



REGIONE
TOSCANA



Progetto H2 Filiera Idrogeno

Controllo elettronico del sistema di accumulo di energia in veicoli a fuel-cell

Roberto Saletti
Dipartimento Ingegneria dell'Informazione
Università di Pisa



Il contributo elettronico

Pierangelo Terreni

Federico Baronti

Luca Fanucci

Bruno Neri

Roberto Roncella

Roberto Saletti

Sergio Saponara

Tony Bacchillone

Gabriele Fantechi

Biagio Laneve

Emanuele Leonardi

Esa Petri

Università di Pisa

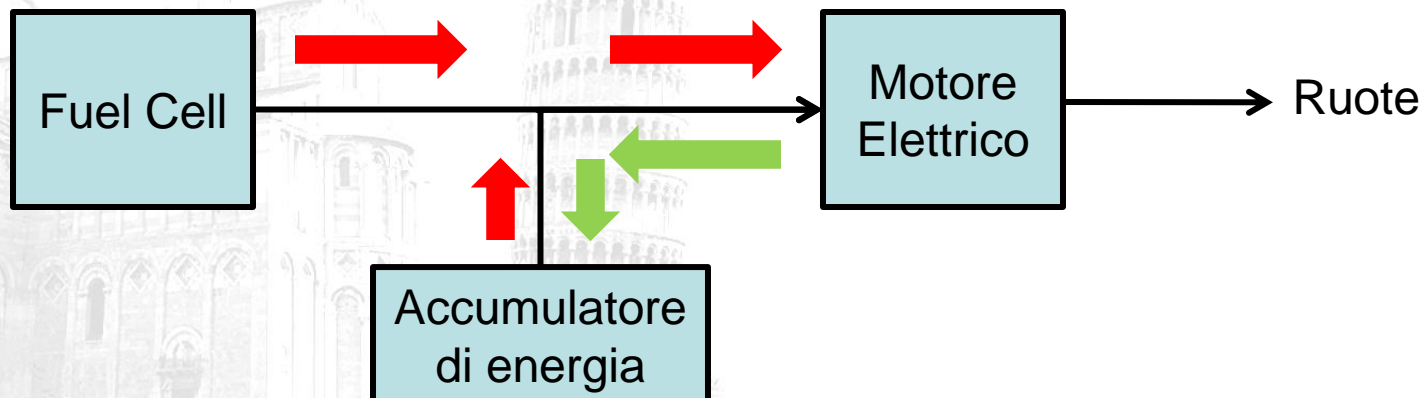
*Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione:
Elettronica, Informatica, Telecomunicazioni*

*H₂ Electronic Systems
research group*



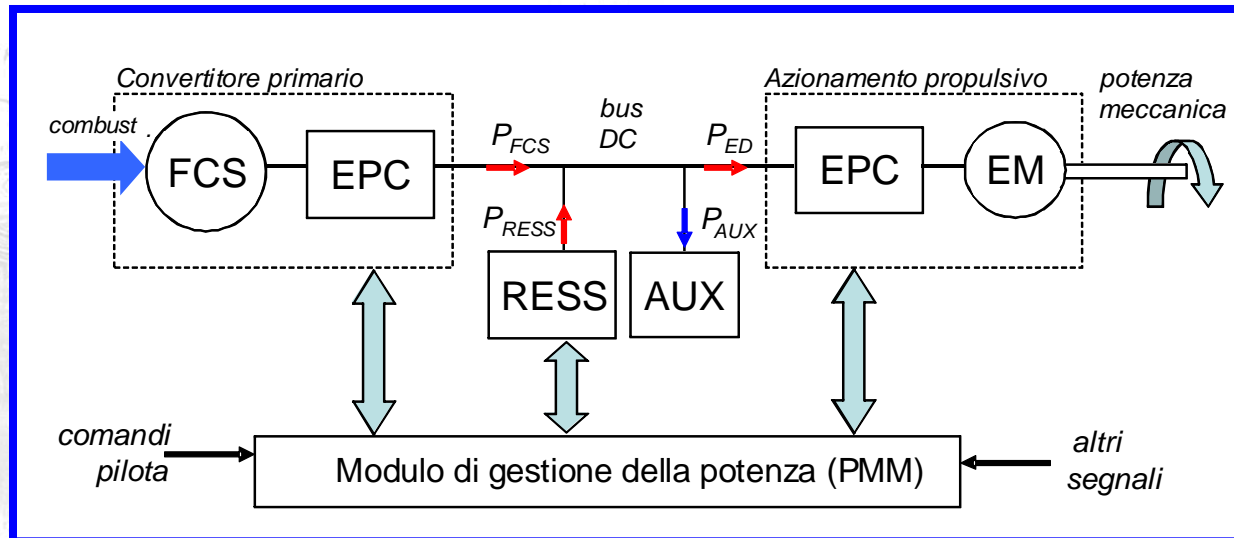
Perché accumulare energia nel veicolo?

- Nel veicolo ibrido la cella a combustibile (fuel-cell a idrogeno) produce energia elettrica a emissioni zero
 - Potenza prodotta pressoché costante nel tempo
 - Il veicolo richiede potenza variabile e genera potenza in frenata
 - La fuel-cell non converte all'indietro energia elettrica in idrogeno
- Accumulatore di energia
 - Serbatoio di potenza aggiuntiva (accelerazione, in salita)
 - Recupera energia durante la frenata del veicolo (freno elettrico)
 - Agisce da "tampone energetico"



Perché batterie a bordo del veicolo

- Architettura veicolo ibrido a fuel-cell
- Energy Storage System (blocco RESS)
- Batterie come elementi per energy storage
 - Possibilità di scarica e carica
 - Peso, costo, affidabilità, sicurezza



Quali batterie?

- Le batterie con chimica al **litio** (nate per notebook e telefoni cellulari) emergono come alternativa al piombo per accumulatori nei veicoli
- Batterie agli ioni di Litio (Li-ion), al Litio e Polimeri (LiPo), al Litio-Ferro-Fosfato (LiFePO₄)
- Vantaggi
 - Leggerezza, alta densità di energia (200 Wh/kg), altissime correnti di scarica
- Svantaggi
 - Costo, delicatezza (no sovraccarica, no sottoscarica, temperatura), possibilità incendio

