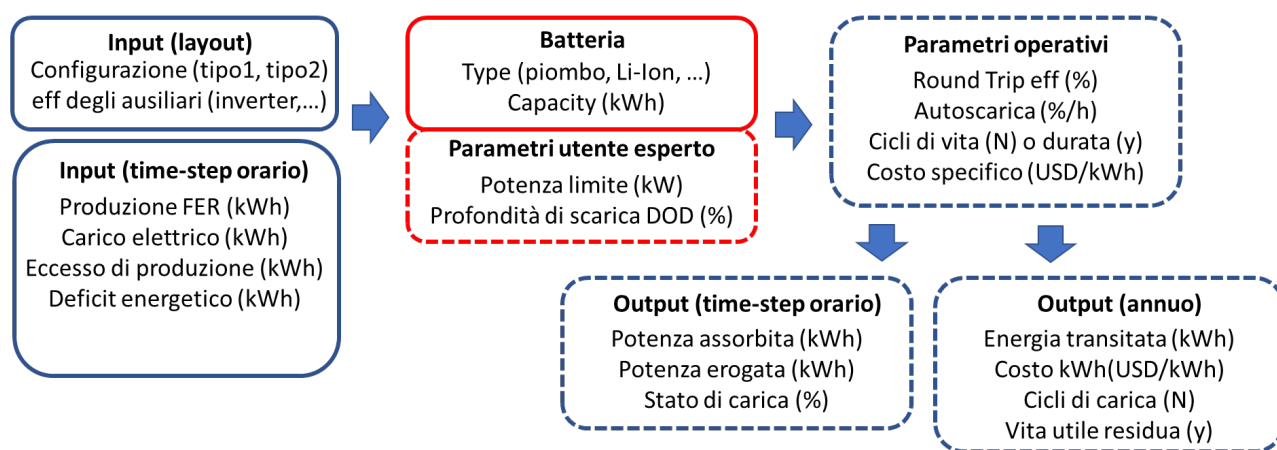


Figura 2 – Logica di funzionamento del modello del sistema di accumulo.

Il modello numerico è stato sviluppato a partire dalle disposizioni normative, regolatorie e legislative aggiornate. A seconda della posizione in cui viene installato il sistema di accumulo (fig. 1), il modello deve gestire in maniera differente i valori delle variabili prese in input. Il modello è stato sviluppato con una logica modulare e, in funzione dei componenti che sono attivati, è possibile considerare accumuli di utenza, aumentando quindi l'autoconsumo fisico, oppure accumuli di comunità e quindi contribuire solo alla condivisione di energia. È inoltre possibile inserire più di un sistema di accumulo nella medesima configurazione.

I parametri di funzionamento richiesti dal modello sono considerati fissi per tutta la durata della simulazione. L'utente "base" di RECON ha la possibilità di fissare i seguenti parametri:

- **Configurazione di installazione:** (Fig. 1)
- **Tipo di batteria** (Piombo-acido, Ioni di Litio, Nichel-Metallo Idruro e Ni-NaCl (Zebra)).
- **Capacità della batteria (kWh).**

È lasciata inoltre la possibilità, in una modalità di "utente esperto", di modificare anche i seguenti parametri:

- **Potenza limite (kW):** massima potenza che la batteria può accettare/fornire, indipendentemente dal suo stato di carica.
- **Profondità di scarica - DOD**
- **Strategia di gestione della batteria:** è possibile selezionare diverse strategie di gestione in funzione dell'obiettivo che si vuole ottenere con la batteria. Di seguito le strategie considerate:
 - Strategia 1 - Massimizzazione dell'autoconsumo: utilizzo la batteria come sistema di accumulo (non come stabilizzatore di rete) senza limitazioni di utilizzo, in ogni istante - se il livello di carica lo permette - posso caricare o scaricare la batteria
 - Strategia 2 - Massimizzazione della vita utile: utilizzo la batteria seguendo pratiche di buona gestione (come, ad esempio, un DOD conservativo) per minimizzare il degrado del sistema. Viene inserito un contatore che si attiva alla prima ricarica - anche parziale - del giorno e si imposta un solo ciclo di ricarica al giorno
 - Strategia 3 - Finestre di ricarica: vengono imposti dei limiti sui cicli di carica/scarica, imponendo delle fasce temporali in cui la carica e la scarica posso essere, evitando le ricariche parziali

Nella modalità "utente base" viene selezionata la strategia che massimizza l'autoconsumo.

