



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia
e lo sviluppo economico sostenibile



Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

**Progettazione definitiva del BMS
per batterie di avviamento e trazione non automotive**

F. Baronti, G. Fantechi, R. Roncella, R. Saletti



UNIVERSITÀ DI PISA

Report RdS/2012/089

PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL BMS PER BATTERIE DI AVVIAMENTO E TRAZIONE NON AUTOMOTIVE

F. Baronti, G. Fantechi, R. Roncella, R. Saletti (Università di Pisa, Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione)

Settembre 2012

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Area: Razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia elettrica

Progetto: Studio per lo sviluppo di materiali innovativi per il risparmio di energia nel settore elettrico con particolare attenzione ai materiali per i mezzi di trasporto collettivi: nuovi materiali e componenti innovativi per i mezzi di trasporto

Responsabile del Progetto: Giuseppe Barbieri, ENEA

Indice

Sommario	4
Introduzione	5
Descrizione delle attività svolte e risultati	5
<i>Revisione del progetto elettrico.....</i>	<i>5</i>
<i>Misura della temperatura di cella</i>	<i>5</i>
<i>Maggior robustezza elettrica</i>	<i>6</i>
<i>Rinuncia al bilanciamento passivo</i>	<i>6</i>
<i>Alimentazione per il bus CAN</i>	<i>6</i>
<i>Controllo per la gestione termica</i>	<i>7</i>
<i>Punti aperti nella progettazione elettrica</i>	<i>8</i>
<i>Progettazione di un convertitore DC/DC isolato.....</i>	<i>8</i>
<i>Riprogettazione della matrice di commutazione.....</i>	<i>9</i>
<i>Misuratore di corrente con shunt resistivo.....</i>	<i>9</i>
<i>Incremento di robustezza e affidabilità.....</i>	<i>9</i>
<i>Progetto geometrico</i>	<i>9</i>
<i>Firmware di controllo</i>	<i>12</i>
Manuale di installazione della scheda	13
<i>Personalizzazione delle schede.....</i>	<i>13</i>
<i>Connessioni di modulo e procedura di montaggio</i>	<i>13</i>
Conclusioni	15
Riferimenti bibliografici	15
Abbreviazioni ed acronimi	15

Sommario

La presente relazione documenta le attività svolte nell'ambito della seconda parte dell'accordo di collaborazione ENEA-DII relative al perfezionamento, alla prima realizzazione come pre-serie, e al supporto all'integrazione meccanica del sistema elettronico di monitoraggio e gestione di un modulo composto da 4 celle al litio (LiFePO_4) di diversa taglia (30, 60 e 100 Ah), con diverse funzioni (avviamento o trazione), componibile a sua volta per la realizzazione di batterie fino a 4 moduli. In particolare, viene considerata l'attività di supporto alle aziende incaricate delle progettazione elettronica e meccanica, finalizzata alla realizzazione dei diversi moduli dimostratori.

Viene usato come punto di partenza il sistema di BMS con funzioni di bilanciamento attivo, sviluppato in forma prototipale nella prima parte della ricerca e verificato dalla successiva sperimentazione. Sono descritte le migliorie e le modifiche apportate ai vari livelli del progetto, hardware, firmware e software, in modo da soddisfare tutti i requisiti delle diverse applicazioni e inserire le funzionalità indicate dal coordinamento del progetto durante le prove di validazione.

Fa parte della presente relazione anche un sintetico manuale di installazione e uso dei moduli realizzati, utile alla corretta applicazione delle schede da parte dell'integratore di sistema che realizza i moduli e li intende usare nelle diverse applicazioni.

Introduzione

Le attività svolte nell'ambito della seconda parte dell'accordo di collaborazione ENEA-DII riguardano il perfezionamento del prototipo di un sistema elettronico di monitoraggio e gestione di un modulo composto da 4 celle al litio, progettato e collaudato nella prima parte della ricerca. L'obiettivo ultimo di questa seconda parte della ricerca consiste nella realizzazione di una prima pre-serie del sistema, che possa essere impiegato per costruire moduli composti da 4 celle con chimica agli ioni di litio (LiFePO_4) e capacità selezionabile tra 30, 60 e 100 Ah. I moduli così assemblati risultano componibili per realizzare batterie fino a 4 moduli, che possono essere usate in diverse applicazioni, tra le quali avviamento e trazione. Le tensioni maggiori possono essere ottenute replicando più moduli da 48V.

La Figura 1 mostra la fotografia della scheda prototipale, il cui progetto e le cui caratteristiche sono presentate in dettaglio nella relazione della prima parte del progetto [1], e che è stata usata come punto di partenza per lo sviluppo della scheda descritta nella presente relazione. In particolare, le modifiche apportate, principalmente alla progettazione geometrica, sono orientate a facilitare l'integrazione dell'elettronica con la parte meccanica, costituita dalle batterie e dal relativo contenitore, e a facilitare la costruzione e l'uso dei moduli stessi.

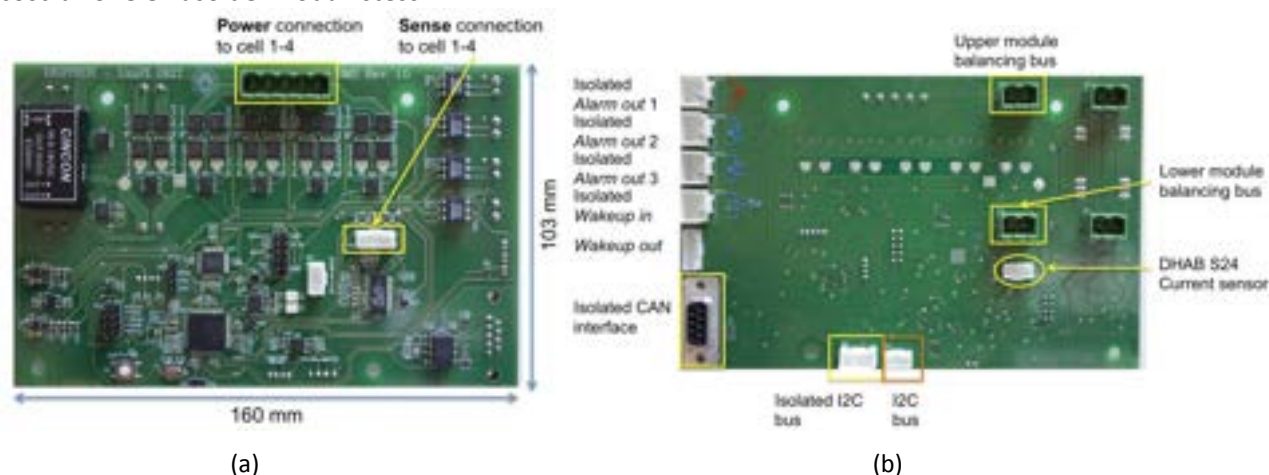


Figura 1 Fotografia della scheda elettronica prototipale del BMS realizzato nella prima parte del progetto [1], dove è evidenziata la posizione e funzione dei connettori sul lato top (a) e bottom (b) della scheda

