

Ricerca di Sistema elettrico



Ricarica dinamica per TPL: Sperimentazione su strada del sistema di trasporto in convoglio in un circuito rappresentativo (LA3.9)

Fernando Ortenzi, Francesco Vitiello

Ricarica dinamica per TPL: Sperimentazione su strada del sistema di trasporto in convoglio in un circuito rappresentativo

TITOLO: Ricarica dinamica per TPL: Sperimentazione su strada del sistema di trasporto in convoglio in un circuito rappresentativo (LA3.9)

F. Ortenzi, F. Vitiello - ENEA

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: Tema di ricerca 1.7 – Tecnologie per la penetrazione efficiente del vettore elettrico negli usi finali

Linea di attività: 3.9

Responsabile del Progetto: Claudia Meloni, ENEA

Responsabile del Work Package: Fernando Ortenzi, ENEA

Responsabile Linea di Attività: Fernando Ortenzi, ENEA

Mese inizio previsto: 19

Mese inizio effettivo: 36

Mese fine previsto: 19

Mese fine effettivo: 36

Indice

1	Risultati attesi	5
2	Risultati ottenuti.....	6
3	Prodotti attesi	7
4	Prodotti sviluppati	8
5	Analisi degli scostamenti su attività e risultati.....	9
6	Sintesi delle attività svolte	10
7	Dettaglio delle attività svolte.....	11
7.1	Prove su singolo autobus su percorso di guida reale	12
7.2	Prove su convoglio al banco a rulli.	15
8	Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte.....	23
9	Pubblicazioni scientifiche	24
10	Eventi di disseminazione	25

Indice delle figure

Figura 1 – Autobus utilizzati per la sperimentazione. A sinistra quello con matricola 325 equipaggiato con il nuovo sistema di alimentazione. A destra quello con matricola 1328.....	11
Figura 2 – Nuovo sistema di alimentazione prima di essere montato sull'autobus.	11
Figura 3 – Schema del sistema di raffreddamento del nuovo sistema di alimentazione.	12
Figura 4 – Mappa con in blu il percorso realizzato dall'autobus all'interno del Centro ENEA Casaccia.....	13
Figura 5 – Grafici della potenza erogata dalla batteria; velocità del veicolo; Stato di Carica (SOC) della batteria. Percorso su strada.....	14
Figura 6 – Grafici della potenza totale; corrente totale e tensione media sul lato ad alto voltaggio (HL) e basso voltaggio (LV) dei convertitori DC-DC; velocità del veicolo. Percorso su strada.	14
Figura 7 – Grafici delle temperature dei vari componenti (temperature del liquido di raffreddamento e degli induttori dei convertitori DC-DC e temperatura minima e massima delle celle) del sistema di alimentazione durante il percorso su strada.	15
Figura 8 – Cavi di collegamento tra i due autobus. L'autobus master è sul banco a rulli, mentre l'autobus slave è fermo all'esterno del fabbricato.	16
Figura 9 – Schema delle connessioni all'interno del veicolo e tra i due veicoli con i flussi di potenza. Il verso delle frecce indica che il flusso di potenza è positivo nella direzione indicata.	16
Figura 10 – Grafici della potenza erogata dalla batteria; velocità del veicolo; corrente in uscita dalla batteria e sul lato a bassa tensione (LV) del convertitore DC-DC; Stato di Carica (SOC) della batteria. Ciclo sul banco a rulli.....	17
Figura 11 – Grafici delle temperature dei vari componenti (temperature del liquido di raffreddamento e degli induttori dei convertitori DC-DC e temperatura minima e massima delle celle) del sistema di alimentazione durante il ciclo sul banco a rulli.	18
Figura 12 – Grafici con flussi di potenza tra batteria, alimentatore e convertitori DC-DC sul lato a 400 V (HV); Correnti batteria e convertitori DC-DC lato 400 V (HV); velocità veicolo. Veicolo fermo in ricarica solo da alimentatore HV.	19
Figura 13 – Grafici con flussi di potenza tra batteria, alimentatore e convertitori DC-DC sul lato a 400 V (HV); Correnti batteria e convertitori DC-DC lato 400 V (HV); velocità veicolo. Veicolo a velocità costante di 15 km/h in ricarica solo da alimentatore HV.....	19
Figura 14 – Grafici con flussi di potenza tra batteria, alimentatore e convertitori DC-DC sul lato a 400 V (HV); Correnti batteria e convertitori DC-DC lato 400 V (HV); velocità veicolo. Transitori di accelerazione e frenata, veicolo in ricarica solo da alimentatore HV.	20
Figura 15 – Grafici con flussi di potenza tra batteria, alimentatore e convertitori DC-DC sul lato a 400 V (HV); correnti batteria e convertitori lato 400 V (HV); corrente condivisa e dei convertitori DC-DC lato 72 V (LV); velocità veicolo. Veicolo in movimento con ricarica condivisa con autobus slave.	21
Figura 16 – Grafici con flussi di potenza tra batteria, alimentatore e convertitori DC-DC sul lato a 400 V (HV); correnti batteria e convertitori lato 400 V (HV); corrente condivisa e dei	

convertitori DC-DC lato 72 V (LV); velocità veicolo. Veicolo in movimento con ricarica condivisa con autobus slave e ricarica da alimentatore HV.21

Figura 17 - - Grafici delle temperature dei vari componenti (temperature del liquido di raffreddamento e degli induttori dei convertitori DC-DC e temperatura minima e massima delle celle) del sistema di alimentazione durante il ciclo sul banco a rulli con ricarica condivisa con autobus slave e ricarica da alimentatore HV.....22

Indice delle tabelle

Tabella 1 - Dati riepilogo prova.....13

1 Risultati attesi

Nell'ambito della Task relativa alla ricarica dinamica per il trasporto pubblico locale, nelle precedenti linee di attività, si è fatta una valutazione tecnico-economica dei sistemi di ricarica dinamica presenti nel mercato (LA 3.8), si sono realizzati due veicoli compatibili sia con il platooning che con un sistema di ricarica dinamica (LA 3.11) e si è realizzato un sistema di ricarica dinamica (LA 3.12) in grado di ricaricare un plotone di veicoli.

Nella presente linea di attività, verrà sperimentato il sistema stazione-veicolo e veicolo-veicolo valutandone il consumo kilometrico lungo un percorso rappresentativo di una linea urbana.

Il luogo dove avverrà la sperimentazione non è ancora definito ma sarà uno tra un luogo specificato dall'università di Firenze oppure all'interno della sede ENEA Casaccia.

Il luogo, per poter ospitare la sperimentazione, sarà opportunamente modificato, dovendo contenere, nel caso di un sistema di ricarica con catenaria unifilare (di tipo tramviario) un sistema di pali che sorreggono una catenaria, un sistema di terra per il conduttore di ritorno, tutti fissati a terra tramite opere civili opportunamente progettate. In aggiunta ci sarà anche un locale che ospiterà una stazione di conversione per la connessione della rete elettrica con la catenaria.

La presente linea di attività avrà come risultato un rapporto tecnico con i risultati delle prove dei veicoli che percorrono un percorso rappresentativo di una linea di autobus urbana e l'intero dimostrativo comprendente i veicoli e il sistema di ricarica dinamica testati.

2 Risultati ottenuti

I risultati ottenuti sono:

- Valutazione del consumo su percorso rappresentativo di linea TPL con autobus dotato del nuovo sistema di alimentazione realizzato nella LA 3.11.
- Valutazione delle performance dell'autobus in oggetto durante ricarica dinamica attraverso l'utilizzo di un alimentatore da 20 kW di potenza massima collegato su lato ad alta tensione del veicolo (400V), il quale simula la catenaria con il pantografo, e un banco a rulli per la simulazione del carico strada.
- Valutazione delle performance dell'autobus in oggetto durante trasferimento di carica con secondo autobus in convoglio, e un banco a rulli per la simulazione del carico strada.
- Valutazione delle performance dell'autobus in oggetto durante trasferimento di carica con secondo autobus in convoglio e un banco a rulli per la simulazione del carico strada contemporaneamente alla ricarica da alimentatore da 20 kW su lato ad alta tensione del veicolo (400V), il quale simula la catenaria con il pantografo.

