



Ricerca di Sistema elettrico

# Dimensionamento ed Ottimizzazione della strategia di controllo del sistema di accumulo Second Life. Gestione Energetica di un Sistema di Accumulo Second Life per Stazioni di ricarica

L. Bartolucci, S. Cordiner, V. Mulone, M. Santarelli

DIMENSIONAMENTO ED OTTIMIZZAZIONE DELLA STRATEGIA DI CONTROLLO DEL SISTEMA DI ACCUMULO SECOND LIFE. GESTIONE ENERGETICA DI UN SISTEMA DI ACCUMULO SECOND LIFE PER STAZIONI DI RICARICA - DELIVERABLE

Autori L. Bartolucci, S. Cordiner, V. Mulone, M. Santarelli  
Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università di Roma "Tor Vergata".

Dicembre 2021

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - III annualità

Obiettivo: *Tecnologie*

Progetto: *Sistemi di accumulo, compresi elettrochimico e power to gas, e relative interfacce con le reti*

Work package: *WP1 – Accumulo Elettrochimico*

Linea di attività: *LA81 - Gestione energetica di un sistema di accumulo Second Life per stazioni di ricarica*

Responsabile del Progetto: Ing. Giulia Monteleone ENEA

Responsabile del Work package: Dr. Pier Paolo Prosinì ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione ENEA- Università di Roma "Tor Vergata" per una attività di ricerca dal titolo: *"Dimensionamento ed ottimizzazione della strategia di controllo del sistema di accumulo Second Life"*

Responsabile scientifico ENEA: Ing. Manlio Pasquali

Responsabile scientifico Università di Roma "Tor Vergata": *Prof. Vincenzo Mulone*

## Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	4
2 METODOLOGIA DI CALCOLO E OTTIMIZZAZIONE .....	4
3 ANALISI DEI RISULTATI .....	6
3.1 RISULTATI DELLA PRE-OTTIMIZZAZIONE .....	6
3.2 RISULTATI DELLA OTTIMIZZAZIONE BI-LIVELLO .....	7
4 CONCLUSIONI .....	9
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....	10
ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI.....	10

## Sommario

Il presente Rapporto Tecnico descrive le attività del secondo anno del progetto “Dimensionamento ed Ottimizzazione della strategia di controllo del sistema di accumulo Second Life” condotto nel Dipartimento di Ingegneria Industriale dell’Università di Roma Tor Vergata. Le attività del secondo anno hanno riguardato lo studio dell’interfacciamento del sistema con colonnine di ricarica per veicoli elettrici. Si è infatti implementato un codice di ottimizzazione che tenesse conto del comportamento di veicoli per uso personale, di transito nel parcheggio della sede di ENEA-Casaccia, partendo da dati sperimentali veicolari già acquisiti. Si è quindi proceduto alla valutazione dei benefici della gestione dei veicoli tramite algoritmi di ottimizzazione basati su metodologie MILP sia in termini di design (e.g. numero di colonnine da installare in funzione del numero di veicoli) che di emissioni di CO<sub>2</sub>, anche considerando il confronto tra sistemi stazionari di batterie first-life e second-life. I risultati pongono in evidenza gli effetti positivi dell’adozione di batterie Second-Life in termini di emissioni di CO<sub>2</sub> secondo una diminuzione del 15% rispetto al caso base riferito al processo di ricarica senza alcun sistema di accumulo stazionario. I risultati confermano la centralità della valutazione a lungo termine dei parametri tecnico-ambientali per l’adozione di sistemi di accumulo stazionari in casi applicativi di interesse.