In aggiunta agli input appena presentati, in funzione del tipo di batteria selezionato, il modello gestisce in automatico il settaggio dei parametri di funzionamento (a partire dai valori di Tabella 1). In ultimo, come parametri inclusi nel modello ci sono le efficienze dei componenti ausiliari, quali: inverter, raddrizzatore e trasformatori.

Il sistema di accumulo è un componente dipendente dagli altri presenti nella CER e per determinarne le prestazioni è implementato per scambiare ad ogni time-step le informazioni con il simulatore RECON. Tali grandezze, variabili per ogni time-step sono:

- domanda elettrica del singolo utente presso cui è installata la batteria. Se si tratta di un sistema di accumulo di comunità questa grandezza sarà nulla in quanto si ipotizza che il sistema di accumulo non sia collegato a un'unità di consumo.
- energia prodotta dal singolo impianto fotovoltaico, definita a valle del trasformatore, prima dell'inverter.
- somma dell'energia immessa da tutti gli impianti fotovoltaici presenti nella CER, a valle dei meccanismi di autoconsumo e delle batterie. Rappresenta la quota di energia che potenzialmente può essere condivisa tra i membri.
- somma della domanda elettrica residua degli utenti, a valle dell'autoconsumo locale.

Una volta definiti tutti i parametri in ingresso, il modello calcola le seguenti grandezze:

- energia disponibile per la ricarica della batteria
- domanda elettrica che deve essere soddisfatta dalla batteria

A partire dai valori di energia scambiati con la batteria, al termine di ogni fascia oraria viene calcolato il **livello di carica della batteria**. L'aggiornamento dello stato di carica della batteria segue logiche differenti a seconda del senso di transito dell'energia. Nel corso della simulazione vengono monitorati i cicli di carica e scarica per valutare lo stato della batteria alla fine di ogni anno e determinare la vita utile residua.

Infine, viene effettuata un'analisi di sensitività sui cicli di ricarica effettuati in un anno solare, riportata in Figura 3, al variare della capacità degli accumuli installati, per diverse strategie di gestione delle batterie, ovvero la massimizzazione dell'autoconsumo diffuso e la massimizzazione della vita utile. In funzione della configurazione di installazione e della strategia selezionata si osservano comportamenti molto differenti che possono anche dimezzare la vita utile della batteria.