Descrizione delle attività svolte e risultati

Revisione del progetto elettrico

La pre-serie adotta, praticamente senza modifiche di rilievo, lo schema elettrico messo a punto durante la verifica del prototipo. Le principali varianti adottate riguardano la scelta dei connettori di interfaccia e sono dettate dalle esigenze di integrazione della scheda all'interno del contenitore delle celle.

Oltre a queste modifiche, che saranno descritte dettagliatamente nel paragrafo sulla revisione del progetto geometrico, sono state ovviamente accolte nel progetto elettrico definitivo tutte le correzioni e modifiche apportate al prototipo nella fase di collaudo e caratterizzazione, e inoltre sono state apportate le migliorie elencate di seguito.

Misura della temperatura di cella

Si è aumentata la capacità di misura della temperatura, permettendo alla scheda il monitoraggio di 4 diversi punti di misura (uno per cella). Per ottenere questa possibilità senza alterare sostanzialmente l'architettura della scheda, si è deciso di multiplexare l'uso del convertitore analogico-digitale contenuto a bordo del chip

LTC6803-3 è usato nel prototipo per la misura della tensione della coppia di partitori contenente ciascuno una termoresistenza di tipo NTC. Tale scelta preserva le specifiche di accuratezza della misura al prezzo di minime modifiche allo schema; il microcontrollore decide con un suo pin di uscita, che pilota un *n*MOS dalla $r_{ds(on)}$ trascurabile rispetto alle resistenze in gioco, a quale coppia di partitori è collegato il convertitore.

Sicuramente la frequenza con cui è possibile campionare il valore di temperatura è comunque ancora ampiamente sufficiente a tenere sotto controllo le variazioni di questa grandezza, lentamente variabile nel tempo.

In Figura 2 è presentata questa modifica. Il microcontrollore agirà sui fili di selezione NTC_1-3 e NTC_2-4 per decidere quale coppia di sensori NTC acquisire mediante i due canali dedicati dell'LTC6803-3 (VTEMP1 e VTEMP2). In particolare, la configurazione NTC_1-3 alto e NTC_2-4 basso permette la lettura dei sensori NTC1 e NTC3 collegati rispettivamente tra i terminali 1-2 e 5-6 del connettore P7. La configurazione duale (NTC_1-3 basso e NTC_2-4 alto), instrada invece sui canali VTEMP1 e VTEMP2 i sensori NTC2 e NTC4 collegati rispettivamente tra i terminali 3-4 e 7-8 del connettore P7.

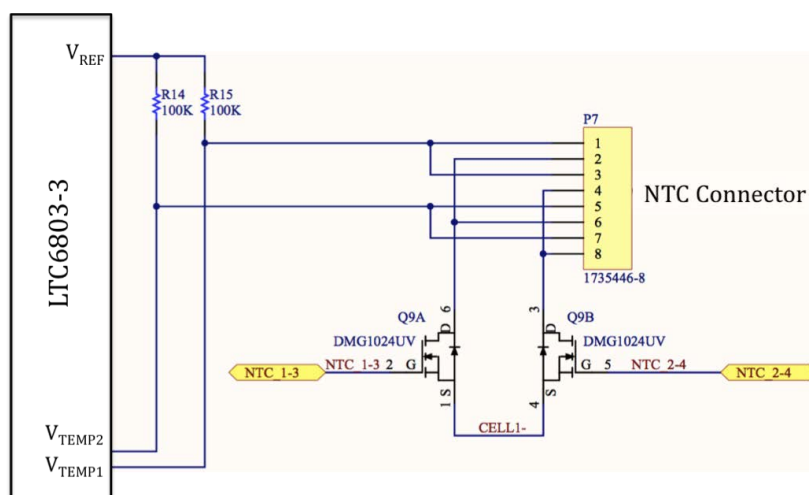


Figura 2 Modifica allo schema elettrico per il monitoraggio di tutte le 4 celle di un modulo

Maggior robustezza elettrica

Per ridurre il rischio di guasti distruttivi, è stato introdotto un fusibile ripristinabile sulla sezione di alimentazione della parte di controllo. La possibilità di contenere gli effetti di situazioni di assorbimento anomalo di corrente, facilita le operazioni di debug e di riprogrammazione della scheda in genere, sia per quanto riguarda il microcontrollore, sia per il dispositivo PLD. L'uso di questo e altri accorgimenti simili, che aumentano il costo attuale della scheda, potrà essere riconsiderato una volta che il progetto avrà raggiunto la sua piena maturità.

Rinuncia al bilanciamento passivo

Il buon funzionamento della strategia di bilanciamento attivo ha portato all'eliminazione dei resistori di potenza inizialmente previsti per l'esecuzione di un bilanciamento passivo parallelo. La presenza di questi resistori comporta comunque problemi di affidabilità e di necessità di dissipazione di potenza, oltre al rischio derivante dalla possibilità di protrarne la connessione oltre i limiti di sicurezza in seguito al malfunzionamento del firmware.

Alimentazione per il bus CAN

È stata aggiunta la possibilità per la scheda di alimentare il bus CAN anche dal lato del bus esterno. Tale possibilità, da usare esclusivamente per la scheda master in una configurazione autonoma multi-modulo,

permette di evitare l'uso di un alimentatore esterno. È da tenere presente che il montaggio degli elementi circuitali che alimentano il driver CAN dal lato esterno si rende necessario soltanto nel caso in cui tale protocollo di comunicazione venga usato, come in realtà avviene in queste prime realizzazioni, per lo scambio di informazione tra la scheda master e le diverse schede slave.