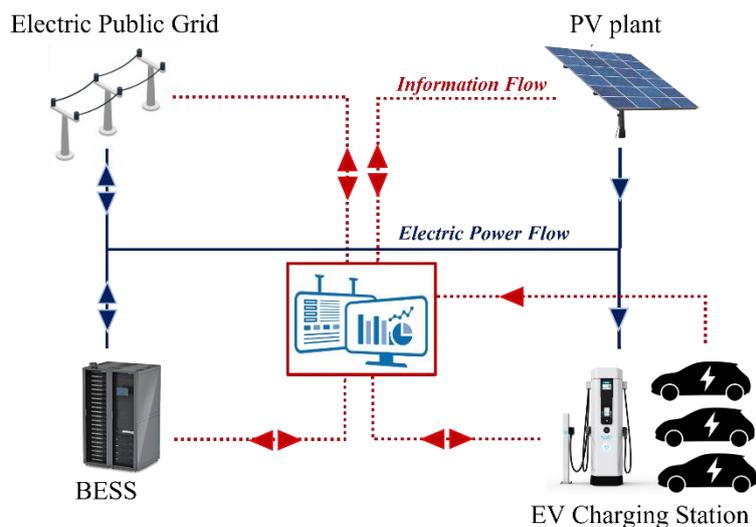
## 1 Introduzione

Tutti i settori -trasporto, energia, agricoltura, residenziale e industriale – saranno importanti per il raggiungimento degli obiettivi posti al 2050 nell’European Green Deal [1]. Due iniziative risultano basilari in tal senso, e specificamente l’obiettivo di aumentare le Renewable Energy Sources RES fino a una quota del 32% e la promozione dell’utilizzo di Zero o Low Emission Vehicles - ZEV o LEV - per l’abbattimento del 55% delle emissioni di CO<sub>2</sub> del settore del trasporto. Il caso delle Local Energy Communities LEC è considerato un caso esemplificativo, e un modello ambizioso, per l’implementazione di concetti utili per il raggiungimento degli obiettivi prefissi. Gli EV Electric Vehicles potranno senz’altro dare un importante contributo per l’integrazione con la produzione da RES [3], considerandone la capacità intrinseca di stoccare energia e quindi di agire come fonti di flessibilità operativa [4]. In tal senso sarà fondamentale la valutazione della carbon footprint degli EV, nelle varie fasi del ciclo di vita. L’utilizzo di sistemi di stoccaggio basati su Second-Life-Batteries SLB può contribuire positivamente in tal senso, non solo per fornire servizi ancillari [5], ma anche per supportare i processi di ricarica di EV [6,7].

Nello scenario descritto, il presente RT mira a studiare il processo di ricarica di EV, considerando l’installazione di una batteria stazionaria come supporto all’integrazione delle RES; è inoltre discussa l’ottimizzazione dello stesso processo di ricarica per la minimizzazione delle emissioni di CO<sub>2</sub>.

## 2 Metodologia di calcolo e ottimizzazione

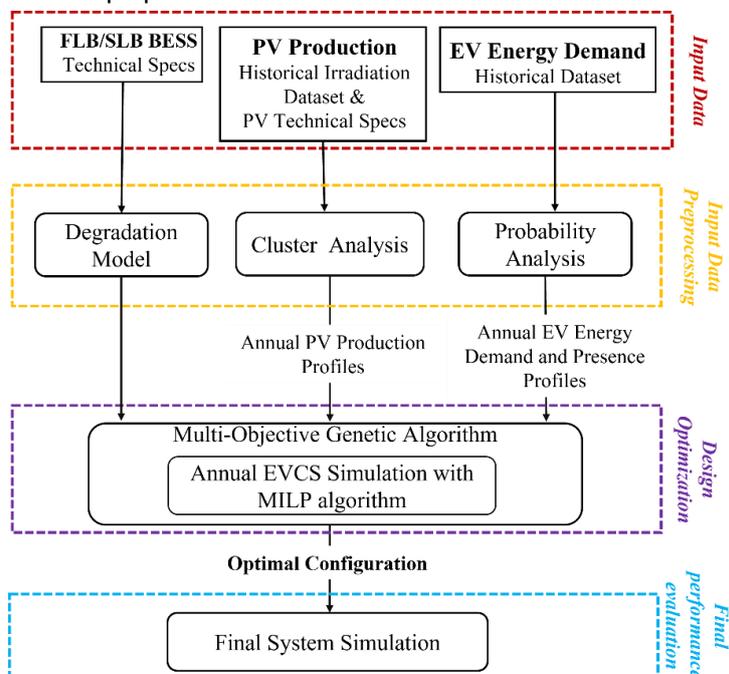
Il layout del sistema in analisi in questo RT è riportato in Figura 1, con la descrizione dei principali sottosistemi, connessioni fisiche e logiche. Si è assunto che la EV Charging Station sia installata presso il parcheggio del Centro Ricerche ENEA “La Casaccia”, vicino Roma, assumendone l’alimentazione sia da rete che da impianto PV, e considerando come fonte di flessibilità il BESS Battery Energy Storage System.