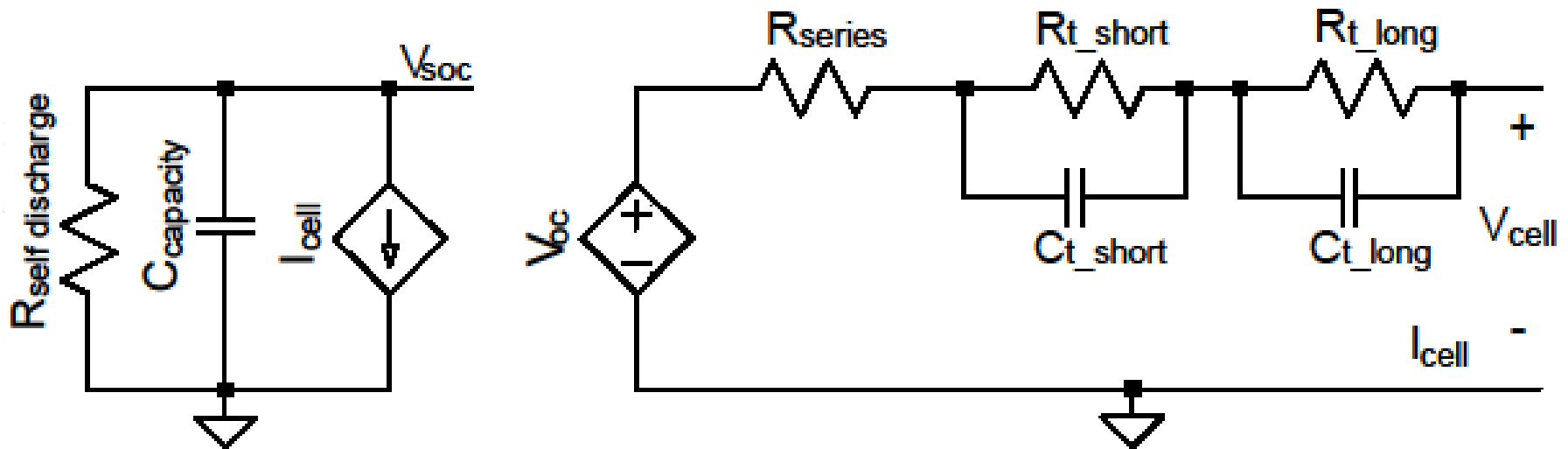
Controllo elettronico delle batterie

- Batterie al litio nei veicoli?
- Sì, se accompagnate da un sistema elettronico di controllo per:
 - Monitoraggio celle
 - Tensione
 - Temperatura
 - Gestione intelligente celle
 - Carica
 - Scarica
 - Bilanciamento
 - Sicurezza



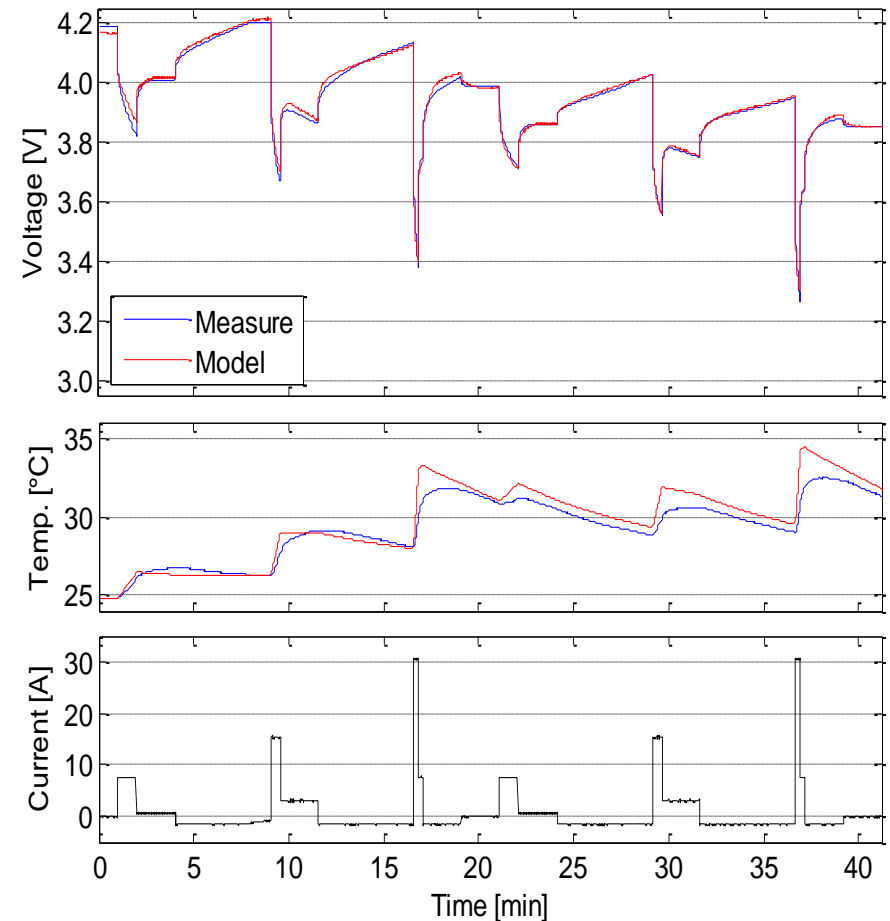
Modello della cella

- Modello elettrico comportamentale della cella
- Si considera l'effetto della temperatura
- Tiene conto dell'autoriscaldamento della cella



Corrispondenza modello-realtà fisica

- Confronto tra tensione nel:
 - Ciclo di lavoro simulato
 - Ciclo di lavoro misurato
- Confronto tra:
 - Temperatura simulata
 - Temperatura misurata
- Ottimo accordo
- Il modello predice accuratamente il comportamento reale

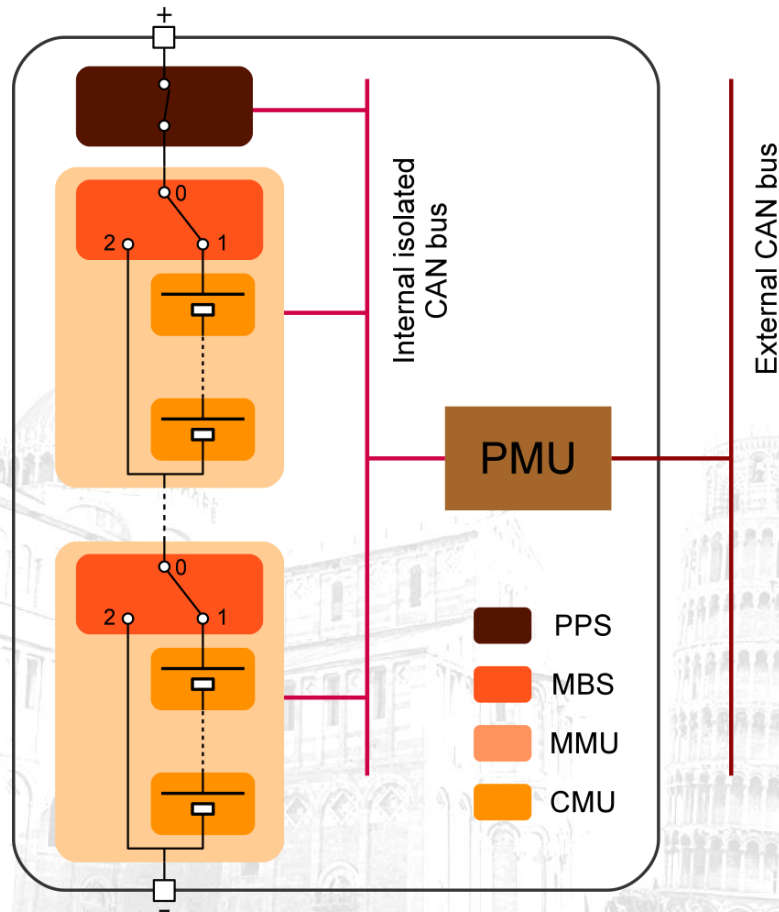




I-BM²S Intelligent Battery Monitoring and Management System

- Risultato innovativo della ricerca
- Sistema Elettronico con architettura **gerarchica** per il controllo di batterie costituite da celle elementari collegate in serie
 - Misura tensione e temperatura **di ogni cella**
 - Misura della corrente e tensione totale di batteria
 - Equalizzazione della carica delle celle (balancing)
 - Stima dello stato di carica (SoC – State of Charge)
 - Protezione della batteria
 - Comunicazione con Elettronica di bordo del veicolo