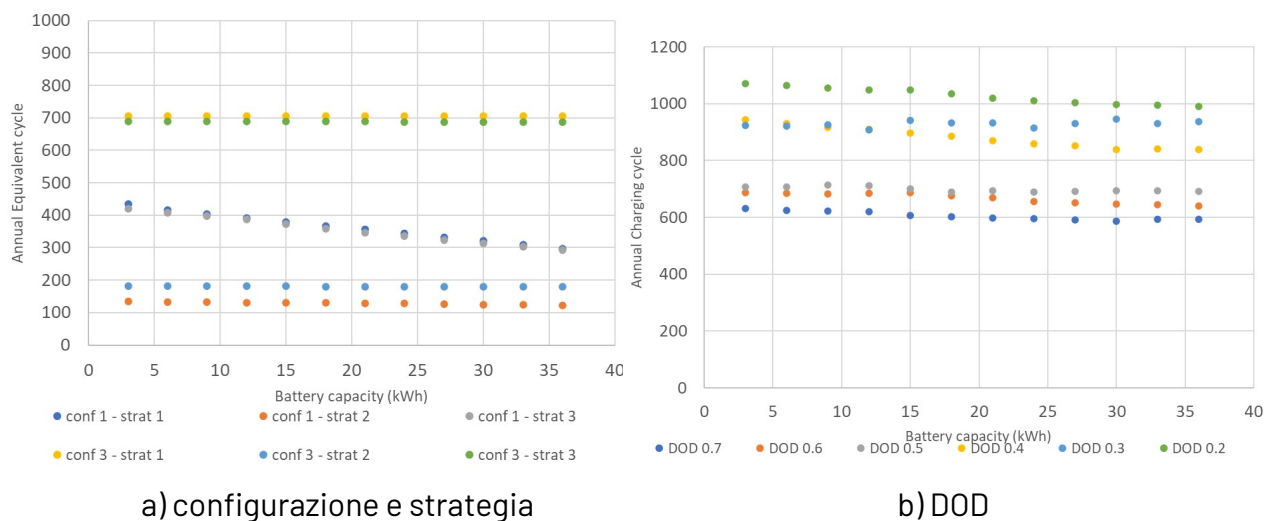


Figura 3 – Risultati analisi di sensitività della capacità dei sistemi di accumulo

7.2 Sistemi di ricarica di veicoli elettrici

Una colonnina di ricarica è un dispositivo di distribuzione dell'energia elettrica, attraverso il quale è possibile ricaricare la batteria dei veicoli dotati di propulsore elettrico. Il funzionamento delle colonnine di ricarica delle auto elettriche è regolato dalla normativa IEC 61851-1, la quale prevede i parametri tecnici da rispettare per le differenti tipologie di stazioni di ricarica elettriche:

- Ricarica **Modo 1** (ricarica lenta): prevede il collegamento diretto del mezzo alla rete elettrica, con una normale presa di corrente Shuko a 16 A in corrente alternata o una presa industriale di Tipo 1 da 32 A, con potenza fino a 7 kW e tensione di 230 V.
- Ricarica **Modo 2** (ricarica mediamente lenta): utilizza un'unità di controllo (chiamato "mobile charger"), che si interpone tra il veicolo e la rete elettrica. A seconda del tipo di impianto si usano prese domestiche da 16 A o industriali da 32 A in corrente alternata. Grazie al sistema sistema PWM (Pulse Width Modulation) è possibile raggiungere i 22 kW.
- Ricarica **Modo 3** (ricarica lenta o rapida): infrastrutture di ricarica in corrente alternata dotate di unità di controllo e sistemi di protezione. Questa modalità dà la possibilità di

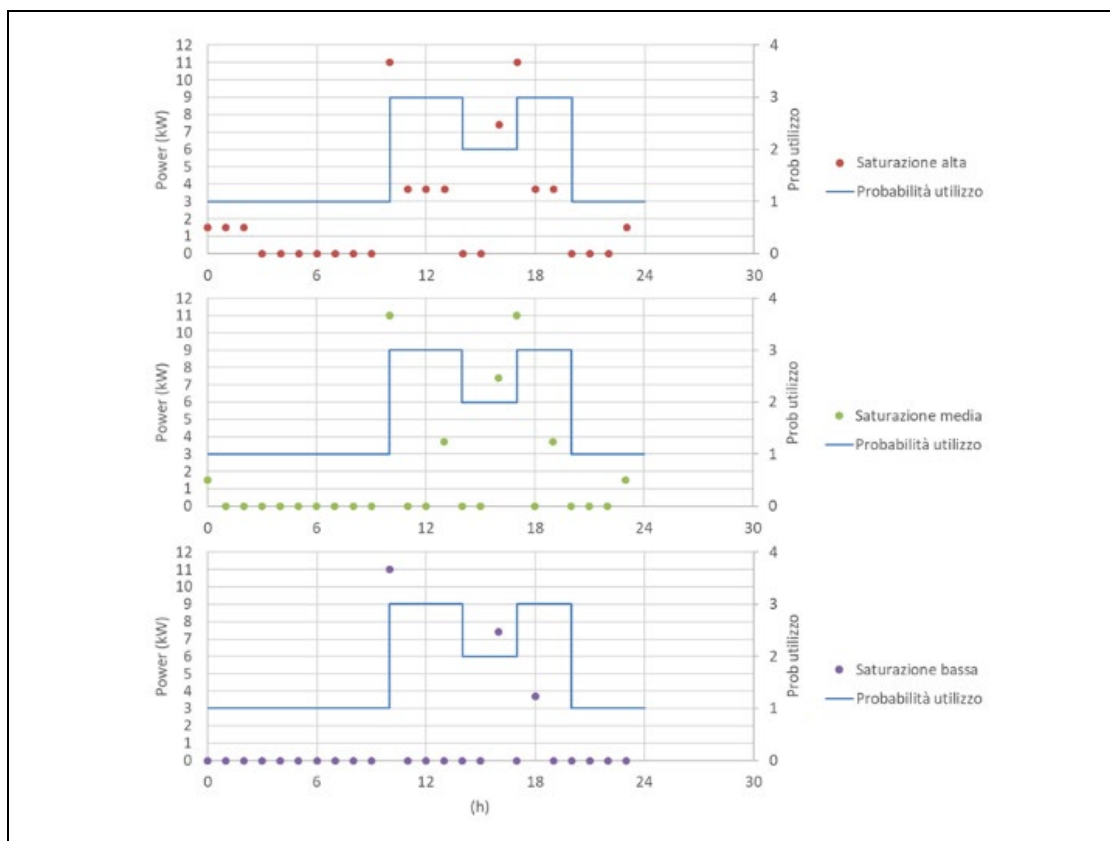
ricaricare lentamente a 16 A oppure più velocemente a 63 A e 400 V in base al dispositivo utilizzato, con potenza fino a 22 kW.