**Figura 1. Schema di principio della Local Energy Community e illustrazione di flussi energetici e di informazioni. BESS=Battery Energy Storage System.**

La configurazione della EV Charging Station è definita dal numero di colonnine, per la carica a velocità media ovvero media, dalla potenza di picco dell’impianto PV, e dalla capacità del BESS [8]. L’ottimizzazione qui proposta consente di ottimizzare detti parametri, secondo la metodologia illustrata in Figura 2.

Inizialmente i dati di input sono definiti, in termini di specifiche delle tecnologie (FLB=First Life Battery, SLB=Second Life Battery), della radiazione disponibile su base annua, e dell’energia richiesta dai veicoli per le missioni (dati storici resi disponibili da ENEA [9]). Tali informazioni sono dunque processati in un algoritmo di ottimizzazione bi-livello per trovare il numero di colonnine da installare, insieme alla potenza di picco PV e alla capacità del BESS, per minimizzare le emissioni di CO<sub>2</sub> annuali del sistema secondo un orizzonte temporale di 8 anni, pari al tempo previsto di utilizzo delle SLB.



**Figura 2. Algoritmo del processo di ottimizzazione dell’EV Charging Station: a partire dai dati di input (box in rosso), mediante preprocessing (box in giallo), il processo di ottimizzazione basato su tecniche genetiche Multi-Objective e MILP (box in viola) consente di ottenere i risultati finali in termini di configurazione del sistema (box in azzurro).**

### 3 Analisi dei risultati

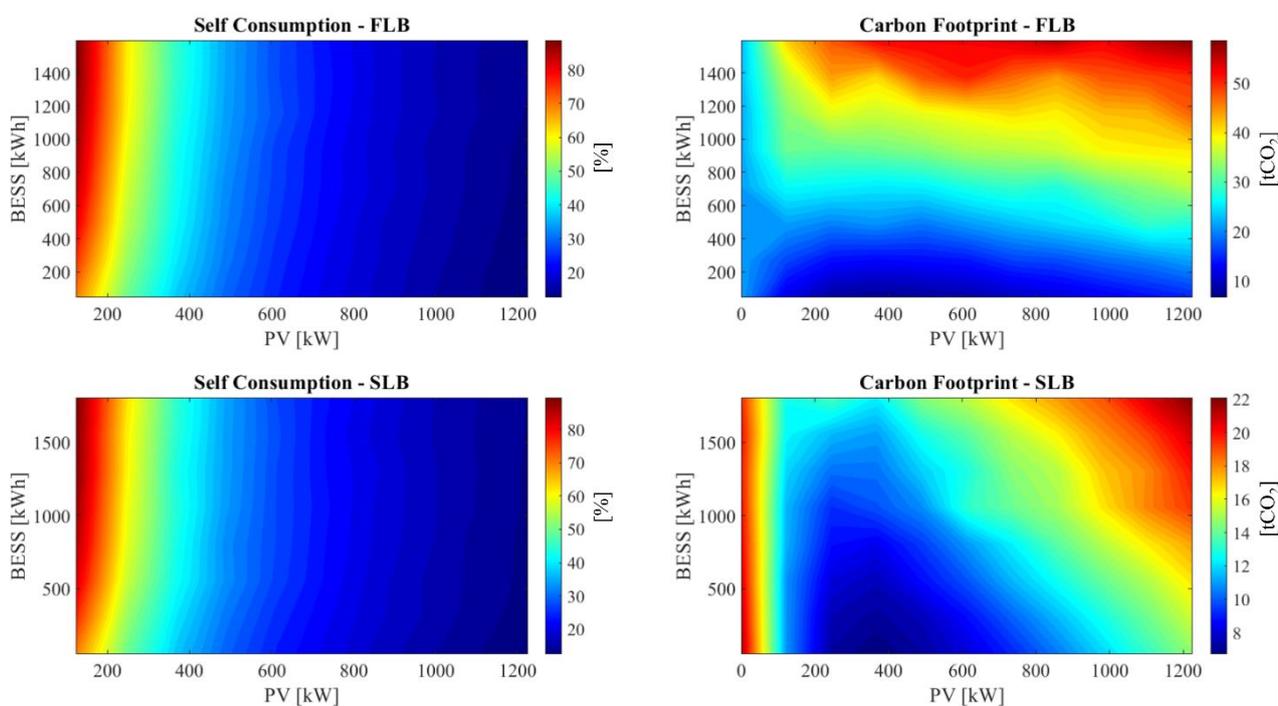
Le funzioni obiettivo, per quanto riguarda l’algoritmo di ottimizzazione, sono definite in modo da cercare la configurazione ottimale in merito a due effetti antagonisti principali:

- Le caratteristiche di auto-consumo di energia prodotta da RES e consumata in loco  $Obj_1^{up}$
- La sostenibilità dell’EV Charging Station, in termini di emissioni di CO<sub>2</sub>  $Obj_2^{up}$

Infatti, il consumo di energia prodotta da RES a supporto del processo di ricarica aumenta in funzione della potenza PV installata e della capacità del BESS, in contrasto con l’aumento della carbon intensity dovuto proprio all’oversizing dei due citati componenti fondamentali del sistema complessivo.

#### 3.1 Risultati della pre-ottimizzazione

La pre-ottimizzazione, come già citato in precedenza, è condotta per la caratterizzazione dei due parametri obiettivo, pre-fissando il numero di colonnine. Detto parametro è inoltre perturbato in modo da verificare l’evoluzione del processo di ottimizzazione di fatto allargando il dominio di definizione dei parametri di configurazione del sistema complessivo. I risultati sono mostrati in Figura 3, dove sono riportati  $Obj_1^{up}$  e  $Obj_2^{up}$  in funzione della potenza PV di picco installata e della capacità del BESS.



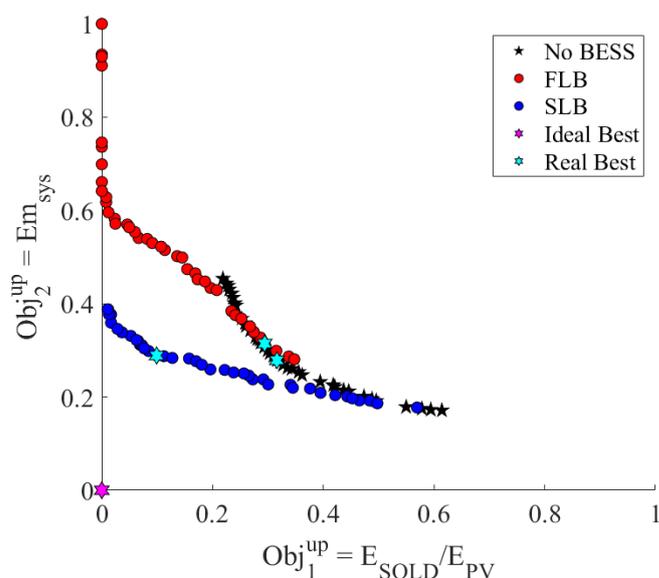
**Figura 3.  $Obj_1^{up}$  (parametro percentuale di auto-consumo) e  $Obj_2^{up}$  (parametro di emissione di CO<sub>2</sub> [t]) in funzione della potenza di picco PV installata e della capacità del BESS Battery Energy Storage System per FLB First Life Batteries e per SLB Second Life Batteries.**

Emerge il fatto che sia con FLB e sia con SLB, sia controproducente il sovradimensionamento della potenza PV installata -al di sopra di 300kW<sub>p</sub>, così come si osserva una tendenza alla saturazione, in termini di capacità di autoconsumo  $Obj_1^{up}$ , per capacità del BESS superiori a 300 kWh. D’altro canto, si osserva per  $Obj_2^{up}$  un’area ottimale nel range 200-600 kW<sub>p</sub> di potenza installata PV e 100-300 kWh di capacità del BESS. In quest’area le prestazioni di autoconsumo risultano comunque sufficientemente elevate e tali quindi da non compromettere il parametro di autoconsumo  $Obj_1^{up}$ . Inoltre, dal confronto tra FLB e SLB, emerge quanto l’adozione della FLB non dia sostanziali vantaggi in termini di sostenibilità rispetto alla ricarica da rete, al contrario dell’SLB, la cui adozione, consente di ottenere un sostanziale vantaggio nell’area ottimale precedentemente descritta. Infine, dimensionamenti caratterizzati da oversizing di batterie e impianto PV (in alto a destra in tutti i grafici), sono comunque da evitare in quanto portano un peggioramento significativo di tutti i parametri obiettivo, sia per FLB, e sia per SLB.