Architettura dell'I-BM²S



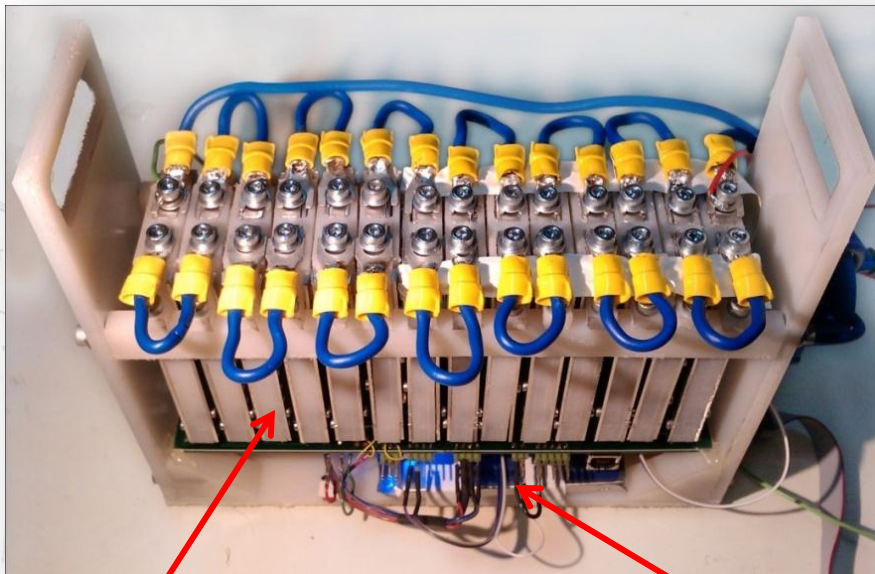
- CMU (Cell Monitoring Unit)
 - MMU (Module Management Unit)
 - PMU (Pack Management Unit)
 - MBS (Module Bypass Switch)
 - PPS (Pack Protection Switch)
-
- Flessibilità e scalabilità
 - Ridondanza del controllo
 - Riconfigurabilità della batteria tramite i deviatori MBS
 - Bilanciamento tra le celle attivo (senza spreco di energia)

Caratteristiche dell' I-BM²S

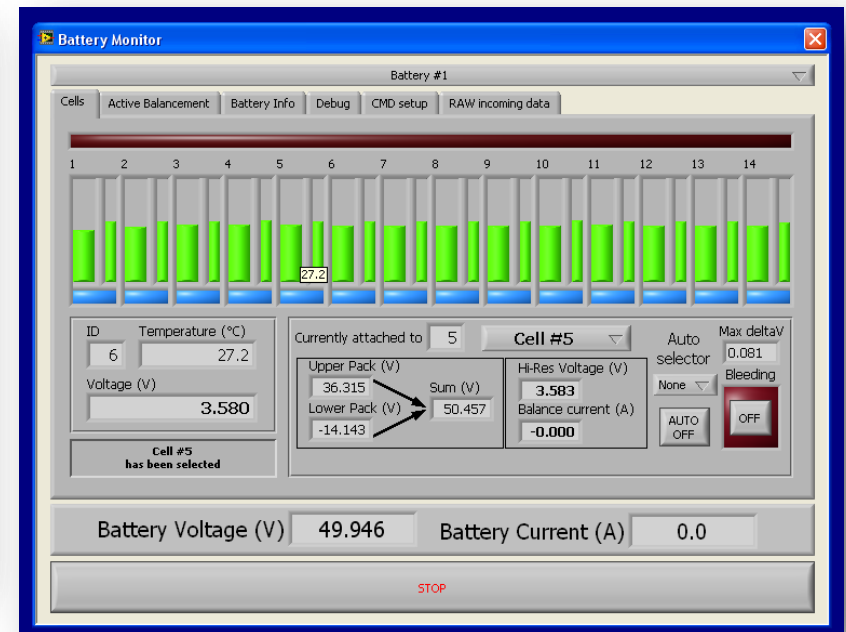
- Monitor tensione e temperatura su ogni cella
 - Basso costo (<1% del costo della cella)
 - Basso consumo (<1% dell'autoscarica della cella)
 - Memoria non volatile a bordo (memorizza ID, data di produzione, cicli effettuati, guasti o condizioni anomale)
- Controllo di modulo con monitor ad alta precisione
 - Replica della misura di tensione sulle celle a frequenza minore, risoluzione maggiore, ridondanza
- Equalizzazione delle celle
 - passiva (bleeding)
 - Attiva con rendimento > 90%
 - da modulo a cella
 - da cella a cella
- Connettività verso i livelli superiori con CANbus

Realizzazione prototipo in scala

- Prototipo dell'I-BM²S in scala (modulo di 14 celle)
 - Celle da 1.5 Ah rispetto a 40 Ah per il veicolo
 - Prodotto "in itinere" (Firenze luglio 2011)