La scheda prevede altre possibilità di dialogo tra master-slave: quando saranno implementate in firmware, non sarà più necessario dotare il bus CAN delle linee di alimentazione. Inoltre, nel caso in cui sia presente dalla parte esterna del CAN un livello di intelligenza superiore, conviene affidare a questo l'alimentazione del bus, in modo da permettere l'implementazione di strategie di riduzione dell'assorbimento di corrente.

La figura 3 riporta la sezione lato connettore dell'interfaccia di comunicazione CAN. Si può notare la presenza dei fusibili F2 e F3 che veicolano l'alimentazione 5V-CAN generata internamente alla scheda sul connettore CAN. I due fusibili saranno presenti solo sulla scheda di un modulo Master. Se durante l'installazione della batteria fossero erroneamente connessi due moduli di tipo Master, i fusibili hanno la funzione di proteggere la scheda dall'elevato passaggio di corrente causato dal formarsi di percorsi a bassa resistenza che connettono tra loro i terminali delle celle di due moduli di tipo Master connessi in serie.

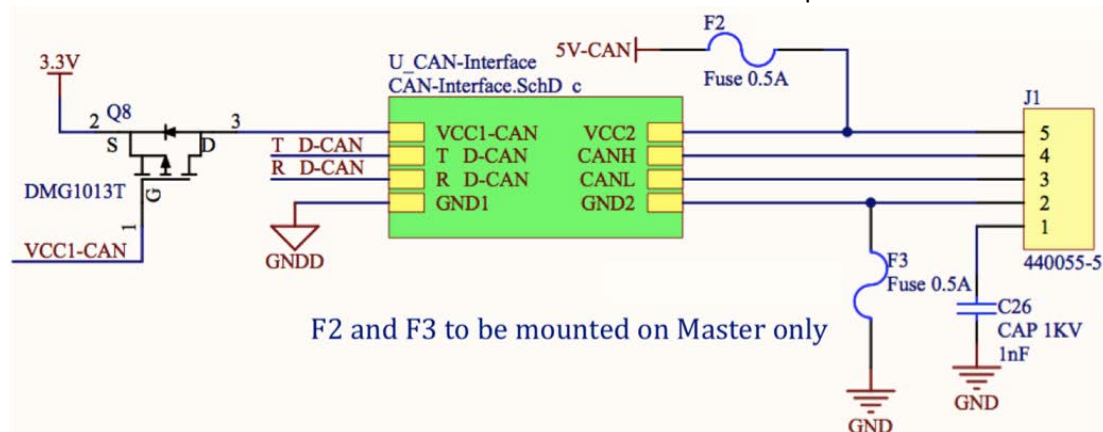


Figura 3 Modifica per permettere l'alimentazione dei transceiver CAN dal lato del bus

Controllo per la gestione termica

Visto che la versione definitiva deve essere alloggiata in un case insieme alle batterie, dotato di circolazione d'aria forzata (fino a 3 ventoline con caratteristiche riassunte in Tabella I), è stata aggiunta la possibilità per il BMS di pilotare carichi esterni alimentati dal modulo stesso sotto il controllo del microcontrollore e in ultima analisi con comandi giunti alla scheda via CAN.

Tabella I Caratteristiche delle ventole usate per la circolazione d'aria nel modulo [2]

Dimensioni	Quadrato - 50mm L x 50mm H x 20mm W
Tensione, nominale	12 V c.c.
Potenza (W)	1,92 W
RPM	7000 giri/min
Rumore	40.5 dB(A)
Pressione statica	0.303 in H ₂ O (75.5 Pa)
Flusso d'aria	20.3 CFM (0,575m ³ /min)
Terminazione	2 conduttori
Tipo di cuscinetto	Sfera
Peso	0.084 libbre (38.1 g)
Corrente nominale	0.160A
Intervallo di tensione	7 – 13.8 V c.c.

Per questo scopo i contatti TP1 e TP2, inizialmente previsti sulla scheda per sole finalità diagnostiche, sono stati dotati di connettore e ne è stato implementato l'uso come pin di uso generale. In particolare, questi due pin saranno collegati a una piccola scheda ausiliaria che contiene i driver adeguati al pilotaggio delle ventole le cui caratteristiche sono riportate nella Tabella I. La figura 4 mostra il layout della scheda ausiliaria, dove è possibile notare i 3 connettori disponibili per ciascuna delle due uscite della scheda (OUT1 e OUT2). Lo stato di quest'ultime è controllato rispettivamente dai segnali IN1 e IN2 (connettore P1), che saranno connessi ai pin TP1 e TP2 della scheda del modulo. Alla scheda ausiliaria devono essere connessi anche i terminali del modulo sul connettore P2.

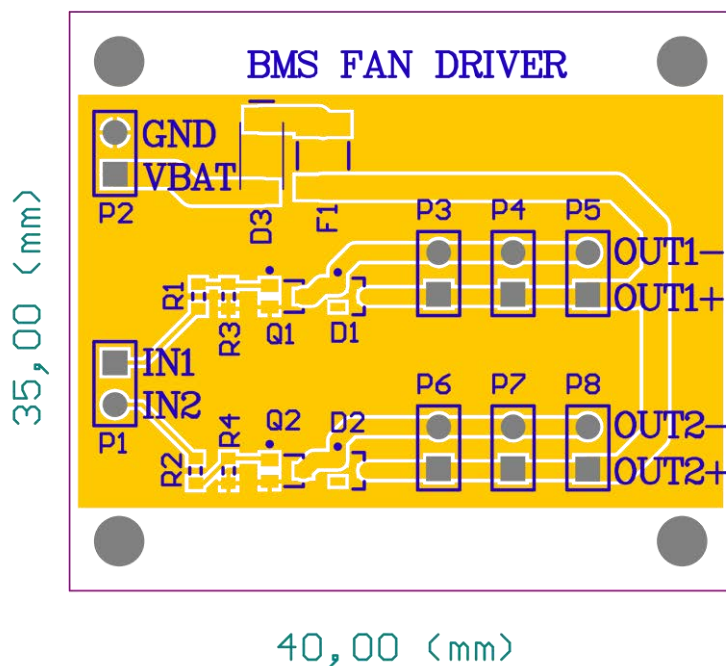


Figura 4 Layout della scheda ausiliaria per il pilotaggio delle ventole

Punti aperti nella progettazione elettrica

La progettazione elettrica del BMS può essere considerata a un buon livello di maturità. Si ritiene importante evidenziare alcuni aspetti che potranno essere approfonditi nel caso in cui dalla pre-serie si intenda passare a una prima piccola serie di moduli per le varie applicazioni.