- Ricarica **Modo 4** (ricarica rapida o ultrarapida): unica modalità che prevede l'utilizzo di corrente continua. Stazioni esclusivamente pubbliche, con ricarica fino a 200 A e 400 V e una potenza massima di 150 kW, con soluzioni fino a 350 kW.

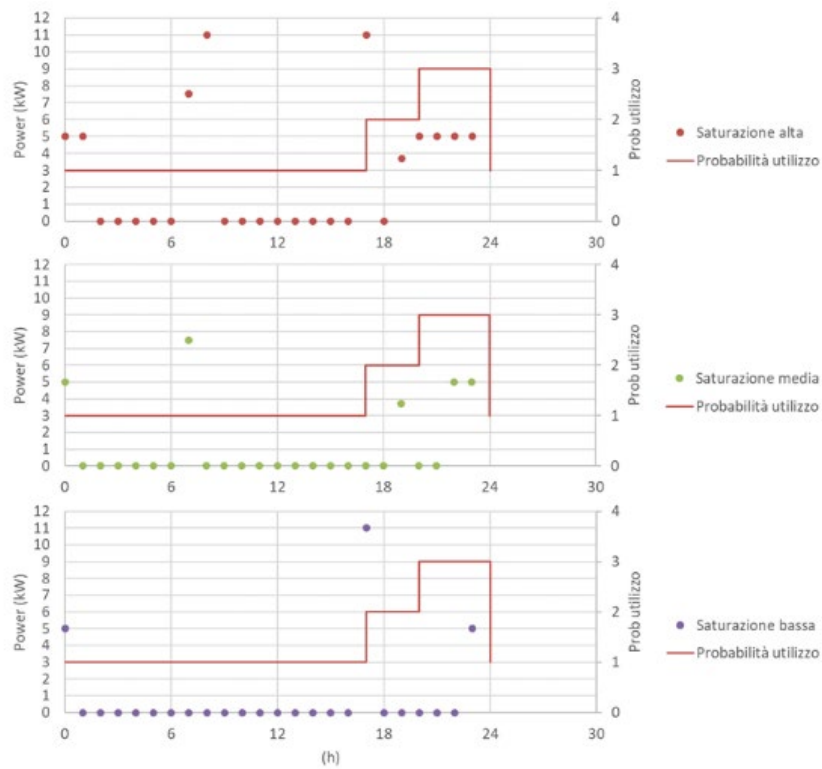
Da un'analisi effettuata a partire dai dati di funzionamento di dispositivi reali a ricarica accelerata (fino a 22 kW) è possibile distinguere due comportamenti: una ricarica lunga per cui si assimila la colonnina a una wallbox privata, e una ricarica breve di massimo 3-4 ore. Per quanto riguarda le fasce orarie nelle quali si ha la ricarica di almeno un veicolo si osserva un comportamento differente a seconda della destinazione d'uso della zona di installazione. Nei dispositivi a ricarica rapida (fino a 50 kW) si osservano ricariche con durata di circa 30 min, sporadiche nell'arco della settimana (9 vs 19 nella stessa zona)