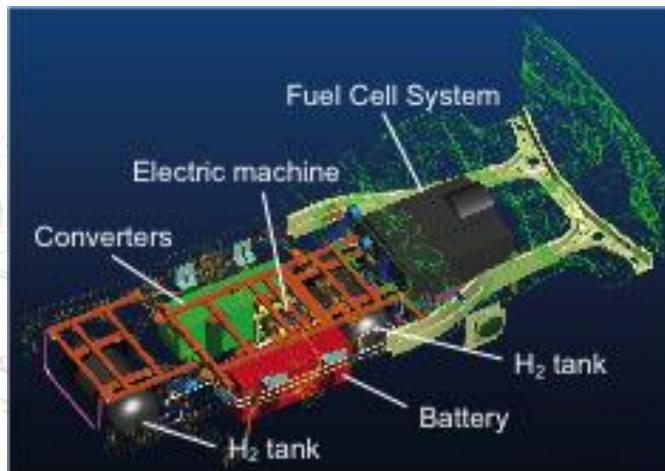
Singola cella

Elettronica
del modulo

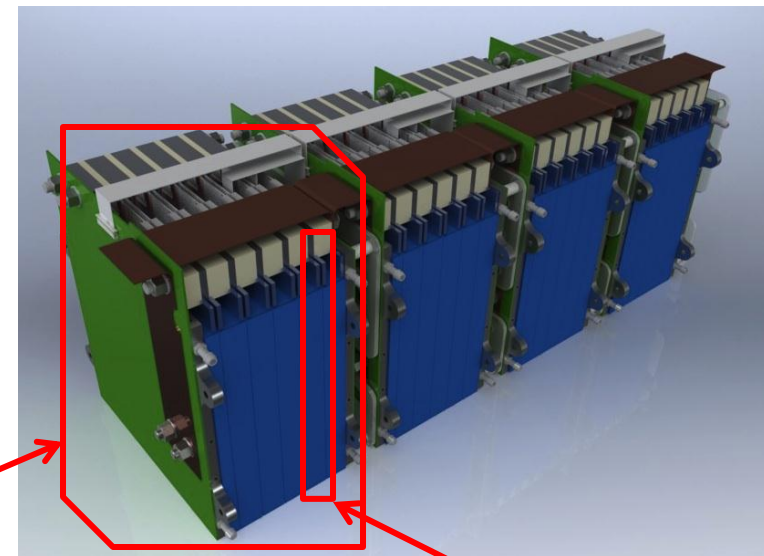
Software monitoraggio

Energy Storage System per il veicolo

- Costruzione della batteria con I-BM²S per il veicolo Piaggio Porter ibrido a fuel-cell a idrogeno
 - 44 celle, 163 Volt, 6,5 kWh, 35 kW di picco

