



La cella a combustibile fornisce energia elettrica alla E-macchina, alla batteria da 12 Volt tramite il convertitore DC-DC e alla batteria ad alto voltaggio (stoccaggio intermedio). Durante i transitori (accelerazione), la E-macchina riceve energia dalla FC e dalla batteria ad alto voltaggio.

Il controllo della trazione di un veicolo a celle a combustibile (FCEV) è complesso e tecnicamente elaborato. La cella a combustibile fornisce l'energia elettrica per l'azionamento attraverso la combustione fredda di idrogeno  $H_2$  e ossigeno  $O_2$ . La cella offre la massima efficienza nella gamma di medio carico. Il controllo dell'azionamento è progettato in modo tale che la cella a combustibile funzioni in linea di massima in questa finestra operativa. Il problema è che durante l'accelerazione, cioè il funzionamento transitorio, la cella a combustibile non è in grado di reagire abbastanza rapidamente da fornire l'energia direttamente al motore elettrico. In questa modalità di funzionamento, la macchina elettrica preleva quindi parte dell'energia dalla batteria ad alto voltaggio. Per compensare l'energia consumata, la gestione del carico della cella a combustibile viene regolata e la potenza della FC aumentata fino a quando il SOC non risulta nuovamente bilanciato. Questo si avverte anche acusticamente: l'aumento della potenza fa incrementare il regime di rotazione della ventola di raffreddamento per gli stack della FC.

### Un ibrido quasi seriale

Grazie a questo concetto, la cella a combustibile è dimensionata come un range extender. A seconda della situazione di guida, solo una parte della corrente proveniente dalla FC è convertita direttamente in energia meccanica dalla macchina elettrica. Di conseguenza, la batteria ad alto voltaggio deve fungere da riserva di energia. Né Hyundai né Toyota prevedono un dispositivo di ca-

rica batteria esterno. Mercedes-Benz ha invece testato prototipi in modalità plug-in. È importante che il SOC della batteria ad alto voltaggio sia monitorato e che l'unità di controllo dell'energia principale regoli continuamente il carico della cella a combustibile. Se il SOC scende al di sotto del 10-15%, la potenza di trazione viene ridotta e il veicolo non può essere avviato al di sotto del 5%. Tuttavia, questa anomalia si manifesta solo se c'è una perdita nel sistema dell'idrogeno o se la cella a combustibile non funziona correttamente (ad esempio, se l'alimentazione dell'aria è limitata).

### Controllo della trazione

In entrambi i veicoli a idrogeno attualmente disponibili sul mercato svizzero, la Hyundai Nexa e la Toyota Mirai, un'unità di controllo principale è responsabile del controllo della trazione. L'immagine evidenzia come i flussi di energia transitano dall'unità di controllo. In base alla richiesta di coppia del conducente e alle utenze accese, come il sistema di climatizzazione con il compressore dell'aria condizionata azionato elettricamente, il sistema calcola continuamente la richiesta di energia elettrica della cella a combustibile. L'offerta e la domanda sono quindi costantemente monitorate. La cella a combustibile dell'attuale Mirai è in grado di generare un massimo di 114 kW di potenza elettrica. La potenza massima di azionamento specificata è di 134 kW. Questa differenza di potenza e il fabbisogno energetico di altre utenze elettriche sono coperti dalla batteria ad alto voltaggio. Il controllo e la regolazione del flusso di energia della macchina

elettrica e della cella a combustibile rappresentano quindi la grande differenza rispetto ai BEV convenzionali. Ciò che rimane invariato è l'opzione di recupero durante la decelerazione. In entrambe le varianti di e-drive, la batteria ad alto voltaggio dovrebbe avere ancora una capacità SOC disponibile per assorbire l'energia elettrica durante la decelerazione. Inoltre, è necessario assicurarsi che il SOC sia il più alto possibile quando il veicolo è parcheggiato. Il motivo: in estate è necessaria molta energia per la climatizzazione fissa o per il raffreddamento rapido richiesto. In inverno, il sistema della gestione termica monitora le temperature del sistema quando il veicolo è parcheggiato e garantisce che la FC non si congeli a temperature inferiori allo zero. Anche l'energia di riscaldamento necessaria viene prelevata dalla batteria ad alto voltaggio.

### Diversi livelli di tensione

La cella a combustibile fornisce delle tensioni diverse in funzione delle condizioni di carico. Per caricare la batteria ad alto voltaggio, i veicoli FC necessitano di convertitori di tensione che ne regolino la carica. Inoltre, come per i BEV, è necessario un convertitore DC-DC per la rete di bordo a 12 Volt. Un altro livello di tensione è quello del motore elettrico, il quale riceve una tensione più o meno elevata, a seconda del carico e della velocità. La complessità nella gestione è quindi maggiore per il veicolo FC che per il BEV. Tuttavia, entrambi i produttori riescono a soddisfare brillantemente questi requisiti dal punto di vista tecnico.