3 Prodotti attesi

I prodotti attesi della presente linea di attività, oltre il report contenente le prove, consistono nella realizzazione di un sistema integrato di trasporto in convoying di due minibus, con ricarica in movimento tramite catenaria e trasferimento di carica tra i veicoli connessi.

4 Prodotti sviluppati

I prodotti sviluppati nella presente LA sono un sistema integrato di trasporto in convoying di due minibus, con ricarica in movimento tramite pantografo e trasferimento di carica tra i veicoli connessi.

5 Analisi degli scostamenti su attività e risultati

In questa LA lo scostamento ho riguardato la realizzazione di una catenaria unifilare di tipo tramviario che non è stata acquisita e posta in opera a causa di ritardi amministrativi, che tuttavia è stata progettata e dimensionata con una lunghezza di 120 metri, la cui realizzazione è programmata nel triennio 2025-2027.

Come previsto nel piano di rischio, l'azione di mitigazione ha riguardato il test dei flussi di potenza in ricarica dei veicoli al banco a rulli di ENEA ed inoltre è stato fatto un test su un circuito interno alla sede di ENEA Casaccia dove si è misurato il consumo del veicolo realizzato nel presente triennio 2022-2024.

6 Sintesi delle attività svolte

L'attività sperimentale svolta può essere suddivisa in due tipologie. La prima relativa alla valutazione delle performance del singolo autobus, dotato della nuova soluzione per l'accumulo di bordo scelta nella LA 3.10, su un percorso rappresentativo di un ciclo di lavoro tipico di un autobus per linea urbana. La seconda relativa alla valutazione delle performance del convoglio composto da due autobus, in cui il primo può ricevere la carica dalla catenaria e può dividerla con il secondo, anche durante la guida. La prima attività è stata eseguita all'interno del centro casaccia, guidando l'autobus dotato della nuova soluzione per l'accumulo su un percorso predefinito. La seconda è stata eseguita con lo stesso autobus sul banco a rulli, un secondo autobus collegato al primo per la condivisione della carica e un alimentatore, anch'esso collegato al primo autobus, per la simulazione dell'energia fornita dalla catenaria.

7 Dettaglio delle attività svolte

Le prove sperimentali sono state svolte sia sul singolo autobus, guidandolo all'interno del centro ENEA Casaccia su un percorso predefinito, sia su due autobus in convoglio attraverso l'utilizzo di un banco a rulli.

I veicoli utilizzati, mostrati nella Figura 1, sono Tecnobus Gulliver.



Figura 1 - Autobus utilizzati per la sperimentazione. A sinistra quello con matricola 325 equipaggiato con il nuovo sistema di alimentazione. A destra quello con matricola 1328.

Questi sono dotati di un impianto elettrico di trazione e relativo azionamento a 72V nominali. Nelle linee di 3.10 e 3.11 è stato sviluppato un nuovo sistema di alimentazione, visibile in Figura 2, che è andato ad equipaggiare l'autobus con matricola 325.

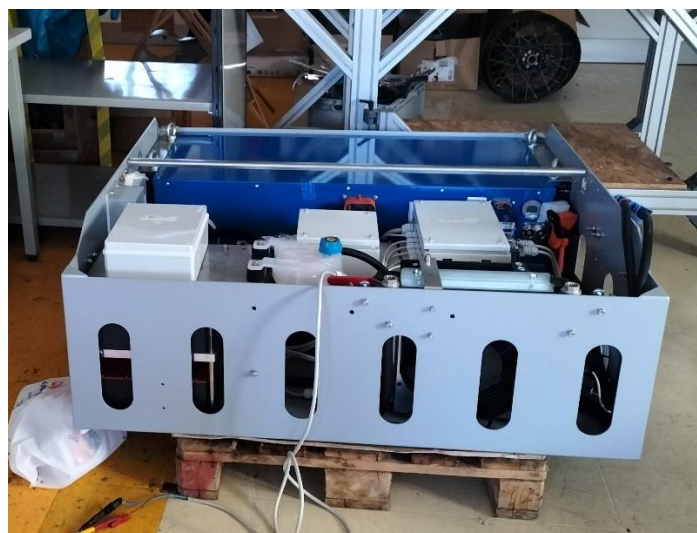


Figura 2 - Nuovo sistema di alimentazione prima di essere montato sull'autobus.

IL nuovo sistema di alimentazione è alloggiato in un cassone ed è composto da:

- La batteria agli ioni di litio, fornita da XBW, con le seguenti caratteristiche: tensione nominale di 355 V (max 405 V e min 326 V), energia nominale di 20.246 kWh e capacità

nominale di 57 Ah. Il pacco batterie è inoltre dotato di un Battery Management System interno.

- Due convertitori DC-DC bidirezionali, forniti da Zekalabs, che lavorano in parallelo e trasformano la tensione della batteria nei 72 V richiesti dall'impianto dell'autobus, oltre che nei 24 V e 12 V richiesti dagli impianti ausiliari dell'autobus, i quali escono su connettori dedicati.
- Sistema di raffreddamento della batteria e dei convertitori, il cui schema è visibile in Figura 3.

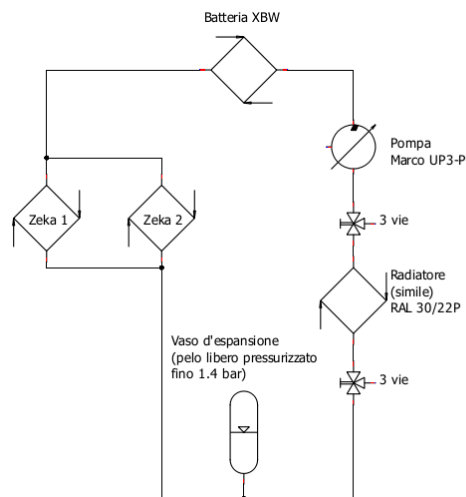


Figura 3 – Schema del sistema di raffreddamento del nuovo sistema di alimentazione.

7.1 Prove su singolo autobus su percorso di guida reale.

Per la valutazione delle performance del singolo autobus si è scelto di effettuare un percorso all'interno del centro ENEA Casaccia, simulando un percorso reale di una linea di trasporto pubblico con fermate e ripartenze. L'autobus utilizzato è il 325, dotato del nuovo sistema di alimentazione descritto precedentemente.

In Figura 4 è possibile visualizzare la traccia GPS del percorso. La distanza percorsa è stata di 2,46 km e il tempo in movimento di 12 minuti e 29 secondi, per una velocità media di circa 12 km/h.

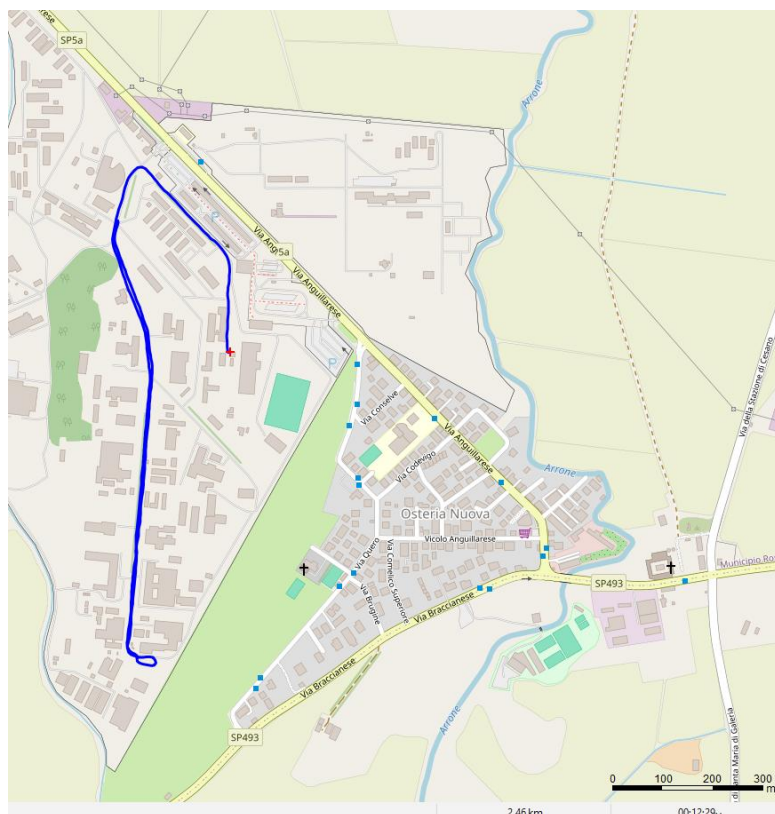


Figura 4 - Mappa con in blu il percorso realizzato dall'autobus all'interno del Centro ENEA Casaccia.