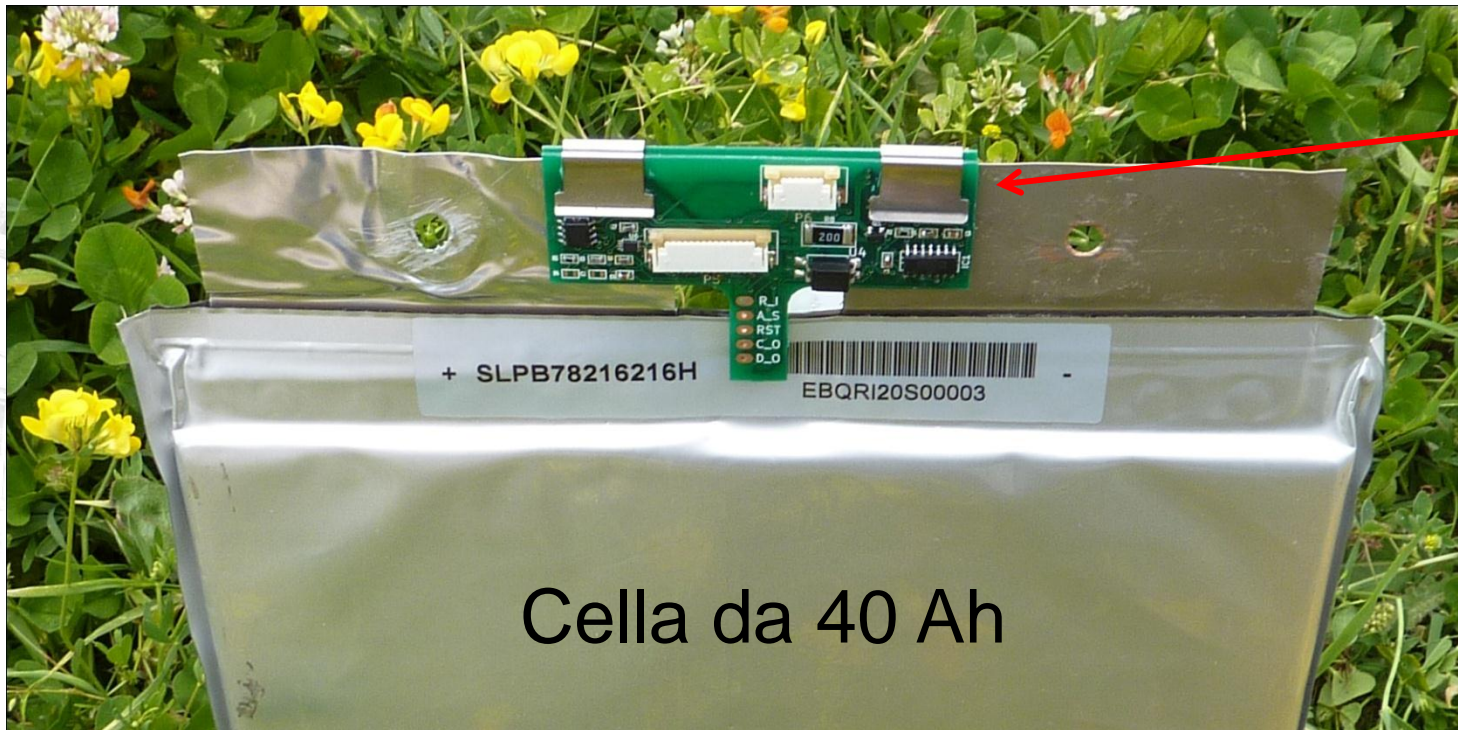


Batteria



Cella con elettronica di monitoraggio

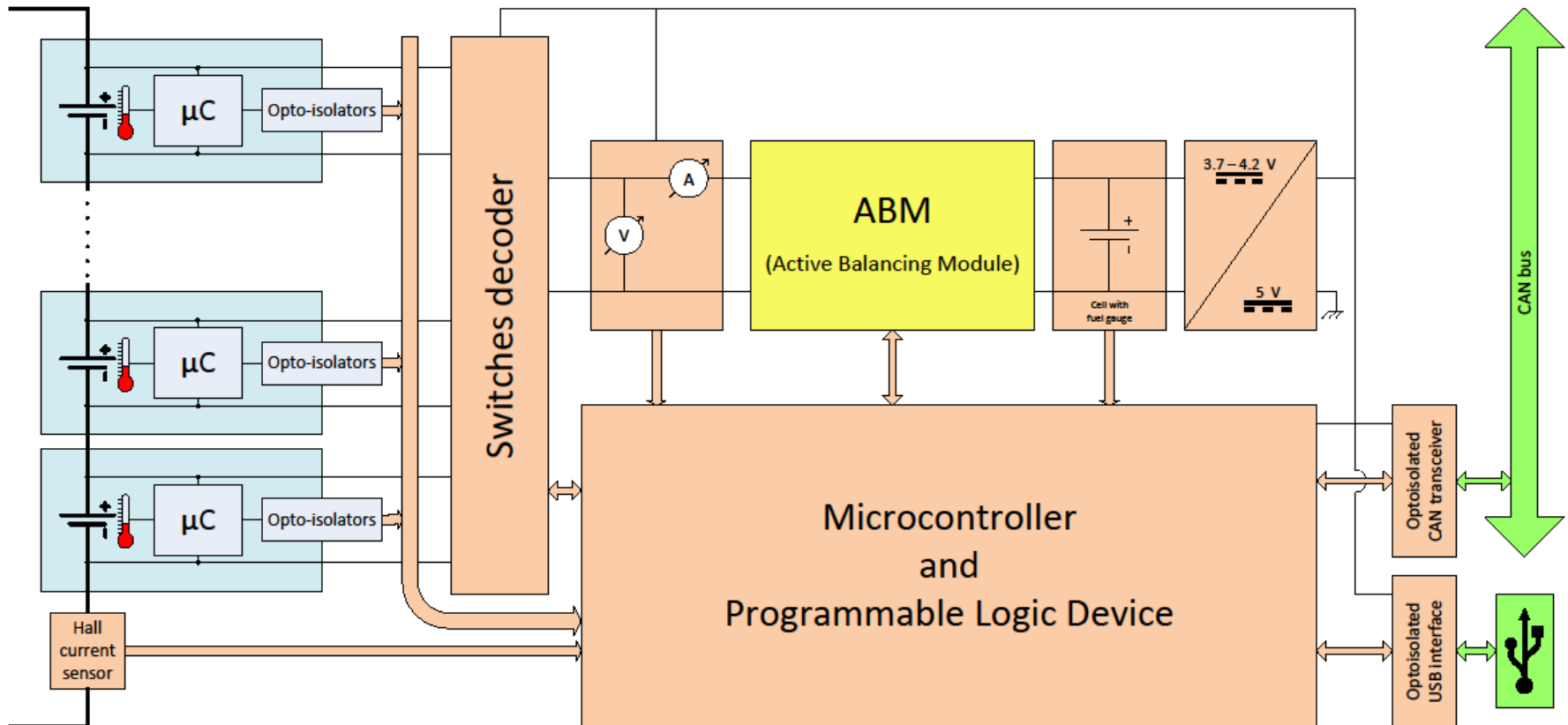
- Primo livello della gerarchia del I-BM²S
 - Misura della tensione e temperatura
 - Identificazione della cella
 - Storia della cella (lifetime, numero cicli carica, etc.)