### 3.2 Risultati della ottimizzazione bi-livello

Partendo dai risultati ottenuti mediante la pre-ottimizzazione, si possono ottenere ulteriori risultati -in termini di dimensionamento del sistema di ricarica - tramite algoritmo Multi Objective Genetic Algorithm MOGA, ottimizzando la potenza di picco dell'impianto PV, al fine di disegnare fronti di Pareto (o curve di trade-off), luoghi geometrici cioè definiti da coppie di punti  $Obj_1^{up}$  (qui definito come  $E_{sold}/E_{PV}$ , tale quindi che il valore nullo descrive 100% di autoconsumo) e  $Obj_2^{up}$  (qui definito come emissioni di CO<sub>2</sub> normalizzate rispetto al valore massimo riportato in Figura 3), tali che, a partire da qualsiasi punto, il miglioramento di uno dei due parametri si ripercuota inevitabilmente sul peggioramento dell'altro.

I risultati sono riportati in Figura 4. In particolare, i simboli neri rappresentano il sistema senza BESS, i simboli rossi il sistema con FLB, mentre quelli blu rappresentano il sistema con SLB. Risulta evidente come le soluzioni con SLB siano più remunerative in termini di compromesso tra i valori delle due funzioni obiettivo. In ogni caso, i due fronti di Pareto FLB e SLB risultano ben distinti per valori significativamente elevati del coefficiente di autoconsumo (i.e. per ridotti valori di  $Obj_1^{up}$ ), e pertanto le SLB consentono di accedere a percentuali di autoconsumo altrimenti non ottenibili senza BESS, con un limitato impatto sulle emissioni di CO<sub>2</sub>. Inoltre, la diversa pendenza delle curve indica anche il contributo sostanzialmente differente della carbon footprint dell'FLB rispetto all'SLB all'aumentare della capacità della batteria stazionaria.



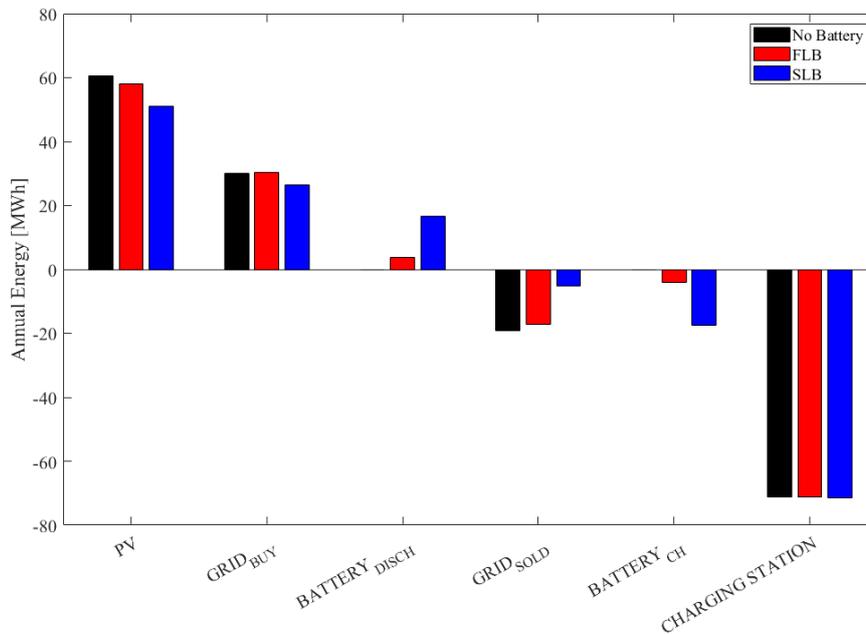
**Figura 4. Fronte di Pareto, risultante dall'ottimizzazione bi-livello, in funzione di  $Obj_1^{up}$  (parametro percentuale di auto-consumo) e  $Obj_2^{up}$  (parametro di emissione di CO<sub>2</sub> [t]) per sistema senza BESS (simboli neri), per First Life Battery (simboli rossi) e per Second Life Battery (simboli blu).**

Sono inoltre riportati in Tabella 1 i parametri di dimensionamento del sistema corrispondenti ai simboli in colore ciano (Real Best) raffigurati in Figura 4. I tre dimensionamenti corrispondono approssimativamente a un target simile di emissioni di CO<sub>2</sub>, e si realizzano in funzione del numero  $N_s$  e  $N_M$  di colonnine a bassa e media velocità di ricarica, alla potenza di picco dell'impianto PV  $P_{PV}^{peak}$ , e alla capacità del BESS. E' immediatamente evidente il differente dimensionamento della batteria SLB rispetto alla FLB, identificando anche le migliori prestazioni ottenibili in termini di capacità di autoconsumo.