Le colonnine di ricarica rappresentano quindi una specifica tipologia di unità di consumo che preleva una quantità variabile di energia elettrica dalla rete in funzione dell'utilizzo da parte degli utilizzatori. Per poter integrare nel modello il comportamento degli utenti, si è deciso di implementare dei profili di consumo (fig. 4 e fig. 5) caratterizzati da diversi valori dei seguenti parametri:

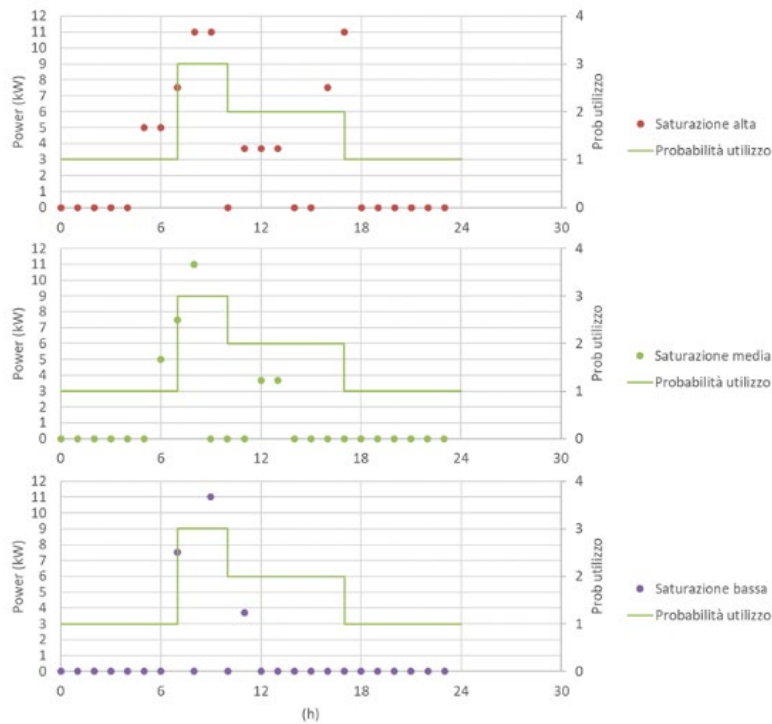
- Tipologia: ricarica accelerata, rapida o ultrarapida. Da cui deriva se la ricarica viene effettuata in AC o CC, e con quale potenza massima.
- Ubicazione: in base alla posizione di installazione si sono definite diverse probabilità di utilizzo della colonnina in funzione della fascia oraria.
- Saturazione: in base al numero di auto elettriche desunte dal parco circolante nazionale, e al numero di colonnine presenti sul territorio, si è definita la probabilità di utilizzo della colonnina in determinate fasce orarie.