Tutta la prova, compresa di soste, è durata 14 minuti e 10 secondi. Durante il tragitto, lo stato di carica (SOC) stimato dal BMS interno al pacco batteria è passato da 60 % a 52 %. L'energia erogata dalla batteria in questo periodo è stata di 1.35 kWh, e comprende sia la quota necessaria per la trazione che quella per alimentare i servizi dell'autobus. Il consumo energetico è quindi di 0.55 kWh/km. Questo dato è in linea con quello stimato nel precedente triennio e con quanto riportato in letteratura scientifica.

Tabella 1 - Dati riepilogo prova.

Distance	2,46 km
Average Running speed	12 km/h
Battery Energy	1.35 kWh
Energy Consumption	0.55 kWh/km
Delta SOC	8 %
Tcell max	18 °C
Tcell min	15 °C

Si riportano nelle Figura 5, Figura 6 e Figura 7 alcuni dei dati istantanei raccolti durante prova.

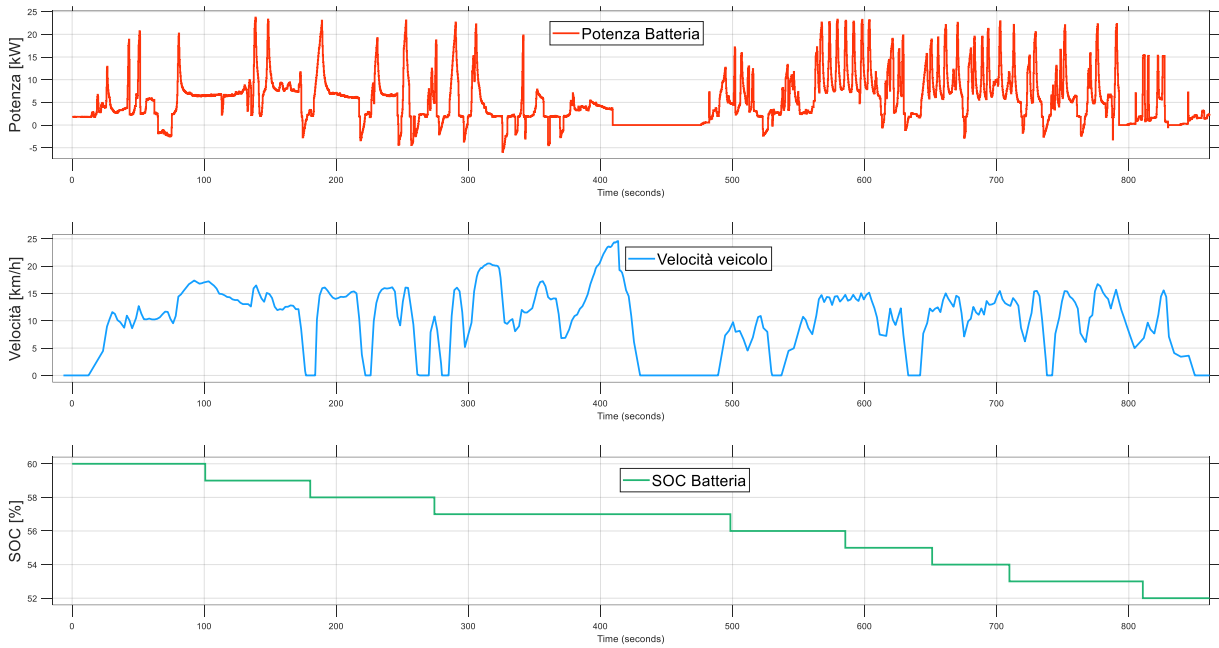


Figura 5 - Grafici della potenza erogata dalla batteria; velocità del veicolo; Stato di Carica (SOC) della batteria. Percorso su strada.

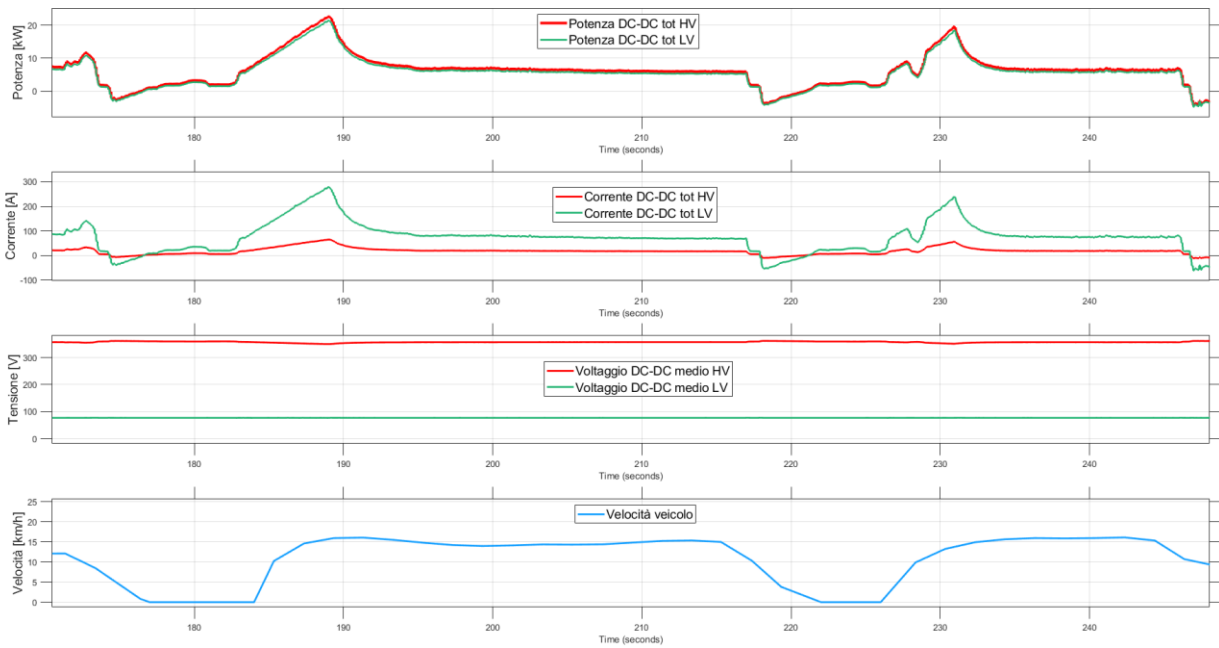


Figura 6 - Grafici della potenza totale; corrente totale e tensione media sul lato ad alto voltaggio (HL) e basso voltaggio (LV) dei convertitori DC-DC; velocità del veicolo. Percorso su strada.