**Tabella 1. Parametri di dimensionamento del sistema corrispondenti ai simboli ciano di Figura 4.**

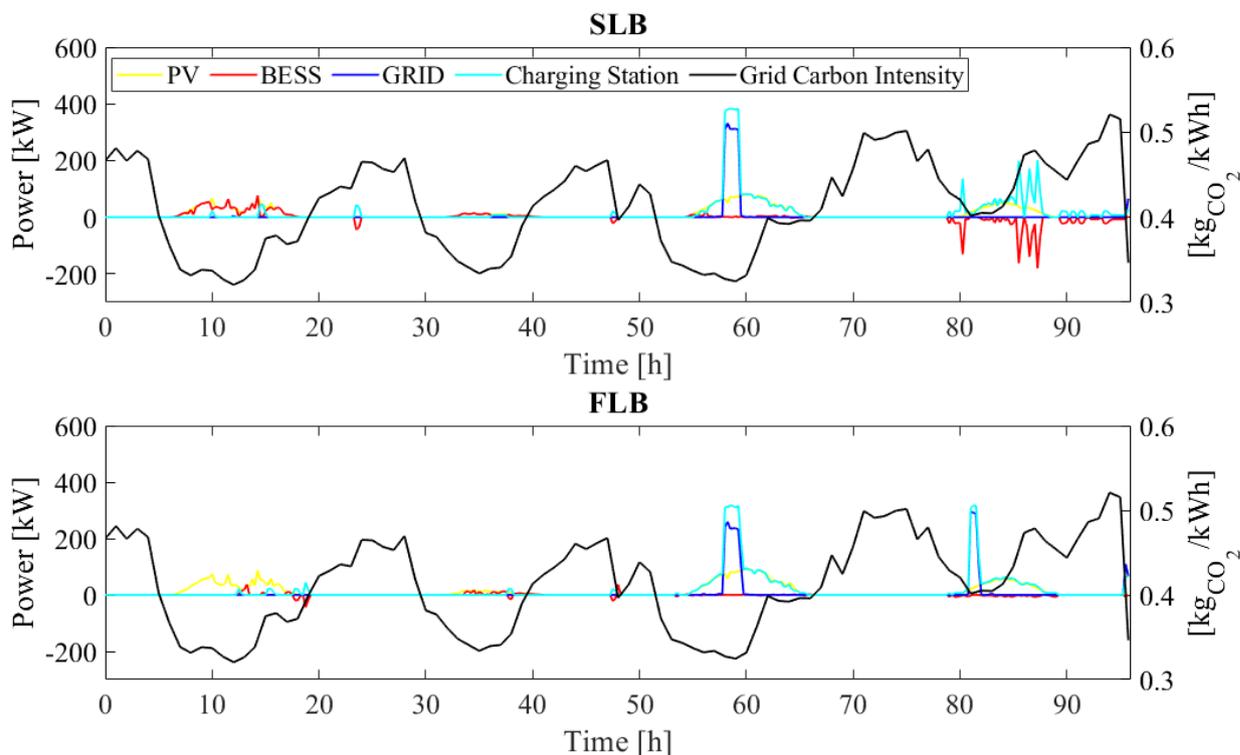
Case Study	$N_S$	$N_M$	$P_{PV}^{peak}$ [kW]	$C_{BESS}$ [kWh]
No BESS	12	11	127.5	0
FLB	12	8	122.5	44.3
SLB	12	8	108	803.2

I flussi energetici corrispondenti alle tre realizzazioni progettuali sono inoltre riportati di seguito in Figura 5.



**Figura 5. Flussi energetici annuali corrispondenti alle realizzazioni progettuali di Tabella 1.**

Infine, in Figura 6 sono descritti i flussi energetici relativi a quattro giorni consecutivi nella stagione invernale. Si può osservare come siano sfruttati i periodi a ridotta carbon intensity per provvedere alla ricarica dei veicoli da rete o da PV, sfruttando al contempo la BESS per stoccare energia da utilizzare successivamente per la ricarica (nel quarto giorno per la SLB) durante un periodo ad elevata carbon intensity. Nel caso FLB, la capacità della batteria non è successivamente elevata, non consentendo operazioni di spostamento del processo di ricarica di simile efficacia.