Monitor
di cella

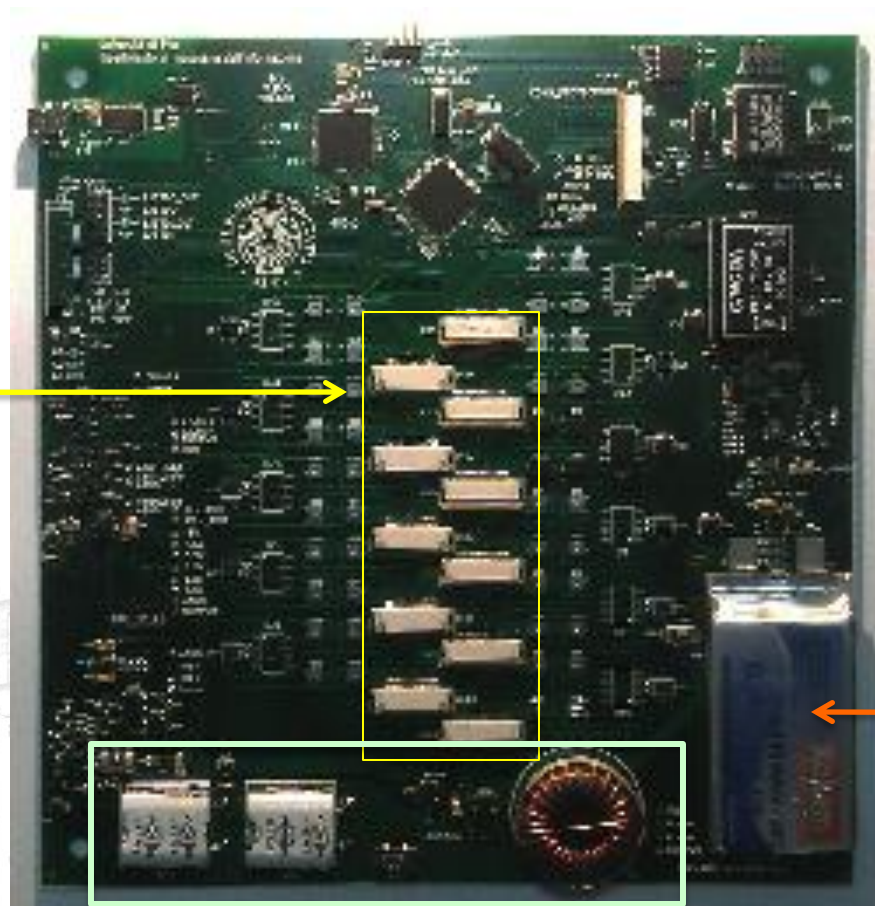
Cella da 40 Ah

Architettura controllo elettronico modulo



Scheda controllo elettronico modulo

Connettori
verso le celle
del modulo

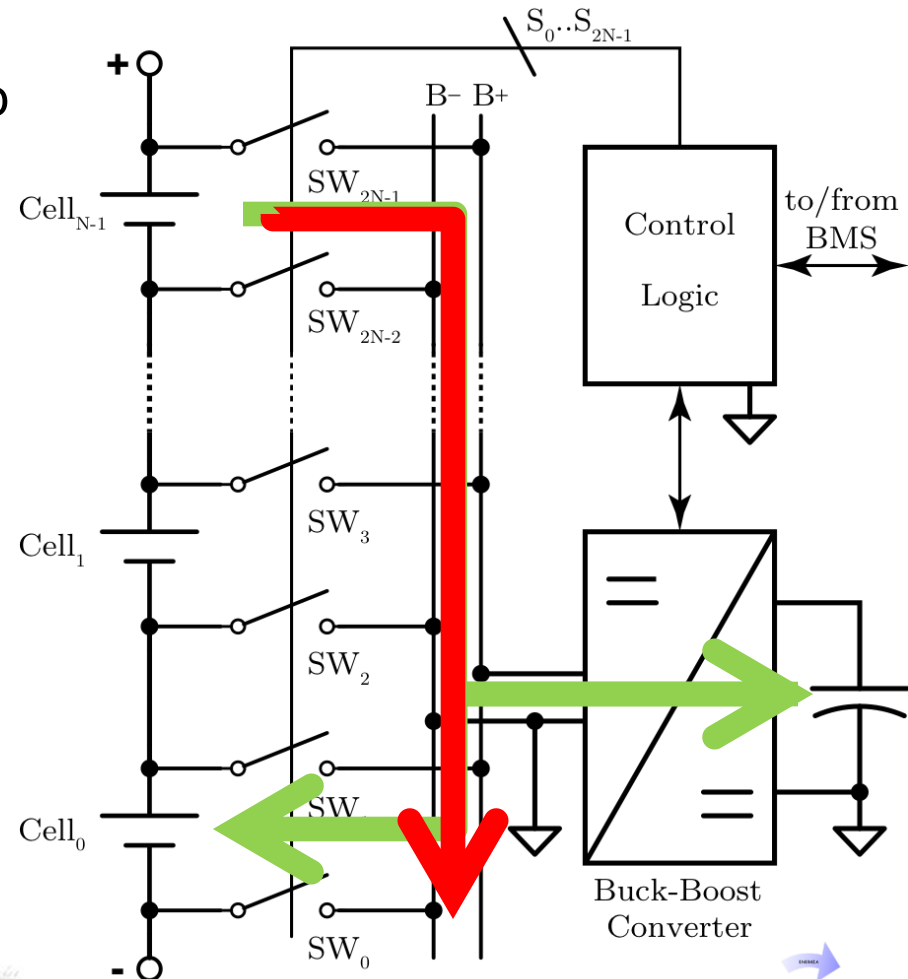


Cella ausiliaria
di alimentazione

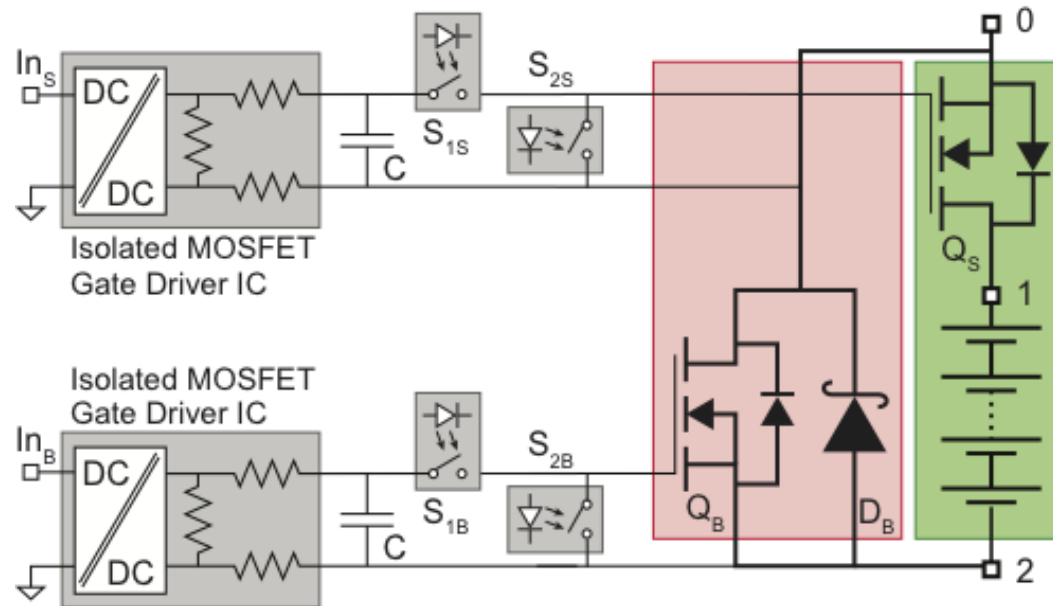
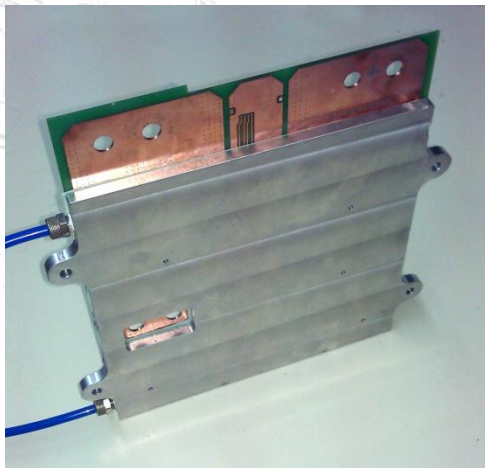
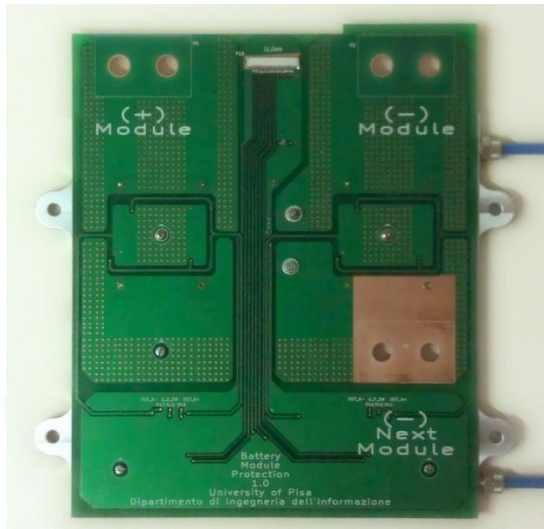
Equilibratore di carica delle celle basato su
Convertitore Buck-Boost e Super-Capacitori

Bilanciamento della carica delle celle

- La carica nelle celle della batteria si distribuisce in modo non uniforme
- La prestazione si riduce
- Le celle devono essere ribilanciate
- Bilanciamento passivo
 - Si butta via l'energia in eccesso
- Bilanciamento attivo
 - Si sposta la carica dalle celle più cariche a quelle meno cariche
- L'energia in eccesso da una cella viene "parcheggiata" su un super-capacitore da 5 F e poi riportata su un'altra cella
- Efficienza raggiunta del 90%



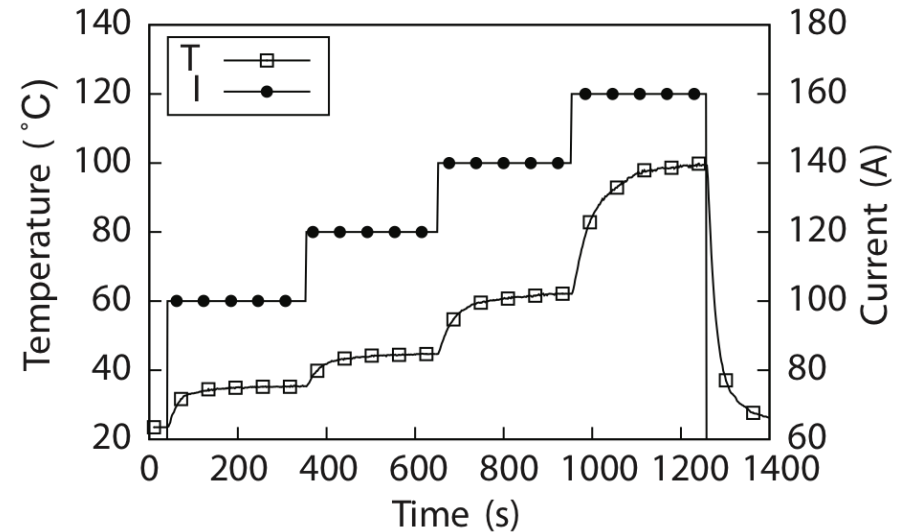
Interruttore di by-pass del modulo



- Esclude il modulo dalla batteria
- Tempi di intervento ridotti
- Raffreddamento a liquido