Progettazione di un convertitore DC/DC isolato

Uno dei punti che potrà permettere un abbattimento dei costi insieme al miglioramento delle prestazioni sarà costituita dalla progettazione di un caricatore di cella isolato ad hoc. L'uso di un DC/DC commerciale, se da un lato ha permesso di giungere in tempi brevi a una soluzione funzionante, dall'altro si configura come scelta non ottimale, in quanto il convertitore di tensione viene usato in una regione di funzionamento sicuramente diversa dal suo proprio target di progetto.

Il funzionamento del DC/DC in protezione sfrutta infatti le limitazioni previste (per sovra-corrente e sovra-temperatura) nel circuito Cincon EC6A01 per contenere gli effetti di un occasionale cortocircuito. Se anche tali protezioni vengono date per permanenti, sicuramente l'affidabilità del sottosistema, usato esclusivamente in questa modalità di funzionamento, viene a essere ridotta.

Non sembra riservare particolari difficoltà il progetto di un DC/DC isolato con uscita in corrente, appositamente progettato come charger per celle al litio. In questo caso, inoltre, potrebbe essere aggiunta una ulteriore protezione per la sicurezza complessiva del sistema, impedendo che la singola cella possa essere caricata a una tensione troppo elevata, a differenza di quello che accade ora, dove il DC/DC usato

presenta una tensione di uscita nominale di 5 V, sufficienti in assenza dell'intervento del firmware, alla distruzione di una cella al litio.

Riprogettazione della matrice di commutazione

Il costo principale del BMS proposto è legato all'uso di interruttori bidirezionali di potenza realizzati con tecnologia MOS e dei relativi driver isolati per connetterli alla logica di controllo. Tale matrice costituisce il cuore del sistema di bilanciamento attivo e offre una grande libertà di gestione delle celle, permettendo al sistema di connettersi individualmente alla cella prescelta.

Un abbattimento del costo della matrice si potrà avere come conseguenza dell'evoluzione della componentistica di potenza dedicata alla gestione delle batterie: è ragionevole prevedere in un prossimo futuro la disponibilità a costi contenuti di relè a stato solido per alte correnti, con isolamento tra circuito di controllo e di potenza dell'ordine del centinaio di volt, che incorporino in un unico dispositivo la funzionalità ottenuta attualmente con l'uso di due n MOS di potenza e di un particolare driver isolato.

Misuratore di corrente con shunt resistivo

Attualmente la misura della corrente di batteria è eseguita con un misuratore a effetto Hall a doppio range. Tale soluzione ha indubbiamente diversi punti di vantaggio: è naturalmente isolata dalle connessioni di potenza e ha una accuratezza adeguata all'applicazione, anche se non completamente sufficiente all'uso di tecniche di misura integrata (coulomb counting) per la stima dello stato di carica, in presenza di piccoli assorbimenti di corrente protratti per lungo tempo.

Per contro il costo del sensore non è affatto trascurabile e la lettura del valore richiede comunque l'uso di un convertitore A/D.

Visto che nelle applicazioni di maggior responsabilità è presente anche un contattore e si ha la possibilità di intervenire sulla connessione di potenza, si può pensare di realizzare un misuratore di tipo shunt di maggior accuratezza e costo contenuto. Per tale soluzione possono essere utilizzate in modo molto economico le stesse piste di circuito stampato, prevedendo una autonoma capacità di riduzione dell'offset, di calibrazione e compensazione della temperatura, indispensabile in questo caso a causa del valore elevato del coefficiente di temperatura del rame.

Incremento di robustezza e affidabilità

Il progetto elettrico attuale, pur realizzato seguendo buone prassi di progettazione e criteri di robustezza e affidabilità, necessita di una estensiva fase di collaudi e di lunghi test in diverse condizioni d'uso per essere completamente caratterizzato dal punto di vista affidabilistico. In particolare dovranno essere valutate con numerose prove le diverse configurazioni parziali in cui la scheda può trovarsi durante il montaggio del modulo o in seguito a un guasto meccanico di questo.

Progetto geometrico

La versione definitiva del BMS è stata realizzata su indicazioni specifiche del coordinamento del progetto in modo da soddisfare le necessità del montaggio meccanico. In particolare, si è deciso di collocare la scheda all'interno del contenitore del modulo in posizione verticale, centrale rispetto alle 4 celle, bloccata su apposite guide con viti e dadi.

Il progetto geometrico è stato inoltre rivisto in modo da contenere gli ingombri in 15 mm dal lato dei componenti e in 5 mm da quello opposto.

Per quanto riguarda gli aspetti termici, la scheda si viene a trovare naturalmente nel flusso d'aria dall'alto verso il basso prodotto dalle ventole collocate nel coperchio e questo aiuta a garantire una corretta temperatura di funzionamento all'unico elemento in cui è prevista una dissipazione di potenza significativa:

il DC/DC, che nelle condizioni normali di funzionamento dissipa una potenza massima di 3.3 W e può raggiungere una temperatura di circa 70°C.

Nella versione definitiva, tutti i connettori della scheda che portano connessioni tra modulo ed esterno (bus di bilanciamento, interfacce CAN e I²C, contatti di allarme o per il controllo di altri moduli esterni) sono stati portati sul bordo superiore della scheda, mentre le connessioni verso le celle (tensioni, temperature, sonda di corrente) sono posizionate nella parte interna della scheda, in modo che non sia eccessivamente disagiata l'inserimento e il disinserimento dei connettori quando la scheda sia già posizionata nella sua guida, prima del bloccaggio.

Nella Figura 5 viene mostrato lo sketch della scheda, in cui sono evidenti la posizione e la funzione dei diversi connettori, dichiarata dalle scritte in serigrafia. È possibile osservare che, rispetto alla versione prototipale, i connettori sono tutti alloggiati sul lato top della scheda e posizionati in modo tale da facilitare la connessione della scheda con le 4 celle del modulo e con il connettore esterno del modulo stesso. Nella Tabella II vengono invece riportati i segnali connessi ai pin dei connettori utilizzati per il cablaggio della scheda inter e intra modulo, facendo riferimento alla numerazione dei pin dei connettori data dal relativo produttore.

