

Abstract

The rapid electrification of the transport sector has highlighted Thermal Management Systems (TMSs) as a critical factor for the safety and performance of Lithium-ion (Li-ion) battery packs. Simple and reliable methods to investigate the thermal behaviours of Li-ion cells are essential for the Electric Vehicles (EVs) industry to predict key issues when designing dedicated cooling systems. Meanwhile, innovative cooling solutions must align with the future directions of major industry players to improve current mature and reliable technologies, bridging the gap between academic research and industrial development. This thesis aims to develop a simplified thermal model to analyse the thermal behaviour of cylindrical Li-ion battery cells, incorporating a dedicated Equivalent Circuit Model (ECM), the Bernardi et al. equation, and empirical correlations for the Nusselt number in natural convection. The model was validated against experimental data, achieving errors within $\pm 5\%$ and RMSE over 95%. The workflow and approach were applied to design an innovative cold plate system composed of horizontal and vertical minichannels for a 40 Ah LTO battery pack used in EVs. Results showed that the proposed technology met the thermal targets for each battery cell, maintaining temperatures between 20 and 30 °C and temperature spans below 5 °C. Additionally, the design kept bulk and volume increases minimal through a compact and lightweight structure, ensuring compatibility with EV applications.

Abstract in italiano

La rapida elettrificazione del settore dei trasporti ha messo in luce l'importanza dei sistemi di gestione termica (TMS) come fattore critico per la sicurezza e le prestazioni dei pacchi batteria agli ioni di litio (Li-ion). Metodi semplici e affidabili per studiare il comportamento termico delle celle agli ioni di litio sono essenziali per l'industria dei veicoli elettrici (EV) al fine di prevedere le problematiche chiave nella progettazione di sistemi di raffreddamento dedicati. Allo stesso tempo, le soluzioni di raffreddamento innovative devono allinearsi alle future direzioni dei principali player del settore per migliorare le attuali tecnologie mature e affidabili, colmando il divario tra ricerca accademica e sviluppo industriale. La presente tesi mira a sviluppare un modello termico semplificato per analizzare il comportamento termico delle celle cilindriche a ioni di litio, incorporando un modello di circuito equivalente (ECM) dedicato, l'equazione di Bernardi e correlazioni empiriche per il numero di Nusselt nella convezione naturale. Il modello è stato validato rispetto ai dati sperimentali, ottenendo errori compresi tra $\pm 5\%$ e un RMSE superiore al 95%. Un innovativo flusso di lavoro è stato applicato alla

progettazione di un innovativo sistema di cold plate composto da minicanali orizzontali e verticali per un pacco batterie LTO da 40 Ah utilizzato nei veicoli elettrici. I risultati hanno dimostrato che la tecnologia proposta ha soddisfatto gli obiettivi termici per ciascuna cella della batteria, mantenendo le temperature comprese tra 20 e 30 °C, con differenze di temperatura all'interno del sistema inferiori a 5 °C. Inoltre, il progetto ha ridotto al minimo l'aumento di ingombro e volume grazie a una struttura compatta e leggera, garantendo la compatibilità con le principali applicazioni dei veicoli elettrici.