Caratterizzazione interruttore di by-pass

- L'interruttore deve deviare correnti anche fino a 160 A
- A 160 A di corrente
 - $\Delta T = 70^\circ \text{C}$
 - $P_D^{MBS} = 66 \text{W}$
- Rendimento ridotto di solo 1%
- p.es. $N = 11$
 $V_{\text{cell}} = 3.7 \text{V}$

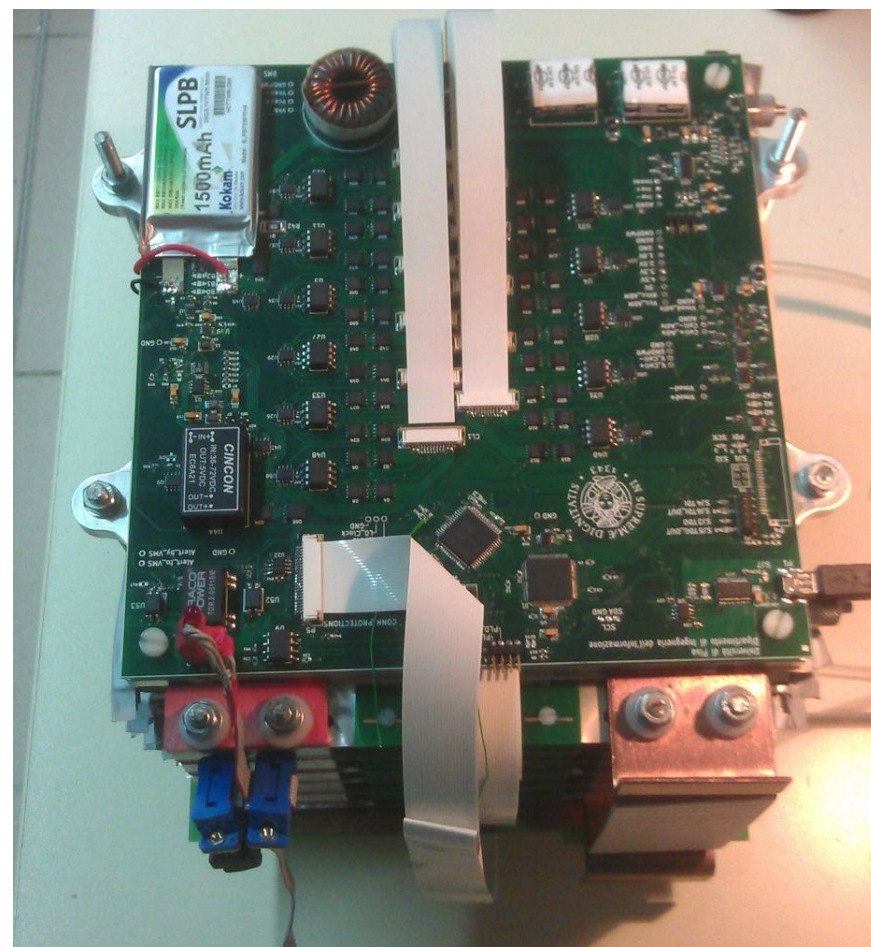


$$\Delta \eta = -\frac{P_D^{MBS}}{NV_{\text{cell}}I} = -\frac{r_{\text{on}}^{MBS} I^2}{NV_{\text{cell}}I} = -\frac{r_{\text{on}}^{MBS} I}{NV_{\text{cell}}} \approx -1\%$$

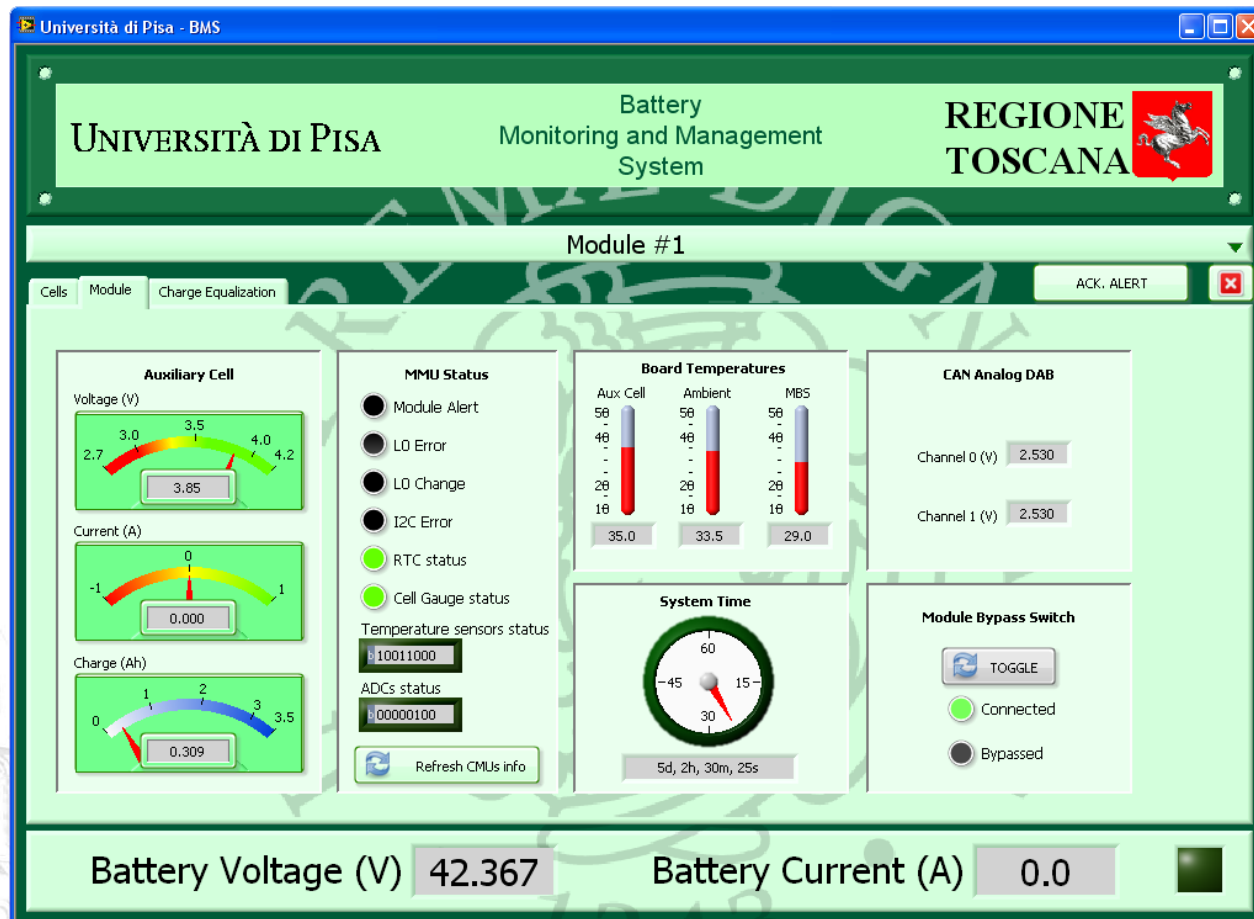
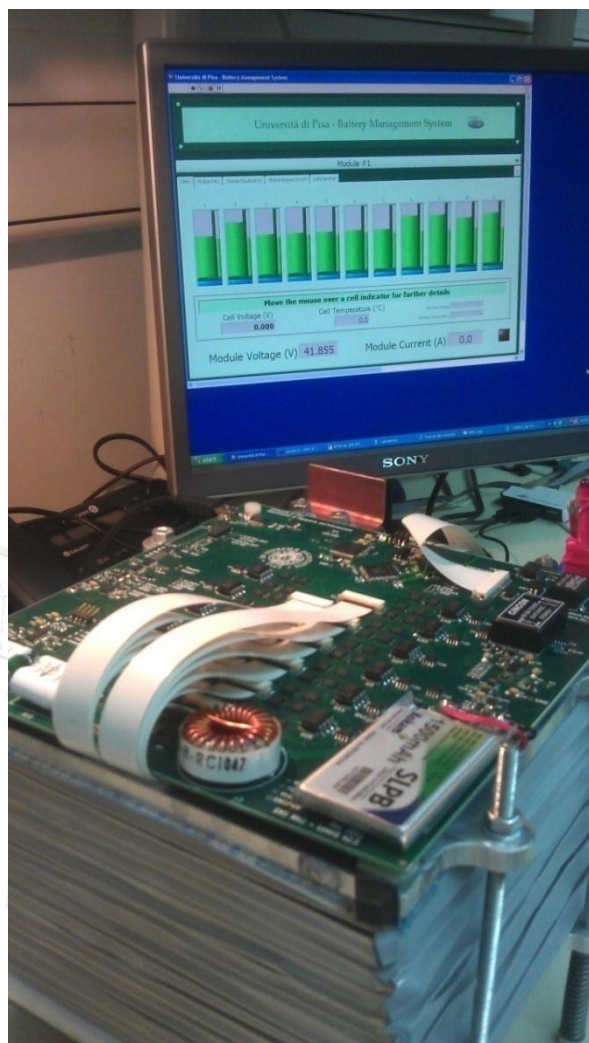
Al massimo carico!