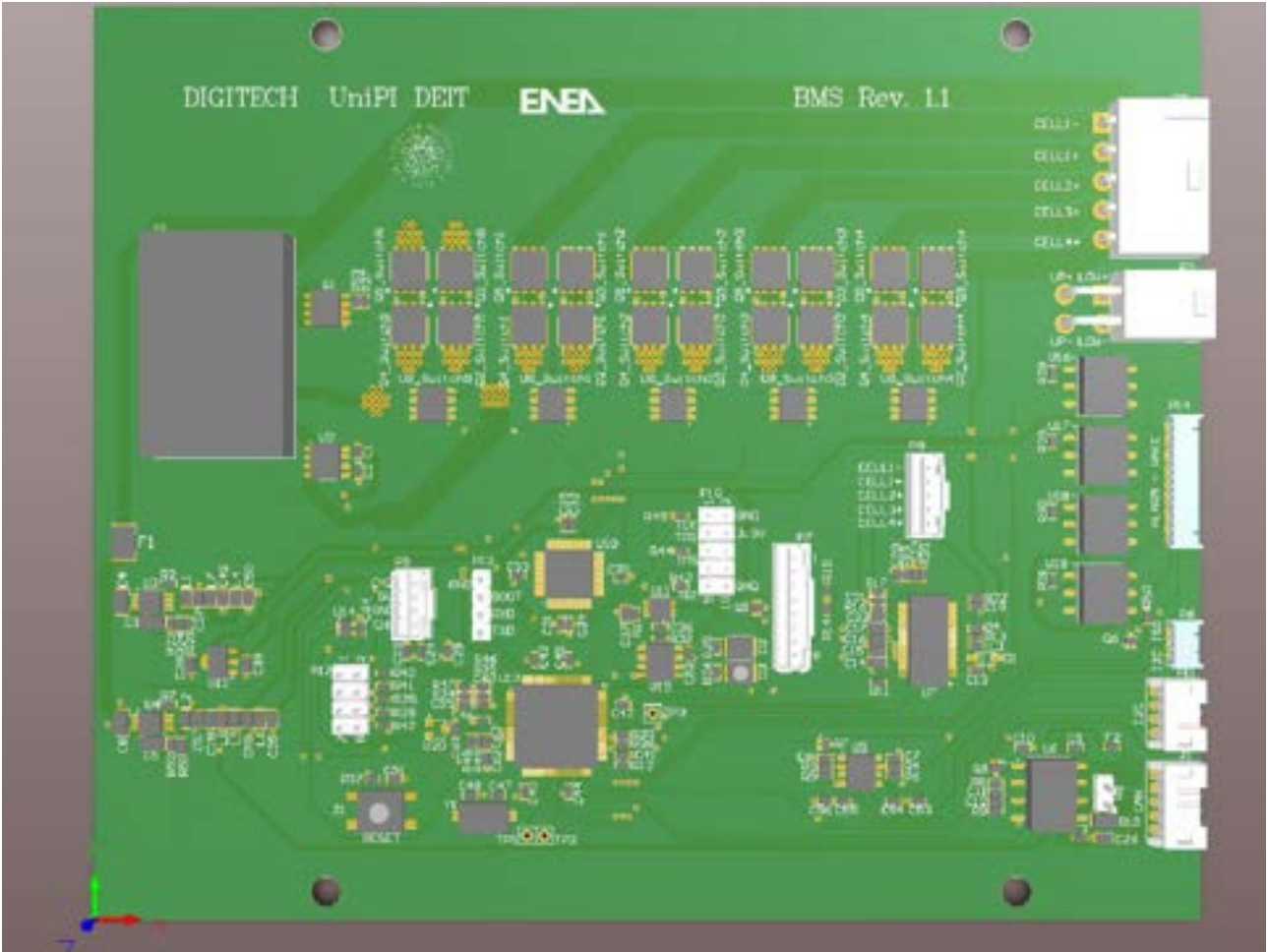


Figura 5 Sketch della scheda in cui è evidenziata la posizione dei vari connettori

Tabella II Significato dei pin dei diversi connettori presenti sulla scheda

Connettore P8 : connessione di monitoraggio alle 4 celle del modulo		
Connettore P5 : connessione di bilanciamento alle 4 celle del modulo		
Numero pin	Nome pin	Descrizione
1	CELL1 -	Terminale negativo della cella 1 del modulo, corrispondente al

		terminale negativo della serie delle 4 celle del modulo
2	CELL 2 -	Terminale negativo della cella 2 a comune con quello positivo della cella 1
3	CELL 3 -	Terminale negativo della cella 3 a comune con quello positivo della cella 2
4	CELL 4 -	Terminale negativo della cella 4 a comune con quello positivo della cella 3
5	CELL 4 +	Terminale positivo della cella 4 del modulo, corrispondente al terminale positivo della serie delle 4 celle del modulo

Connettore P7 : connessione ai 4 sensori di temperatura di tipo NTC		
Numero pin	Nome pin	Descrizione
1	NTC1_1	Terminale 1 del sensore NTC1
2	NTC1_2	Terminale 2 del sensore NTC1
3	NTC2_1	Terminale 1 del sensore NTC2
4	NTC2_2	Terminale 2 del sensore NTC2
5	NTC3_1	Terminale 1 del sensore NTC3
6	NTC3_2	Terminale 2 del sensore NTC3
7	NTC4_1	Terminale 1 del sensore NTC4
8	NTC4_2	Terminale 2 del sensore NTC4

Connettore TP1-TP2 : connessione alle ventole		
Numero pin	Nome pin	Descrizione
1	TP1	Terminale per la connessione all'ingresso IN1 della scheda ausiliaria
2	TP2	Terminale per la connessione all'ingresso IN2 della scheda ausiliaria