a) centro urbano

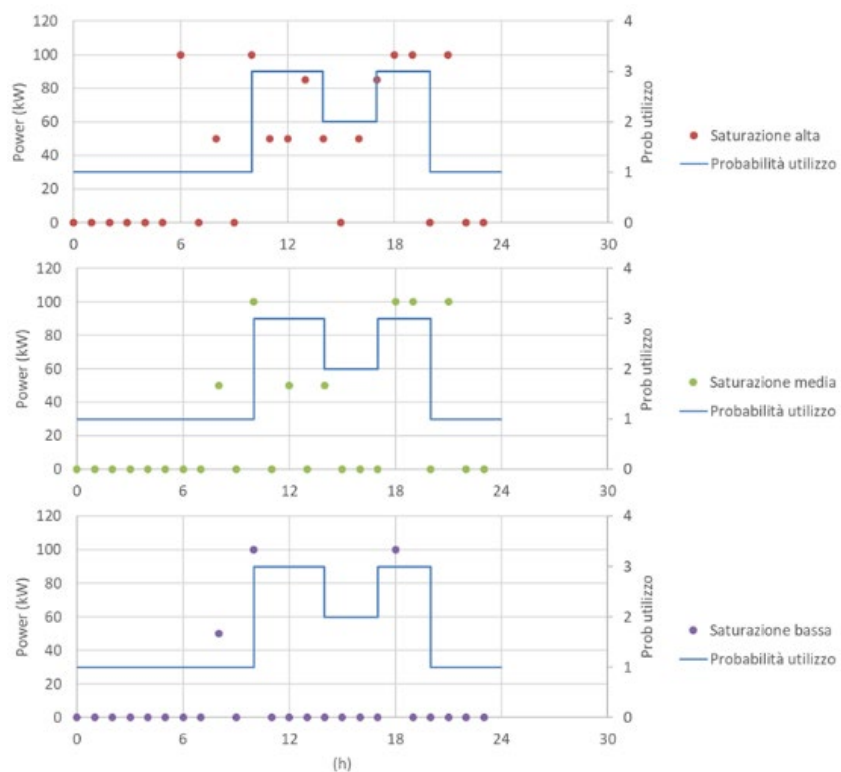


b) centro residenziale

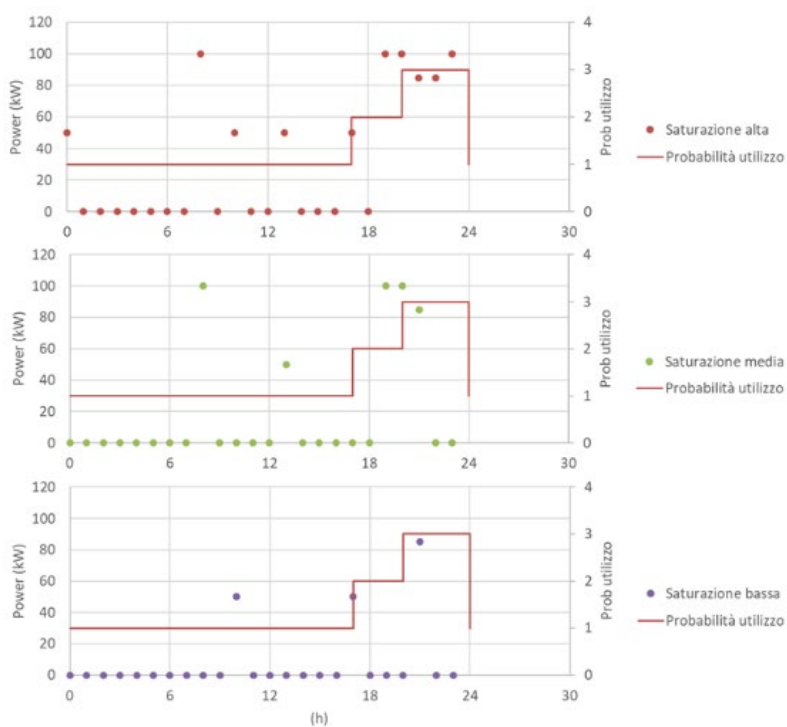


c) area industriale

Figura 4 – Profili di prelievo della colonnina (punti) per le diverse aree e diverse probabilità di saturazione per colonnine a ricarica accelerata