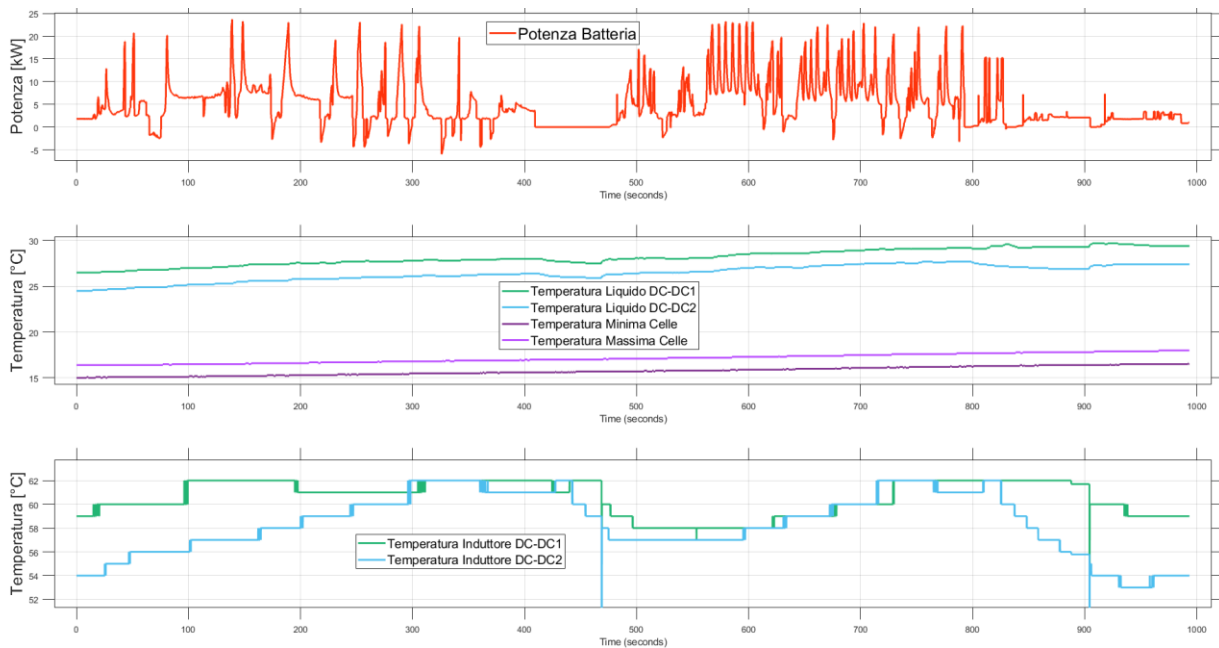


Figura 7 - Grafici delle temperature dei vari componenti (temperature del liquido di raffreddamento e degli induttori dei convertitori DC-DC e temperatura minima e massima delle celle) del sistema di alimentazione durante il percorso su strada.

Nella Figura 5 sono visibili i valori di potenza erogata dalla batteria, velocità del veicolo e stima dello stato di carica (SOC). La potenza massima erogata dalla batteria raggiunge i 23 kW, mentre l'assorbimento di picco durante la frenata rigenerativa arriva a 6 kW. La velocità massima raggiunta durante il tragitto è superiore a 24 km/h, e sono state effettuate diverse soste per simulare la salita e discesa dei passeggeri.

La Figura 6 mostra la potenza in ingresso e in uscita dai convertitori durante due partenze. Si nota che la potenza in uscita dai convertitori dal lato trazione (72 V) è minore di quella presente in ingresso ai convertitori (quella della batteria), a causa dell'efficienza dei convertitori e della potenza assorbita dagli ausiliari a 12 V e 24 V. Al picco di potenza di 23 kW, la corrente lato 72 V raggiunge i 280 A.

La Figura 7 mostra l'evoluzione delle temperature all'interno del sistema, durante il percorso. Le temperature delle singole celle della batteria si mantengono tra i 15 °C e i 18 °C durante tutto il percorso. Il liquido di raffreddamento nel convertitore 1 raggiunge ca. i 30 °C, mentre nel convertitore 2 arriva ca. a 28 °C. Le temperature degli induttori si mantengono stabili intorno ai 60 °C.

7.2 Prove su convoglio al banco a rulli.

Per lo svolgimento delle prove di condivisione della carica tra due autobus e ricarica in movimento è stato utilizzato un banco a rulli su cui è stato posizionato l'autobus equipaggiato con il nuovo sistema di alimentazione, di seguito indicato come master. Questo è poi stato collegato al secondo autobus, che è rimasto fermo facendo solo da carico o da sorgente con il primo, di seguito indicato come slave. Il collegamento tra i due autobus è avvenuto sulla linea a 72 V in uscita dai convertitori bidirezionali. L'autobus master è stato poi collegato, sulla linea ad alto voltaggio a 400 V, ad un alimentatore il cui scopo è quello di simulare la catenaria con il pantografo. Nella Figura 8 è possibile osservare la connessione tra i due autobus tramite una coppia di cavi, e una scatola contenente un interruttore di emergenza, un sensore di corrente e un fusibile.



Figura 8 - Cavi di collegamento tra i due autobus. L'autobus master è sul banco a rulli, mentre l'autobus slave è fermo all'esterno del fabbricato.

Lo schema in Figura 9 mostra i collegamenti tra i vari dispositivi con le relative convenzioni usate per i flussi di potenza positivi.

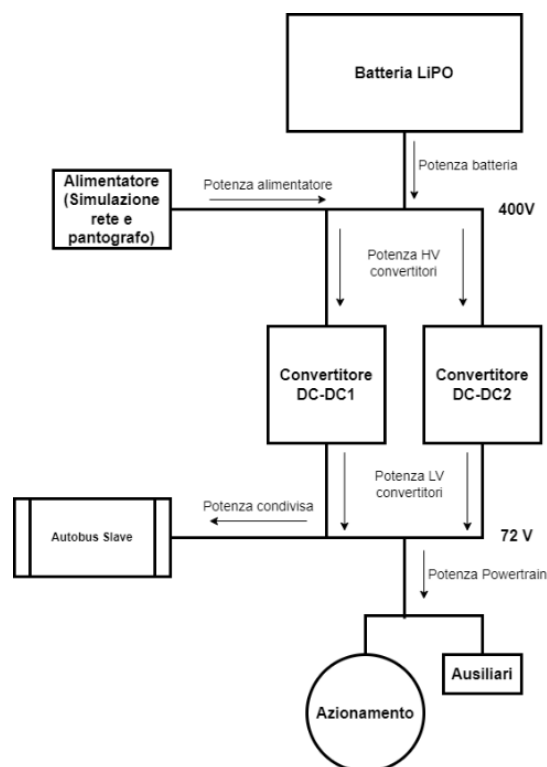


Figura 9 - Schema delle connessioni all'interno del veicolo e tra i due veicoli con i flussi di potenza. Il verso delle frecce indica che il flusso di potenza è positivo nella direzione indicata.

Le configurazioni che sono state testate sono:

- Condizione base con solo autobus master senza carichi o sorgenti.
- Autobus master con ricarica a 400 V da alimentatore che simula la catenaria con il pantografo durante la guida.
- Autobus master con condivisione della carica con autobus slave durante la guida.

- Autobus master con ricarica a 400 V da alimentatore che simula la catenaria con il pantografo e condivisione della carica con autobus slave durante la guida.

Inizialmente è stato eseguito un ciclo di marcia sul banco a rulli con il solo autobus master per verificare le performance di consumo e termiche del sistema. L'autobus è stato sollecitato con ripetute accelerazioni e frenate, poiché in queste condizioni risulta assorbire una quantità di potenza maggiore rispetto ad andamenti a velocità costante. Come mostra la Figura 10 ad ogni accelerazione sono stati superati i 20 kW erogati dalla batteria, con correnti della batteria che superano i 60 A mentre le correnti in uscita dai convertitori, sulla linea a 72 V nominali, superano i 250 A.