**Figura 6. Profili temporali dei flussi energetici in merito all'impianto PV, al Battery Energy Storage System, alla rete (GRID), alla Charging Station e alla Grid Carbon Intensity della rete.**

## 4 Conclusioni

Nel presente Rapporto Tecnico è stata illustrata l'attività di ricerca atta a definire l'ottimizzazione, e quindi il dimensionamento, di una Electric Vehicle Charging Station (EVCS) localizzata nella sede "La Casaccia" del centro Ricerche ENEA, vicino Roma.

L'ottimizzazione a doppio livello, qui proposta per valutare l'adozione di un sistema di accumulo stazionario BESS con moduli FLB First Life Battery ovvero SLB Second Life Battery, ha messo in evidenza i vantaggi ottenibili dall'utilizzo delle SLB, soprattutto in relazione al minore impatto in termini di emissioni di CO<sub>2</sub> in confronto a batterie con moduli FLB. In particolare, sono stati considerati obiettivi di sostenibilità (emissioni di CO<sub>2</sub>) e capacità di autoconsumo dell'energia prodotta localmente da RES Renewable Energy Sources.

I risultati ottenuti possono essere sintetizzati come segue:

- L'ottimizzazione del sistema di controllo del processo di ricarica consente di limitare le emissioni di CO<sub>2</sub> sfruttando le fonti di flessibilità, e principalmente le batterie dei veicoli e la batteria stazionaria considerata.
- L'installazione di una SLB consente di ottenere una riduzione del 15% delle emissioni di CO<sub>2</sub> in confronto a una batteria FLB, facendo riferimento a una capacità simile di autoconsumo dell'energia prodotta da fonti rinnovabili, con il fine ultimo di non sovraccaricare la rete elettrica.

## Riferimenti bibliografici

1. “European Green Deal.” [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_it](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_it).
2. G. Piazza, S. Bracco, F. Delfino, and S. Siri, “Optimal design of electric mobility services for a Local Energy Community,” *Sustain. Energy, Grids Networks*, p. 100440, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.segan.2021.100440.
3. S. Bracco, F. Delfino, M. Longo, and S. Siri, “Electric Vehicles and Storage Systems Integrated within a Sustainable Urban District Fed by Solar Energy,” *J. Adv. Transp.*, vol. 2019, 2019, doi: 10.1155/2019/9572746.
4. L. Bartolucci, S. Cordiner, V. Mulone, M. Santarelli, P. Lombardi, and B. Arendarski, “International Journal of Electrical Power and Energy Systems Towards Net Zero Energy Factory : A multi-objective approach to optimally size and operate industrial flexibility solutions,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, no. October, p. 107796, 2021, doi: 10.1016/j.ijepes.2021.107796.
5. L. Janota, T. Králík, and J. Knápek, “Second life batteries used in energy storage for frequency containment reserve service,” *Energies*, vol. 13, no. 23, 2020, doi: 10.3390/en13236396.
6. U. K. Debnath, I. Ahmad, and D. Habibi, “Gridable vehicles and second life batteries for generation side asset management in the Smart Grid,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 82, pp. 114–123, Nov. 2016, doi: 10.1016/J.IJEPES.2016.03.006.
7. S. Leonori, G. Rizzoni, F. M. Frattale Mascioli, and A. Rizzi, “Intelligent energy flow management of a nanogrid fast charging station equipped with second life batteries,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, p. 106602, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.ijepes.2020.106602.
8. L. Bartolucci, S. Cordiner, V. Mulone, M. Santarelli, F. Ortenzi, M. Pasquali. Optimal integration of Renewables and Second-Life batteries to improve the environmental sustainability of Electric Vehicle Fleets. 2021 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2021 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC/I&CPS Europe).
9. G. Valenti, M. Lelli, C. Lliberto, S. Orchi, G. Messina, F. Ortenzi, F. Carapellucci. Valutazione dei Benefici Ambientali della Mobilità Elettrica nell’areale di Roma. Report RdS/PAR/2015/213.

## Abbreviazioni ed acronimi

BESS=Battery Energy Storage System  
EV = Electric Vehicle  
EVCS=Electric Vehicle Charging Station  
FLB=First Life Battery  
LEV=Low Emission Vehicles  
PV=PhotoVoltaic  
RES=Renewable Energy Sources  
SLB=Second Life Battery  
ZEV=Zero Emission Vehicles