a) centro urbano



b) centro residenziale

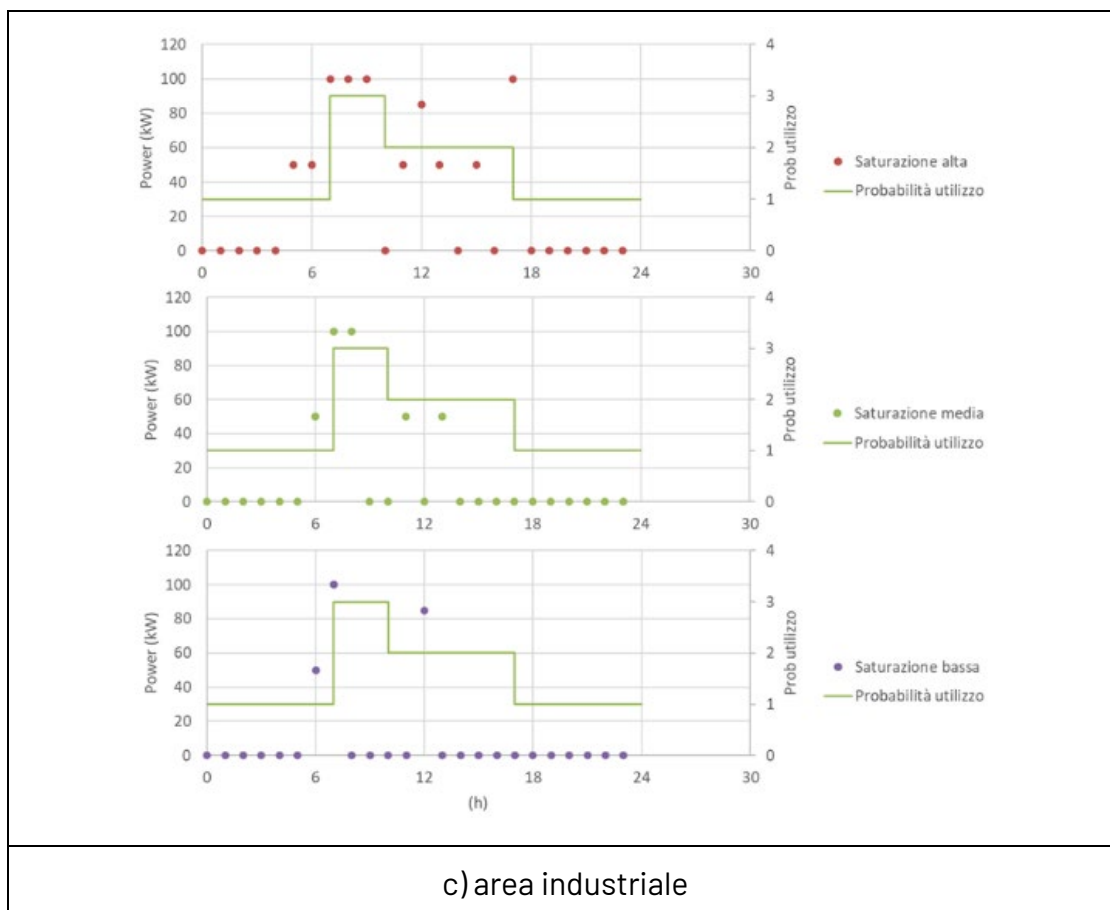


Figura 5 – Profili di prelievo della colonnina (punti) per le diverse aree e diverse probabilità di saturazione per colonnine a ricarica veloce

Tra le principali assunzioni del modello troviamo:

- I profili di prelievo della colonnina (Fig. 4 e 5) rappresentano una giornata-tipo, che viene ripetuta per tutto l'anno, ad eccezione dell'area industriale che viene modificata nei giorni non lavorativi. In questo modo viene garantita la ripetibilità e il confronto degli scenari.
- Il prelievo si ipotizza costante nella singola fascia oraria.

Una volta selezionato il profilo di prelievo, il codice fornisce al software RECON i valori di energia orari richiesti dalla colonnina per poter effettuare i bilanci energetici di tutta la configurazione.

Infine, in figura 6 viene proposta una possibile modalità di implementazione del veicolo elettrico – o plug-in hybrid – collegato alla rete di un utente di tipo *prosumer*.