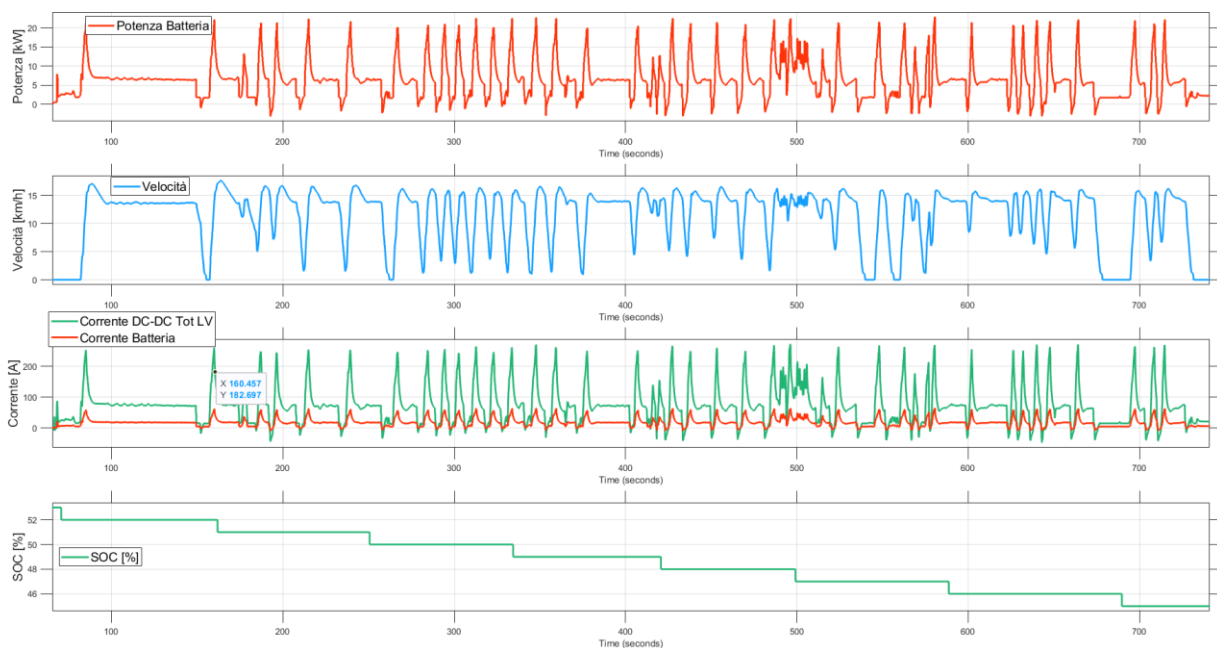


Figura 10 - Grafici della potenza erogata dalla batteria; velocità del veicolo; corrente in uscita dalla batteria e sul lato a bassa tensione (LV) del convertitore DC-DC; Stato di Carica (SOC) della batteria. Ciclo sul banco a rulli.

Il consumo in questo caso è stato leggermente superiore a quanto trovato durante il percorso su strada. Si sono percorsi 2.13 km consumando 1.23 kWh, per un consumo di 0.58 kWh/km, con lo stato di carica (SOC) stimato dal BMS che è passato da 53 % a 45 %. Le temperature dei vari componenti dell'autobus, visibili in Figura 11, si sono mantenute ampiamente sotto i limiti, con la temperatura massima delle celle che è arrivata a 25 °C, la temperatura massima degli induttori dei convertitori a 68 °C e la temperatura del liquido di raffreddamento a 34 °C a fine prova, con un aumento di 0,7 °C dall'inizio.

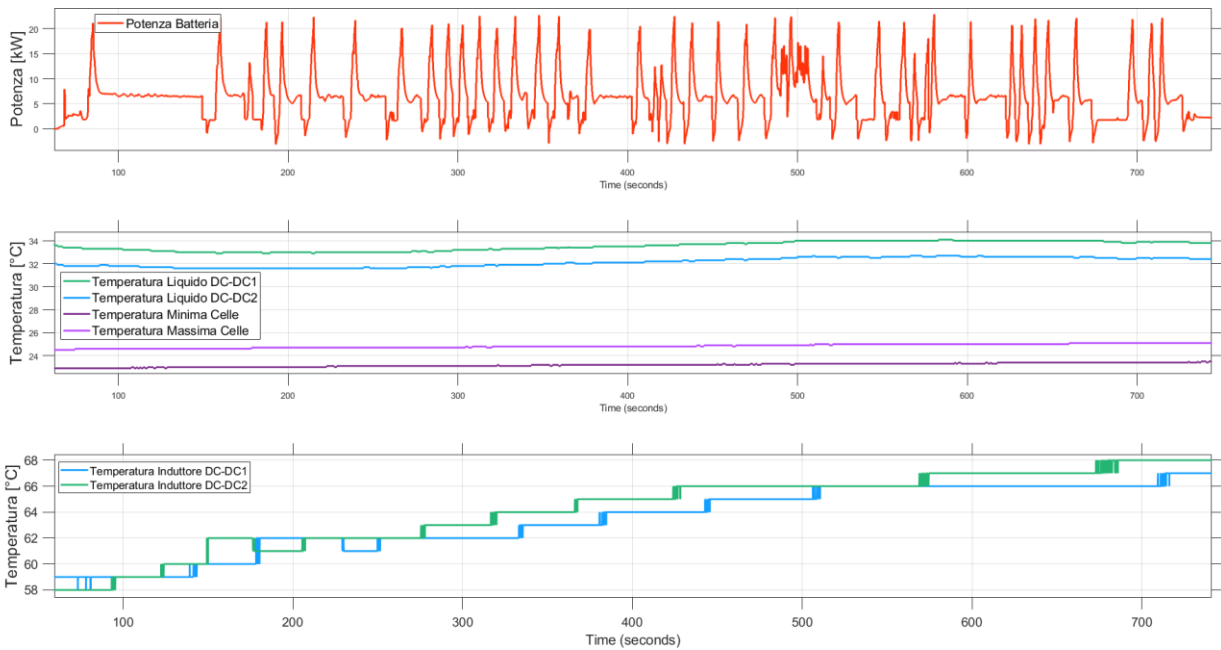


Figura 11 - Grafici delle temperature dei vari componenti (temperature del liquido di raffreddamento e degli induttori dei convertitori DC-DC e temperatura minima e massima delle celle) del sistema di alimentazione durante il ciclo sul banco a rulli.

Il test con ricarica da rete (catenaria e pantografo) simulata è stato svolto con un alimentatore connesso direttamente al lato ad alto voltaggio della batteria (~400 V), impostando una corrente di 40 A per una potenza fornita dalla rete "virtuale" di circa 14,5 kW. Nelle figure successive, sono mostrati i flussi di energia durante la guida. Con autobus fermo (Figura 12), la batteria assorbe tra gli 11 kW e i 12,5 kW, con una corrente di circa 30 A. I convertitori assorbono i restanti 2 - 3,5kW per alimentare gli ausiliari, con una corrente di circa 10 A. A velocità costante di circa 15 km/h (Figura 13) l'autobus consuma circa 6 kW (5.5 kW lato 72V), e la batteria viene caricata con i restanti 8.5 kW forniti dall'alimentatore. Durante i transitori accelerazione (Figura 14) invece la corrente della batteria passa dallo stato di carica a quello di scarica in maniera regolare, senza inficiare la guidabilità dell'autobus, e in fase di rallentamento la batteria assorbe anche la corrente di frenata rigenerativa, arrivando, in questo ultimo caso, ad una potenza assorbita totale di 20 kW.