Connettore P14 : connessione ai segnali di ALARM		
Numero pin	Nome pin	Descrizione
1	GND	Terminale di ground della scheda coincidente con il terminale negativo della serie delle 4 celle del modulo
2	WAKE_OUT	Alimentazione 3.3 V abilitabile o meno dal microcontrollore
3	GND	Terminale di ground della scheda coincidente con il terminale negativo della serie delle 4 celle del modulo
4	WAKE_OUT	Alimentazione 3.3 V abilitabile o meno dal microcontrollore
5	GND	Terminale di ground della scheda coincidente con il terminale negativo della serie delle 4 celle del modulo
6	WAKE_OUT	Alimentazione 3.3 V abilitabile o meno dal microcontrollore
7	WAKE_IN -	Terminale (lato catodo) ingresso fotoaccoppiato
8	WAKE_IN +	Terminale (lato anodo) ingresso fotoaccoppiato
9	ALARM3 -	Terminale negativo del contatto normalmente aperto (ALARM3)
10	ALARM3 +	Terminale positivo del contatto normalmente aperto (ALARM3)
11	ALARM2 -	Terminale negativo del contatto normalmente aperto (ALARM2)
12	ALARM2 +	Terminale positivo del contatto normalmente aperto (ALARM2)
13	ALARM1 -	Terminale negativo del contatto normalmente chiuso (ALARM1)
14	ALARM1 +	Terminale positivo del contatto normalmente chiuso (ALARM1)

Connettore P9 : connessione al sensore di corrente DHAB		
Numero pin	Nome pin	Descrizione
1	A	Terminale di uscita canale 2
2	B	Terminale di alimentazione 5 V

3	C	Terminale di Ground
4	D	Terminale di uscita canale 1

Connettore J1 : connessione al bus CAN		
Numero pin	Nome pin	Descrizione
1	SHIELD	Terminale per l'eventuale schermatura del cavo CAN
2	ISO_GND	Terminale per la connessione di ground del transceiver isolato. Nella scheda Master coincide con il ground di scheda
3	CANL	Terminale per la linea CAN positiva (CANL)
4	CANH	Terminale per la linea CAN negativa (CANH)
5	ISO_5V	Terminale per l'alimentazione 5 V del transceiver isolato

Connettore P3 : connessione bilanciamento attivo intra-modulo		
Numero pin	Nome pin	Descrizione
1	BAL_UP +	Terminale positivo del bus di bilanciamento per la connessione al modulo successivo
2	BAL_UP -	Terminale negativo del bus di bilanciamento per la connessione al modulo successivo
3	BAL_DOWN +	Terminale positivo del bus di bilanciamento per la connessione al modulo precedente
4	BAL_DOWN -	Terminale negativo del bus di bilanciamento per la connessione al modulo precedente

Connettore P6 : connessione al bus I2C isolato		
Numero pin	Nome pin	Descrizione
1	ISO_SCL	Terminale per la linea clock SCL isolata
2	ISO_GND	Terminale per la connessione di ground del transceiver isolato
3	ISO_SDA	Terminale per la linea dati SDA isolata
4	ISO_3.3V	Terminale per l'alimentazione 3.3 V del transceiver isolato

Connettore P11 : connessione bus I2C non isolata		
Numero pin	Nome pin	Descrizione
1	SCL	Terminale per la linea clock SCL
2	GND	Terminale di ground non isolato
3	SDA	Terminale per la linea dati SDA
4	3.3V	Terminale di alimentazione 3.3 V non isolata

Firmware di controllo

Il firmware presente nella versione definitiva è analogo a quello del prototipo.

La gestione della temperatura è infatti già stata implementata nel prototipo, dove l'intervento sul pin del microcontrollore necessario a selezionare la coppia di celle misurata non ha alcun effetto, non essendo presente il transistor di selezione.

Sempre relativamente alla gestione termica, è stata aggiunta rispetto alla versione del firmware iniziale, la possibilità di gestire con comandi CAN i pin TP1 e TP2 presenti sulla scheda, in modo da poter accendere le ventole che garantiscono la circolazione forzata di aria all'interno del contenitore delle batterie nel caso in cui venga raggiunta una particolare temperatura, impostabile nel file di configurazione, nelle celle o in uno dei punti monitorati delle schede (sul chip di misura o sulla scheda).

Le altre modifiche dell'hardware, non essendo intervenute su nessuna delle funzionalità e delle interconnessioni gestite dal microcontrollore, non richiedono particolari aggiustamenti nel firmware, che potrà continuare a essere sviluppato e collaudato sul prototipo prima di trovare sistemazione nelle schede definitive.

Le funzionalità previste come sviluppi futuri, descritte più avanti nella relazione, saranno quindi introdotte nei BMS di modulo, dopo l'implementazione e il collaudo, con una procedura di riprogrammazione relativamente semplice, eseguibile come intervento di manutenzione, con lo smontaggio parziale del modulo. Da valutare, nell'evoluzione del progetto, l'opportunità di introdurre nel firmware una sezione di boot loader, per permettere l'aggiornamento del firmware sul campo, direttamente da parte dell'utente o dell'assistenza di primo livello.

Manuale di installazione della scheda

Personalizzazione delle schede

Inizialmente occorre assicurarsi che le schede siano state personalizzate correttamente per l'applicazione e la funzionalità corretta.

In ogni scheda, preliminarmente dovrà essere stata programmato il dispositivo PLD Altera che garantisce la sicurezza nel funzionamento della matrice di commutazione, impedendo in hardware la connessione simultanea di più celle sul bus della matrice. Questo passo di personalizzazione, eseguito normalmente dal fornitore della scheda, deve essere eseguito senza alcuna connessione alle celle. La mancata osservanza di questa precauzione comporta la distruzione della scheda e gravi conseguenze per l'operatore, con rischio di incendio in seguito ai possibili cortocircuiti che si verrebbero a produrre tra le celle.

La programmazione della PLD avviene tramite il connettore P10, utilizzando l'ambiente CAD Quartus II. L'alimentazione alla scheda può essere fornita in questa fase mediante il connettore P12, per esempio connettendo il programmatore per il microcontrollore. Affinché quest'ultimo possa correttamente alimentare il circuito da programmare, nella scheda deve essere separata l'alimentazione della parte di controllo da quella generale. Questo può essere ottenuto scollegando il fusibile di protezione F1. In seguito si passa alla programmazione del microcontrollore, con la versione di firmware adeguata alla funzione e al codice di identificazione della scheda.

Di norma, in questa fase preliminare di progetto, queste fasi di personalizzazione sono riservate al produttore della scheda.

Connessioni di modulo e procedura di montaggio

Ogni tipo di modulo prevede la presenza di 4 celle in serie, che sono contattate per ciascun elettrodo da coppie di conduttori di diversa sezione per il monitoraggio della tensione di cella e per il bilanciamento. Il connettore P5 raccoglie i conduttori di sezione maggiore e deve essere connesso alla scheda prima del connettore P8, che raggruppa i conduttori più sottili per il prelievo della tensione. Successivamente, è opportuno collegare i 4 sensori di temperatura NTC usando il connettore P7 e il cavo per la connessione alla scheda di pilotaggio delle ventole ai terminali TP1-TP2. La scheda ausiliaria, oltre che alla ventole, deve essere connessa ai terminali positivo e negativo della serie delle 4 celle del modulo. Nella scheda di tipo Master occorre inoltre collegare il sensore di corrente al connettore P9.