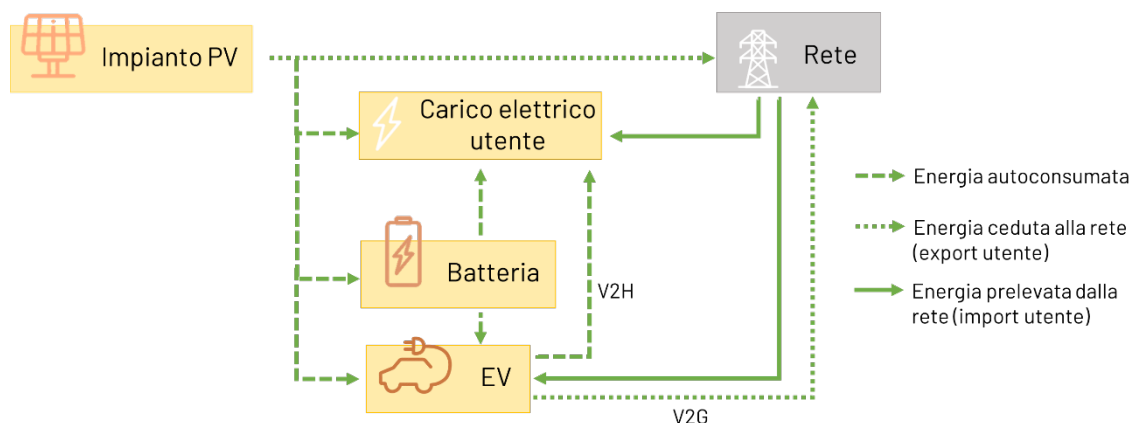


Figura 6 – Schematizzazione dell'implementazione dei veicoli elettrici nei meccanismi V2G e V2H

Dal punto di vista modellistico, la batteria di un veicolo elettrico può essere assimilata a un sistema di accumulo in configurazione 3, con la differenza che il collegamento non sarà sempre disponibile ma solo quando il veicolo sarà parcheggiato. Per questo motivo, a partire dal modello già presentato al paragrafo precedente è necessario aggiungere alcuni parametri operativi, tra cui:

- **Capacità della batteria (kWh):** prevedendo delle capacità fisse in funzione del tipo di veicolo (10-20 kWh per PHEV e 40-80 kWh per EV)
- **Fascia di connessione:** fascia oraria in cui il veicolo sarà collegato alla ricarica.
- **Livello della batteria all'inizio della ricarica (%):** in un primo approccio, basato sul buon senso, si prevede un livello nullo per i veicoli PHEV e al 50% per i veicoli elettrici.
- **Livello minimo di ricarica (%):** dato che la ricarica del veicolo elettrico è prioritaria rispetto a quella della batteria, è ammesso anche l'import dalla rete fino al raggiungimento di una soglia minima.

Inoltre, nella presente configurazione sono presenti diversi componenti che potrebbero avere lo stesso ruolo e quindi è necessario andare a definire anche una logica di dispacciamento dell'energia nei diversi punti dell'impianto.

8 Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte

Nel corso della presente Linea di Attività non si è fatto ricorso a consulenze.

9 Pubblicazioni scientifiche

Segue l'elenco delle pubblicazioni scientifiche eventualmente risultanti dall'attività svolta:

- "The role of energy storage in the design of Renewable Energy Communities". Lavoro presentato alla "5th Euro-Mediterranean Conference for Environmental Integration" (EMCEI 2023).
- "Renewable energy community design and evaluation according to the Italian regulation." Lavoro presentato alla Conferenza dell'Associazione Termotecnica Italiana" (ATI 2023).

10 Eventi di disseminazione

Parte del lavoro svolto nell'ambito del presente contratto è stato presentato nel corso delle seguenti conferenze:

Ottobre 2023; relatore a 5th convegno internazionale Euro-Mediterranean Conference for Environmental Integration EMCEI2023. Brumana Giovanni, Caldera Matteo, Franchini Giuseppe, Ghirardi Elisa, Moretti Fabio, "The role of energy storage in the design of Renewable Energy Communities"

Ottobre 2023; relatore a 5th convegno internazionale Euro-Mediterranean Conference for Environmental Integration EMCEI2023. Brumana Giovanni, Caldera Matteo, Franchini Giuseppe, Ghirardi Elisa, Moretti Fabio, "The role of energy storage in the design of Renewable Energy Communities"