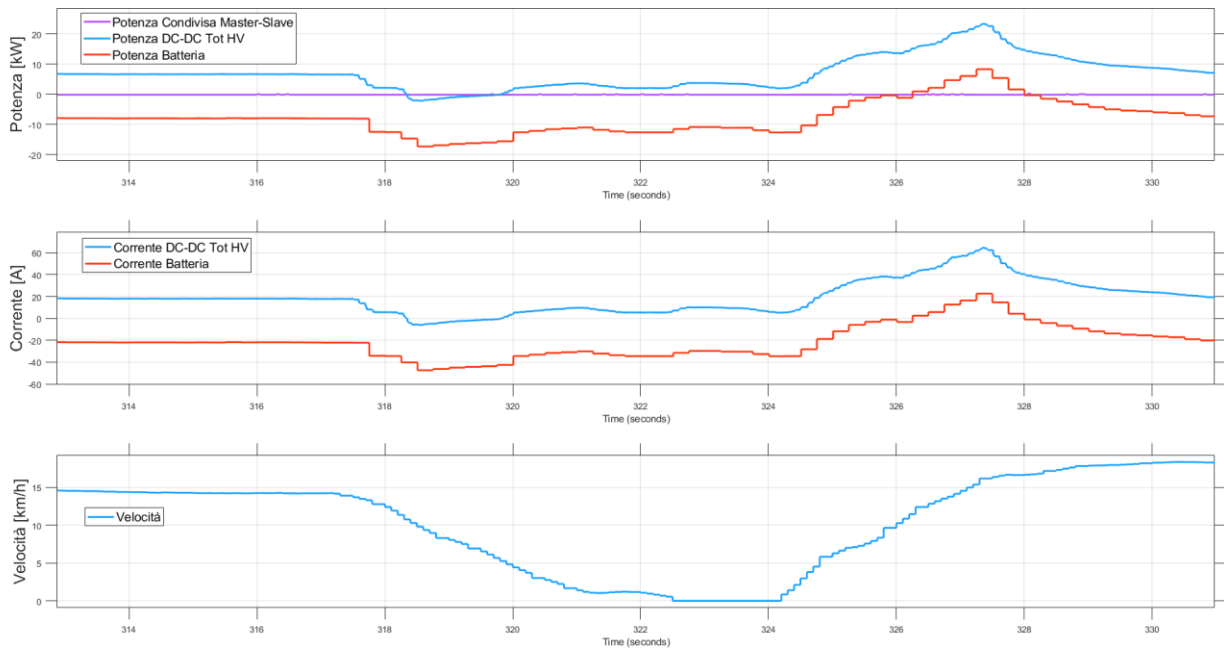


Figura 12 - Grafici con flussi di potenza tra batteria, alimentatore e convertitori DC-DC sul lato a 400 V (HV); Correnti batteria e convertitori DC-DC lato 400 V (HV); velocità veicolo. Veicolo fermo in ricarica solo da alimentatore HV.

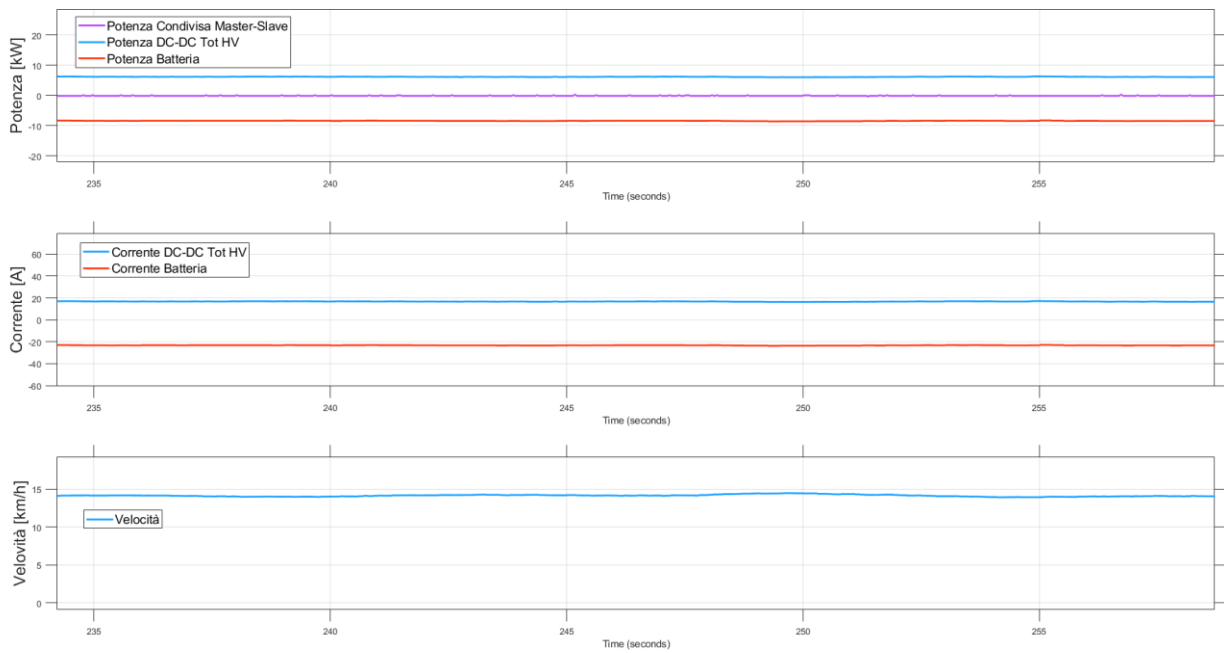


Figura 13 - Grafici con flussi di potenza tra batteria, alimentatore e convertitori DC-DC sul lato a 400 V (HV); Correnti batteria e convertitori DC-DC lato 400 V (HV); velocità veicolo. Veicolo a velocità costante di 15 km/h in ricarica solo da alimentatore HV.

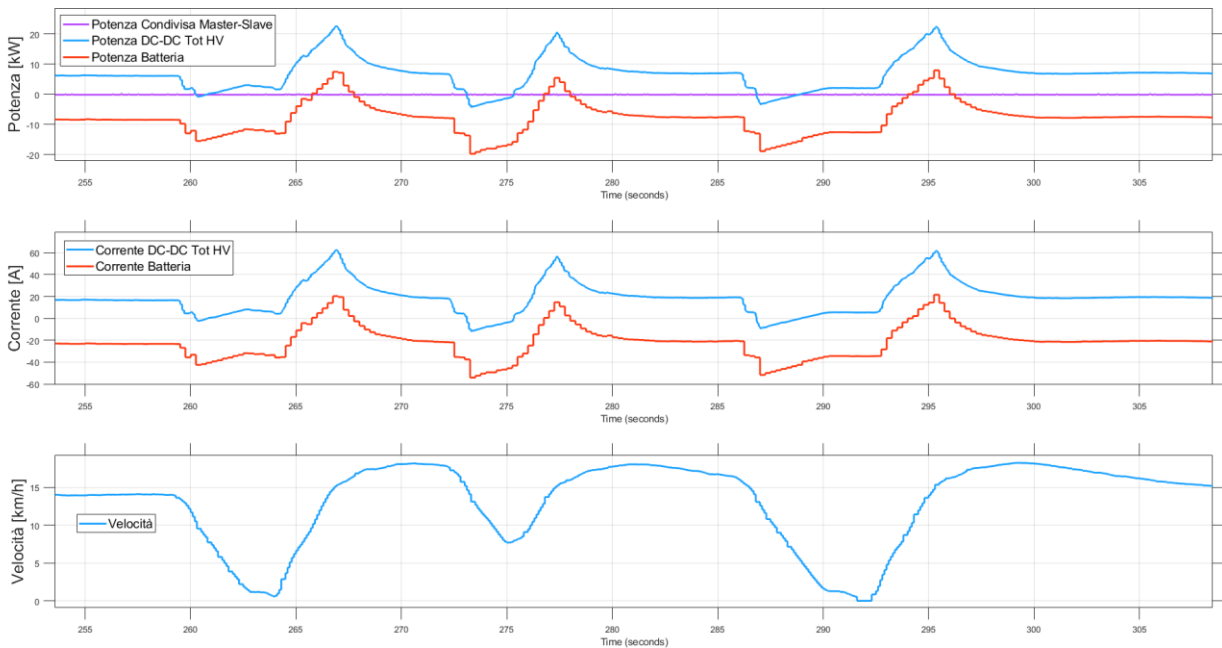


Figura 14 - Grafici con flussi di potenza tra batteria, alimentatore e convertitori DC-DC sul lato a 400 V (HV); Correnti batteria e convertitori DC-DC lato 400 V (HV); velocità veicolo. Transitori di accelerazione e frenata, veicolo in ricarica solo da alimentatore HV.