Le rimanenti connessioni devono essere eseguite tra i connettori P3, J1, P14, P6, P11 della scheda al connettore di modulo (Figura 6) secondo lo schema della tabella III. Sulla base di queste connessioni deve essere realizzato il cablaggio esterno tra i moduli e i componenti accessori, come il contattore.

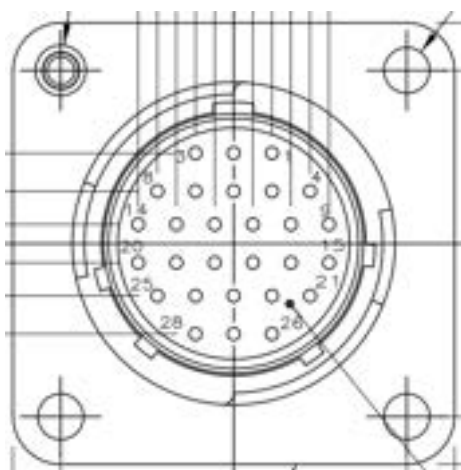


Figura 6 Pinout del connettore di modulo [3]

Tabella III Connessioni dalla scheda al connettore di modulo

Numero pin connettore di modulo	Connettore di modulo		
	Nome connettore scheda	Numero pin	Nome pin
1	P3	1	BAL_UP +
2	P3	2	BAL_UP -
3	P3	3	BAL_DOWN +
4	P3	4	BAL_DOWN -
5	J1	2	ISO_GND
6	J1	3	CANL
7	J1	4	CANH
8	J1	5	ISO_5V
9	P14	5	GDN
10	P14	6	WAKE_OUT
11	P14	7	WAKE_IN -
12	P14	8	WAKE_IN +
13	P14	9	ALARM3 -
14	P14	10	ALARM3 +
15	P14	11	ALARM2 -
16	P14	12	ALARM2 +
17	P14	13	ALARM1 -
18	P14	14	ALARM1 +
19	NC	NC	NC
20	NC	NC	NC
21	P6	1	ISO_SCL
22	P6	2	ISO_GND
23	P6	3	ISO_SDA
24	P6	4	ISO_3.3V
25	P11	1	SCL
26	P11	2	GND
27	P11	3	SDA
28	P11	4	3.3V

Conclusioni

La presente nota documenta il completamento della progettazione dell'hardware del BMS di modulo e della realizzazione della prima pre-serie; sono descritte le modifiche e migliorie apportate alla versione prototipale, consegnata al termine della prima fase dell'accordo di collaborazione e descritta nella relazione [1].

La descrizione riguarda sinteticamente i diversi livelli di progetto elettrico e geometrico, con cenni alle modifiche apportate anche a livello firmware e software, con l'aggiunta dei comandi per la gestione delle ventole.

Include inoltre una breve guida utile per l'installazione del BMS stesso all'interno dei vari tipi di modulo previsti dal progetto.

Riferimenti bibliografici

1. R. Roncella, F. Baronti, G. Fantechi, R. Saletti, "Sviluppo di un BMS (Battery Management System) con sistema di bilanciamento attivo per sistema batterie al LiFePO₄ da 48 Vn - 100 Ah", Report Ricerca di Sistema Elettrico, Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA, Settembre 2012.
2. "Fan AFB0512VHD datasheet" disponibile su <http://www.delta.com.tw>.
3. "Connector 206038-1 datasheet" disponibile su <http://www.te.com>

Abbreviazioni ed acronimi

BMS (Battery Management System)

Si tratta del sistema elettronico a cui sono affidate le funzioni di base per la sicurezza e il corretto funzionamento di un accumulatore elettrochimico di energia. Sicuramente dotato delle funzioni di monitoraggio di tensione e temperatura, spesso è anche in grado di eseguire funzioni superiori, come stima dello stato di carica e equalizzazione dello stato di carica tra le diverse celle di una serie.

CAN (Control Area Network)

Sistema di comunicazione tra oggetti digitali particolarmente diffuso in ambito automobilistico e industriale. Caratterizzato da una massima velocità di trasmissione di 1 Mb/s nella versione standard, è dotato di diverse caratteristiche orientate alla robustezza di comunicazione e affidabilità. Prevede come supporto fisico alla comunicazione tra i diversi moduli, una connessione elettrica adattata agli estremi.

I²C (Inter Integrated Circuit)

Sistema di comunicazione tra diversi circuiti integrati che richiede solo 2 connessioni elettriche oltre al riferimento. Rappresenta una soluzione di grande interesse per la semplicità dell'hardware, per il basso costo energetico e per la disponibilità di driver isolati.

MOS (Metal Oxide Semiconductor)

Basati sull'effetto del campo elettrico su un canale semiconduttore, sono tra i più diffusi transistori oggi usati. Spenti sono in grado di sopportare tensioni significative, di decine o centinaia di volt. Accesi presentano basse resistenze di canale, in funzione delle dimensioni, e sono comunemente usati come interruttori a stato solido.

NTC (Negative Temperature Coefficient)

Resistori costituiti da materiale semiconduttore pesantemente drogato, che presentano un forte coefficiente di temperatura negativo. Per questa loro caratteristica, che li rende sensori di temperatura economici di elevata sensibilità, sono privilegiati nelle applicazioni industriali dove ha particolare importanza la sensibilità e dove la non linearità intrinseca può essere corretta grazie alla presenza di un dispositivo digitale programmabile.

PLD (Programmable Logic Device)

Circuito integrato la cui funzionalità è programmabile in hardware, direttamente intervenendo su interruttori non volatili che determinano le connessioni interne del chip. Trova spesso uso in applicazioni dove è richiesta una elevata affidabilità, perché meno soggetto, rispetto ai comuni processori, agli errori indotti dalle condizioni ambientali.

Curriculum scientifico del gruppo di lavoro impegnato nell'attività.