Il modulo con il I-BM²S gerarchico

- Il Modulo
 - 11 celle LiPo da 40 Ah
 - Batteria da 4 moduli
 - 11 CMUs
 - 1 MMU
 - 1 MBS
- Sistema di controllo elettronico I-BM²S
 - Hardware
 - 14 microcontrollori
 - FPGA
 - Interruttori di potenza
 - Sensori di Hall
 - Sensori di temperatura
 - Software/firmware
 - 3 livelli gerarchici di applicazioni
 - Firmware dei microcontrollori di cella
 - Firmware dei microcontrollori di modulo
 - Applicazione software di controllo di alto livello (Labview in laboratorio)



Collaudo del I-BM²S gerarchico

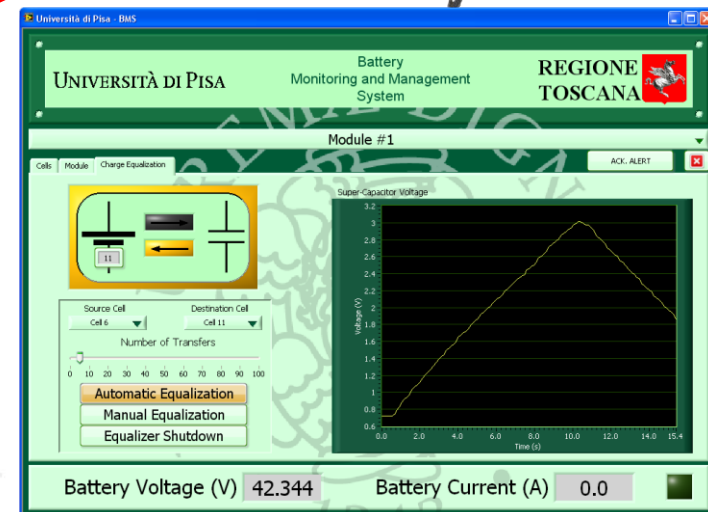
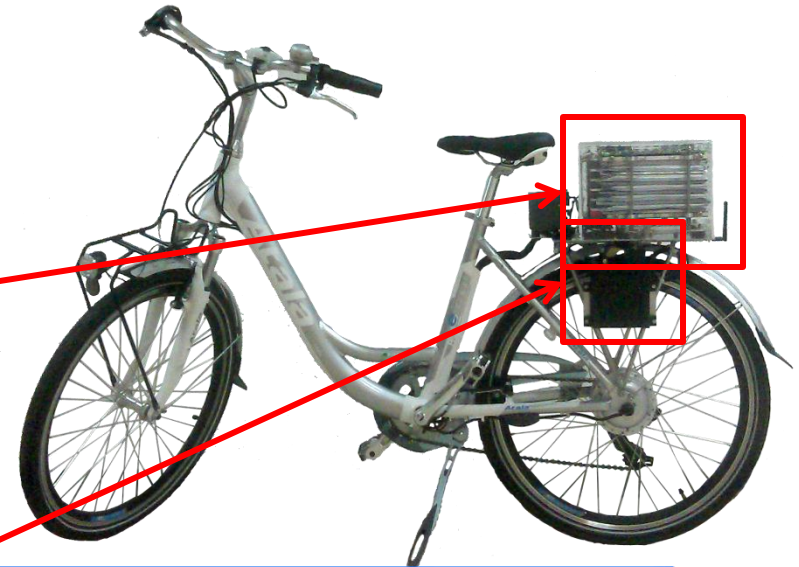


Dimostratore odierno

- Un modulo della batteria con I-BM²S installato su bicicletta a pedalata assistita
- Modulo di telemetria per monitoraggio wireless
- Controllo a distanza della batteria
 - Tensioni
 - Temperature
 - Correnti
- Un modulo dà alla bici energia sufficiente per correre la Milano Sanremo

Modulo

Telemetria



Conclusioni

- Realizzazione di sistema di accumulo energia per veicolo con fuel-cell all'idrogeno
- Sistema elettronico BMS innovativo a struttura gerarchica per monitoraggio e controllo di batterie di veicoli ibridi ed elettrici di qualunque tipo
- Realizzazione di prototipo di BMS in scala ridotta
- Realizzazione di modulo da 6kWh con BMS dimostrato su bicicletta elettrica
- Messa in atto di collaborazioni efficaci e multidisciplinari
- Preparazione del terreno per ingegnerizzazione e trasferimento tecnologico sul territorio
- Generazione di conoscenza e ricaduta tecnologica su ambiti affini alla Filiera Idrogeno (oltre gli obiettivi del progetto)
- Dimostrazione di come il finanziamento pubblico (Filiera Idrogeno) ben indirizzato, con passi di verifica attenti e puntuali porti a risultati di successo