Mentre la ricarica da rete avviene direttamente alla tensione della batteria, lo scambio di carica tra i due autobus avviene alla tensione dell'impianto di trazione dell'autobus, 72V. Lo scambio può avvenire in entrambi i sensi, saranno poi i convertitori DC-DC a trasformare i livelli di tensione in modo che le batterie assorbano o erogino la potenza di scambio.

Nel test mostrato in Figura 15, eseguito durante la marcia, inizialmente l'autobus slave fornisce carica al primo con una potenza di 5.8 kW, a cui corrisponde una corrente di circa 75 A. Ad autobus master fermo la corrente assorbita dai convertitori è di 48 A (75 A forniti dall'altro autobus meno 27 A assorbiti dagli ausiliari) ed è utilizzata per ricaricare la batteria dell'autobus master. Durante l'accelerazione, poiché non tutta la corrente fornita dal secondo autobus basta per la trazione, la batteria passa da assorbire corrente a erogarla. Successivamente, a velocità costante, la corrente quasi si azzerà (4 A assorbiti), in quanto la corrente condivisa dal secondo autobus è più che sufficiente a mantenere la velocità di circa 13 km/h.

Nella seconda parte invece l'autobus slave assorbe energia dal master, mentre quest'ultimo è in trazione. In questo caso la corrente di scambio tra i due autobus è di circa 40 A, per una potenza di 3 kW. Il primo autobus erogherà questa potenza finché la corrente di 40 A sarà assorbita dal secondo autobus, e si sommerà alla potenza richiesta per la trazione e gli ausiliari, tranne nel caso di rigenerazione, in cui una piccola parte della corrente assorbita dall'autobus slave arriva dal motore elettrico che frena.

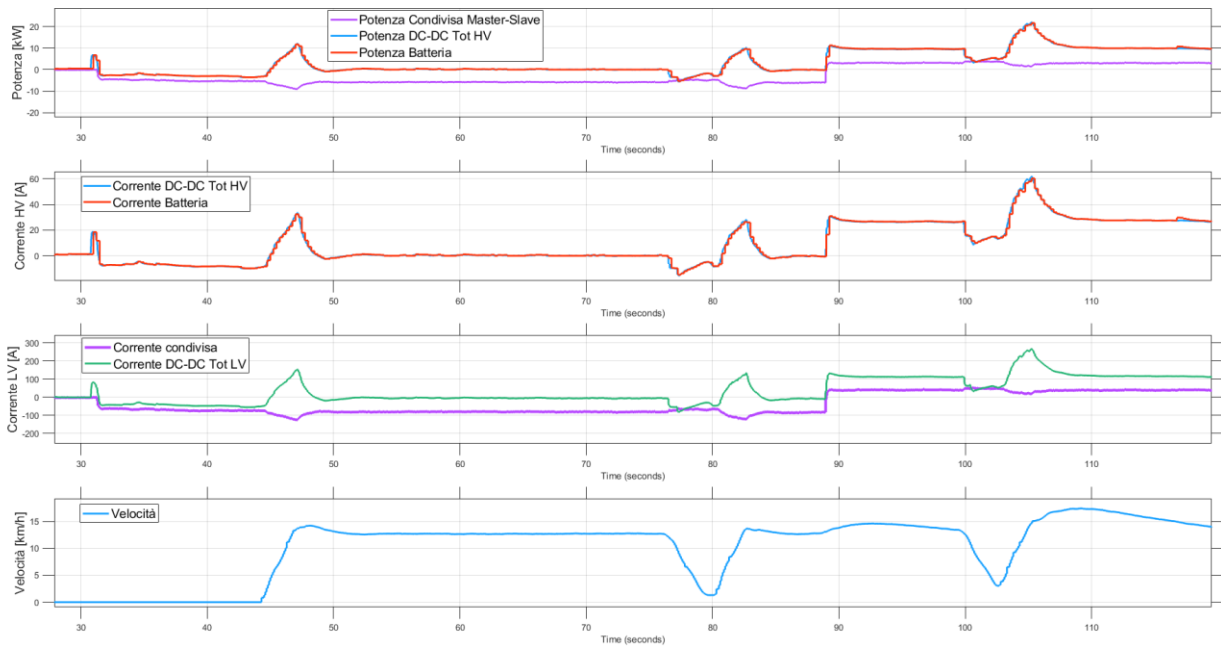


Figura 15 - Grafici con flussi di potenza tra batteria, alimentatore e convertitori DC-DC sul lato a 400 V (HV); correnti batteria e convertitori lato 400 V (HV); corrente condivisa e dei convertitori DC-DC lato 72 V (LV); velocità veicolo. Veicolo in movimento con ricarica condivisa con autobus slave.

Infine, si è testata la carica da rete e la condivisione contemporaneamente durante la guida (Figura 16). La rete ha fornito 14,5 kW, mentre l'autobus slave ha assorbito 5 kW. Dopo il secondo 394 della Figura 16 si vede che la potenza assorbita dalla batteria, ad autobus fermo è di 14,5 kW assorbiti dalla rete, a cui vanno sottratti 5,5 kW per caricare l'altro autobus e 2 kW per gli ausiliari, per un totale di circa 7 kW. La corrente assorbita dalle batterie è quasi sempre negativa, tranne nei momenti di accelerazione in cui diventa positiva in quanto la potenza fornita dalla rete non è sufficiente a soddisfare la richiesta di accelerazione del veicolo, con l'altro autobus in carica.

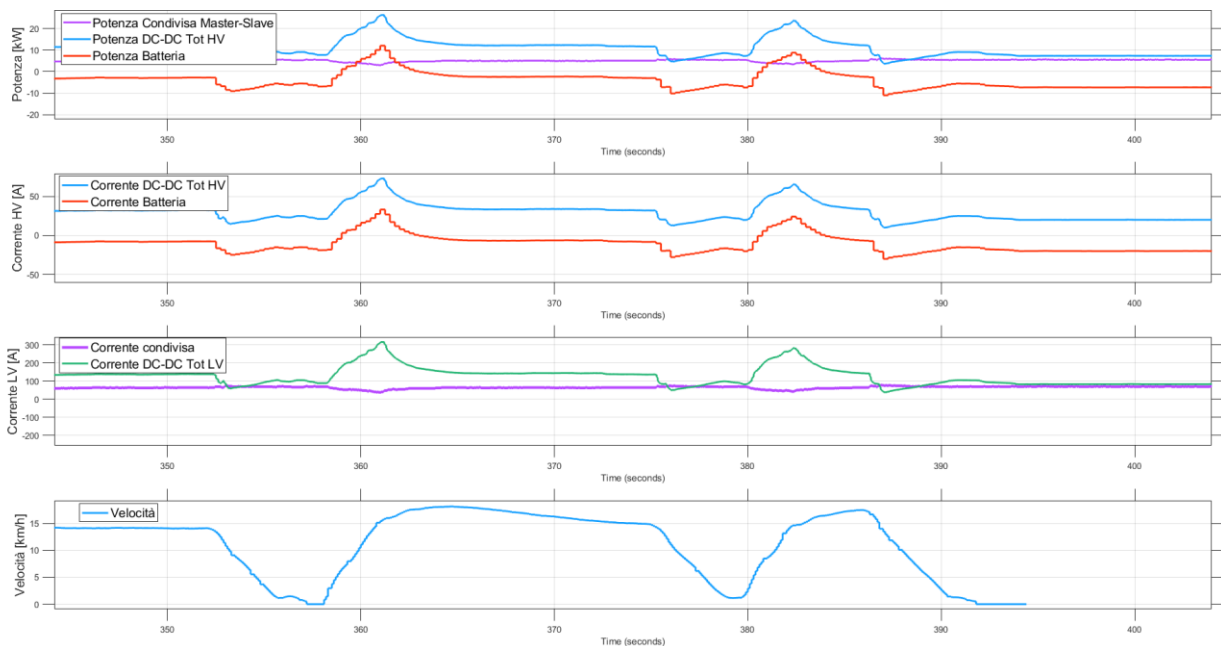


Figura 16 - Grafici con flussi di potenza tra batteria, alimentatore e convertitori DC-DC sul lato a 400 V (HV); correnti batteria e convertitori lato 400 V (HV); corrente condivisa e dei convertitori DC-DC lato 72 V (LV); velocità veicolo. Veicolo in movimento con ricarica condivisa con autobus slave e ricarica da alimentatore HV.