Il Prof. Roberto Roncella ha conseguito con lode la laurea in Ingegneria Elettronica presso l'Università di Pisa nel 1984. Nel 1989 ha conseguito il titolo di Dottore di Ricerca. Ha poi prestato servizio come borsista del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CSMDR, Pisa). Dal 1990 presta servizio presso il "Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione: Elettronica, Informatica, Telecomunicazioni" (DEIT) della Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Pisa, prima come Ricercatore e dal 1998 come professore di seconda fascia, ricoprendo gli insegnamenti di Microelettronica ed Elettronica Biomedica. Dal 1993 ha collaborato prima alla formazione e poi allo sviluppo e gestione del Centro per le Tecnologie e Applicazioni Microelettroniche (Centro TEAM) di Pisa Ricerche, Centro di Competenza in Microelettronica finanziato dall'Unione Europea nel quadro della ESPRIT Special Action MEPI. Ha ricoperto il ruolo di responsabile scientifico di unità di ricerca dipartimentali nell'ambito di diversi progetti nazionali, con finanziamento da parte del Consiglio Nazionale delle Ricerche (come nel caso del progetto Materiali e Dispositivi per l'Elettronica dello Stato Solido - MADESS II), del Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca e da fondazioni bancarie. Svolge attività come referee per la rivista internazionale *Electronics Letters*. Le sue attività di ricerca sono orientate al progetto e collaudo di circuiti integrati ad alta prestazione, quali circuiti per linee di ritardo ad alta risoluzione o circuiti a bassa dissipazione di potenza, e alla proposta di nuove architetture VLSI per l'elaborazione numerica dei segnali. Nell'ambito di ricerche con finanziamento industriale, si occupa della progettazione di sistemi innovativi applicati all'ambito biomedicale e automobilistico, con particolare riferimento alle due ruote. Sulle proprie attività ha pubblicato più di cinquanta lavori su riviste o atti di congressi internazionali.

Federico Baronti si è laureato con lode in Ingegneria Elettronica nel 2001 presso l'Università di Pisa, dove ha conseguito il dottorato di ricerca in Veicoli Terrestri e Sistemi di Trasporto nel 2005. Durante il corso di dottorato, da gennaio a giugno 2004, è stato in visita alla Vanderbilt University (Nashville, TN), dove ha collaborato con il gruppo di ricerca "Radiation Effects and Reliability Group". Dal 2005 al 2011, ha beneficiato di assegni di ricerca e borse di studio post-dottorato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, dell'Università di Pisa. Da dicembre 2011 è ricercatore non confermato presso lo stesso dipartimento, dove svolge attività di ricerca orientata principalmente allo studio e progetto di sistemi innovativi per il miglioramento delle prestazioni, sicurezza e comfort dei veicoli. Attività più recenti riguardano la modellizzazione di batterie agli ioni di litio e lo sviluppo di sistemi innovativi per il monitoraggio e gestione di pacchi batteria. Relativamente a questo ambito di ricerca è stato invitato, nell'agosto 2011, a svolgere un seminario presso la North Caroline State University ed è organizzatore di due special session all'interno delle conferenze ISIE e IECON 2012 organizzate da IEEE Industrial Electronics Society. Altri interessi di ricerca riguardano la progettazione e collaudo di circuiti integrati digitali e mixed-signal e di sistemi di acquisizione ed elaborazione dati in tempo reale e multi-canale. Federico Baronti è coautore di oltre 50 pubblicazioni su riviste internazionali e atti di conferenze e di un brevetto italiano.

Gabriele Fantechi ottiene la laurea specialistica in Ingegneria Elettronica, con lode, nel 2009, presso l'Università di Pisa. E' attualmente al terzo anno del Dottorato di Ricerca in Veicoli Terrestri presso la stessa Università. Svolge attività di ricerca sul tema dei sistemi elettronici per il controllo delle batterie a bordo di veicoli elettrici ed ibridi. Si è occupato del controllo elettronico di motori a combustione interna alimentati ad idrogeno ed ammoniaca, di strumentazione elettronica e acquisizione dati a bordo di veicoli ed imbarcazioni.

Il Prof. Roberto Saletti ha conseguito con lode la laurea in Ingegneria Elettronica presso l'Università degli Studi di Pisa nel 1981. Ha prestato servizio come ricercatore del Consiglio Nazionale delle Ricerche dal 1983 al 1992 presso il "Centro di Studio per Metodi e Dispositivi per Radiotrasmissioni" di Pisa. Nel 1987 è stato visiting scientist presso la Cornell University, Ithaca, New York. Ha prestato servizio dal 1992 al 2001 come professore universitario di ruolo di seconda fascia presso il "Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione:

Elettronica, Informatica, Telecomunicazioni" della Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Pisa. Vincitore di concorso per valutazione comparativa, dal 1/09/2001 è professore ordinario di Elettronica presso il medesimo Dipartimento. Dal 2003 è stato responsabile dell'Indirizzo Scientifico-Tecnologico della Scuola di Specializzazione per l'Insegnamento Secondario - SSIS, organizzata congiuntamente dalle tre università toscane di Pisa, Firenze e Siena.

Dal 1993 ha collaborato alla fondazione, sviluppo e gestione del Centro per le Tecnologie e Applicazioni Microelettroniche (Centro TEAM) di Pisa Ricerche, finanziato dall'Unione Europea nel quadro della ESPRIT Special Action MEPI. Ha coperto il ruolo di responsabile scientifico di unità di ricerca in progetti quali il Programma di ricerca applicata 5% Microelettronica, il progetto finalizzato del CNR "Materiali e Dispositivi per l'Elettronica dello Stato Solido" (MADESS II) e altri programmi di ricerca di interesse nazionale (PRIN). E' anche responsabile di gruppi per lo svolgimento di ricerche in collaborazione o su commessa di partner industriali quali Piaggio S.p.A., Ferretti Yacht, etc..

Svolge attività come referee dell'Unione Europea per la valutazione di progetti di ricerca e per pubblicazioni internazionali.

Le sue attività di ricerca sono orientate al progetto e collaudo di circuiti integrati ad alta prestazione, quali circuiti per linee di ritardo ad alta risoluzione per la misura di intervalli temporali, di sistemi elettronici per acquisizione dati e applicazioni "automotive", particolarmente per il campo dei veicoli a due ruote e degli yacht da crociera, nonché nella realizzazione di sistemi elettronici per il controllo e il monitoraggio di sistemi di accumulo di energia, in particolare batterie con chimica al litio, i cosiddetti BMS (Battery Management Systems).