Per valutare le performance della gestione termica si è svolto un test simulando pendenze elevate, con una potenza prelevata dalla rete di circa 17 kW ad una corrente di circa 45 A e con una potenza assorbita dal secondo autobus di 3,5 kW ad una corrente di circa 45 A (Figura 17). La prova è stata svolta eseguendo principalmente accelerazioni e frenate per circa sette minuti. La batteria, in questo caso, si trova quasi sempre ad assorbire correnti, tranne durante le accelerazioni più forti, dove la potenza massima erogata dai convertitori arriva a 26 kW. La corrente erogata dai convertitori sul lato a 72 V è quasi sempre superiore a 100 A (tranne durante la frenata rigenerativa), e supera i 300 A di picco.

Le temperature delle celle non superano i 29 °C e quelle degli induttori arrivano a 70 °C, con una temperatura del liquido di raffreddamento intorno a 35 °C, evidenziando che il sistema rimane ampiamente al di sotto delle soglie critiche (120 °C per gli induttori e 60 °C per le celle).

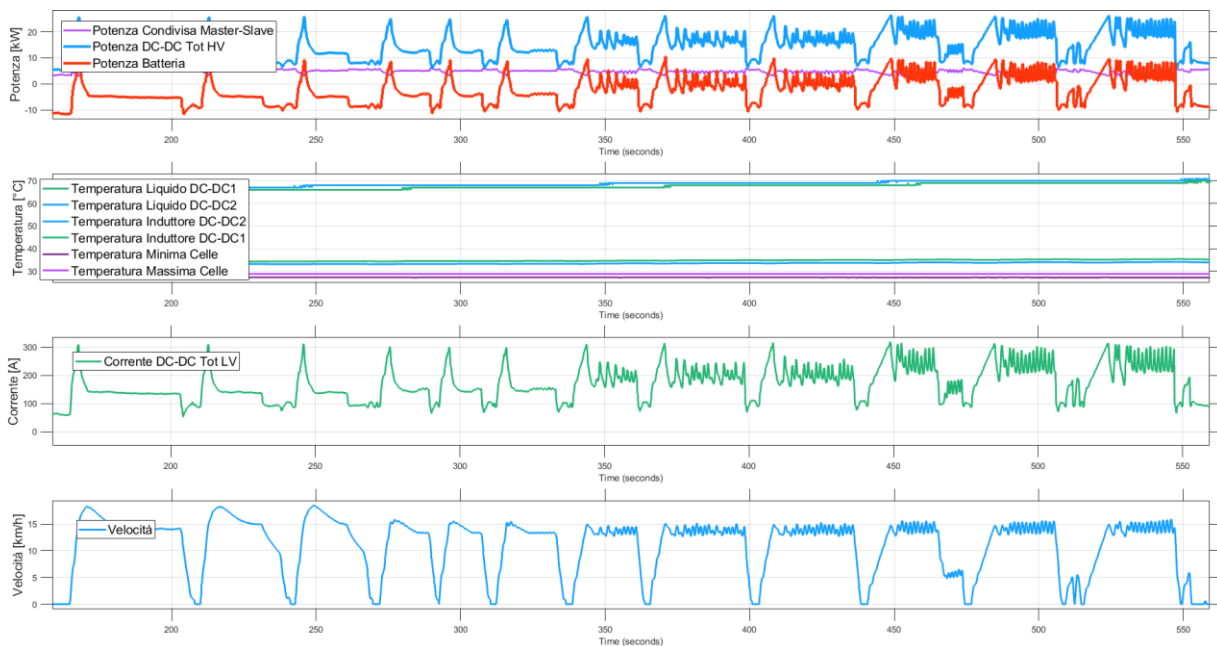


Figura 17 - - Grafici delle temperature dei vari componenti (temperature del liquido di raffreddamento e degli induttori dei convertitori DC-DC e temperatura minima e massima delle celle) del sistema di alimentazione durante il ciclo sul banco a rulli con ricarica condivisa con autobus slave e ricarica da alimentatore HV.

8 Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte

Non ci sono stati contributi da parte di consulente per questa linea di attività.

9 Pubblicazioni scientifiche

1. Nicolas E Lima Baschera, Alessandro Lidozzi, Giuseppe Zummo, Luca Saraceno, Fabio Riccardi, Fernando Ortenzi, Marco di Benedetto, Luca Solero, "[Advances in Two-Phase Cooling for Next Power Electronics Converters](#)", IEEE Open Journal of Industry Applications, 2024, 5, pp. 381–390
2. Adriano Alessandrini, Fabio Cignini, Fernando Ortenzi, "Sustainable Business Models for Innovative Urban Mobility Services", World Electric Vehicle Journal, Volume 15, Issue 9 September 2024 Article number 420.
3. Adriano Alessandrini, Fernando Ortenzi, Fabio Cignini, Michelangelo Santo Gulino, Michael Franci, Lorenzo Berzi, Francesco Zazzeri, Luca Pugi, "Preliminary Design and Simulation of a Return Current Collector for an Innovative Trambus System", Lecture Notes in Networks and Systems, Volume 1125 LNNS, Pages 85 – 92 2024, 3rd International Symposium on Industrial Engineering and Automation, ISIEA 2024 Bolzano 19 June 2024 through 21 June 2024, Code 321129
4. Maria Pia Valentini, Filippo Carrese, Chiara Colombaroni, Valentina Conti, Matteo Corazza, Maria Lelli, Mostafa Mohammadi, Silvia Orchi, Fernando Ortenzi, Golman Rahmanifar, Giuseppe Tomasino, Gaetano Fusco, "A platform to optimize urban deliveries with e-vans Dealing with vehicles range and batteries recharge", TeMA Journal of Land Use, Mobility and Environment Volume 16, Issue 2, Pages 403 - 423 30 August 2023
5. F Cignini, A Alessandrini, F Ortenzi, F Orecchini, A Santiangeli, F Zuccari, Comparing the Sustainability of Different Powertrains for Urban Use. Electronics (Switzerland) Open Access, Volume 12, Issue 4 February 2023 Article number 941
6. L Bartolucci, S Cordiner, V Mulone, M Santarelli, F Ortenzi, M Pasquali, PV assisted electric vehicle charging station considering the integration of stationary first- or second-life battery storage, Journal of Cleaner Production, Volume 38310 January 2023 Article number 135426
7. Dario Aliberti, Fernando Ortenzi, Vincenzo La Battaglia, Stefano Marini, Francesco Vellucci, Evaluation of the efficiency of a hybrid ICE vehicle fuelled with hydrogen compared with a fuel cell vehicle, based on a simulation model, Journal of Physics: Conference Series, Open Access, Volume 2648, Issue 12 2023 Article number 012082, 78th Associazione Termotecnica Italiana Annual Congress on Energy Transition: Research and Innovation for Industry, Communities and the Territory, ATI 2023, Carpi 14-15 September 2023

10 Eventi di disseminazione

1. The 37th International Electric Vehicle Symposium & Exhibition, COEX, SEOUL, April 23 - 26, 2024
2. Riunione commissione GL3 CUNA "Prove di correlazione su emissioni e consumo combustibile" della Commissione CUNA "Motori per autotrazione", Maranello, 20 Marzo 2024
3. NGV Italy – Convegno “Superare la transizione ideologica – La sfida di biometano, idrogeno e biocarburanti per la mobilità su strada” – Milano, 15 novembre 2024
4. 78° Congresso ATI 2023, Carpi (MO) 14-15 Settembre 2023 - TRANSIZIONE ENERGETICA: RICERCA E INNOVAZIONE PER L'INDUSTRIA, LE COMUNITÀ ED IL TERRITORIO