

ASSE I – RICERCA, INNOVAZIONE E SVILUPPO TECNOLOGICO del
PO FESR 2014-2020- Azione 1B.1.2.1

PROGETTO MOBAS 4.0

Mobilità sOstenibile in BASilicata 4.0

Work Package 5

**“MOBILITÀ’ SOSTENIBILE PER IL TRASPORTO PUBBLICO
URBANO”**

Deliverable 5.3

**“REALIZZAZIONE DI SISTEMI DEDICATI PER
L’OTTIMIZZAZIONE ENERGETICA, IL CONTROLLO E IL
MONITORAGGIO DEL MEZZO DI TRASPORTO”**

Stato di avanzamento n. 1 dal 03/01/2022 al 31/12/2022

Data	Redazione a cura di:	Persona di contatto per il progetto:
04/11/2022	Coing Scarl Altri partner: Consorzio TRAIN, ENEA	Mario Zagaria COM SCPA E-mail: mario.zagaria@com-scpa.it telefono: 0972 460130

MOBAS 4.0 – D5.3 Realizzazione di sistemi dedicati per l’ottimizzazione energetica, il controllo e il monitoraggio del mezzo di trasporto

Sommario

INTRODUZIONE.....	4
1. IL MERCATO DEI VEICOLI ELETTRICI	5
2. I COMPONENTI PRINCIPALI DEL MOBAS 4.0 PER LA GESTIONE INTELLIGENTE DELL'ENERGIA	7
2.1. VEHICLE CONTROL UNIT (VCU)	8
2.2. IL SISTEMA DI ALIMENTAZIONE DEI VEICOLI ELETTRICI (EV): PACCO BATTERIE E BMS	9
2.2.1. RICARICA DELLA BATTERIA NEI EV	11
2.3. INVERTER	13
2.4. SISTEMA DI COMUNICAZIONE	14
2.5. CAN BUS.....	15
3. CARATTERIZZAZIONE DELL'ALGORITMO PER L'OTTIMIZZAZIONE ENERGETICA NEI EV.....	17

Indice delle Figure

<i>Figura 1. Mercato degli autobus in Europa anni 2020 e 2021 - FONTE: Chatrou CME Solutions</i>	5
<i>Figura 2. Mercato degli autobus in Europa Q1 e Q2 2022 - FONTE: Chatrou CME Solutions</i>	5
<i>Figura 3. Percentuale di autobus a zero emissioni in Europa - FONTE: Chatrou CME Solutions</i>	6
<i>Figura 4. Principali componenti di interesse per l'ottimizzazione energetica e la gestione e il controllo del MOBAS 4.0</i>	7
<i>Figura 5. Schema a blocchi Pacco Batterie e BMS</i>	10
<i>Figura 6. Schema a blocchi dell'inverter con VCU, motore e sensoristica</i>	13
<i>Figura 7. Schema a blocchi sistema di comunicazione per il monitoraggio da remoto</i>	14
<i>Figura 8. Schema di flusso dell'algoritmo per la gestione energetica del prototipo di bus elettrico</i>	17
<i>Figura 9. VCU del bus elettrico di MOBAS 4.0</i>	18

Introduzione

Nel presente documento vengono descritti i risultati delle attività svolte per la messa a punto dell'algoritmo di ottimizzazione del sistema energetico di bordo per il MOBAS 4.0, realizzato mediante opportuno coordinamento dei sottosistemi del powertrain elettrico e la definizione di un sistema di monitoraggio che consente di rendere fruibili i dati di interesse in cloud.

Il gruppo di lavoro ha eseguito, in primo luogo, un'attenta analisi del mercato di riferimento nel quale si inquadrano perfettamente quelle che sono le caratteristiche del progetto MOBAS 4.0. Sono stati quindi definiti i principali blocchi dell'architettura del sistema che risultano di interesse per la definizione della strategia energetica.

In particolare partendo dall'analisi e definizione del cuore del sistema il Vehicle Control Units (VCU) sono stati analizzati il pacco batteria e il BMS, l'inverter e il sistema di comunicazione per rendere fruibili i dati del sistema in cloud per le elaborazioni del caso. Inoltre è stato fatto un approfondimento anche sul CAN BUS, il protocollo di consente di connettere i vari elementi del veicolo elettrico.

Sulla base delle analisi eseguite, il gruppo di lavoro ha potuto strutturare l'algoritmo per l'estensione della durata di vita delle batterie e della autonomia di autobus elettrici e definire un sistema di comunicazione con il cloud per poter trasferire i dati di interesse, non esclusivamente quelli energetici, e consentire ad una piattaforma software dedicata di svolgere opportune elaborazioni al fine di ottimizzare il prodotto/servizio.

1. Il mercato dei veicoli elettrici

La decarbonizzazione del settore dei trasporti rappresenta una delle chiavi per la riduzione delle emissioni climalteranti. Una riduzione significativa delle emissioni è garantita dall'uso ridotto delle vetture private a vantaggio del TPL. Tuttavia, l'emissione media per veicolo del TPL è significativamente maggiore di quella associata a una autovettura per cui, proprio nel settore del TPL è opportuno operare una forte ottimizzazione del veicolo dal punto di vista delle emissioni. Questa esigenza si muove in contrasto con l'elevata affidabilità richiesta agli autobus che, pertanto, difficilmente sono realizzate con soluzioni ad elevata complessità tecnologica.

Negli ultimi decenni si sta assistendo a una progressiva diffusione dei veicoli elettrici, favorendo un più facile raggiungimento degli obiettivi di carbon neutrality previsti per il 2050. Il paradigma elettrico applicato al TPL è, quindi, la soluzione migliore al problema della decarbonizzazione del trasporto, almeno in ambito urbano e suburbano.

Il mercato in questi ultimi 2 anni sta dando significativi e incoraggianti segnali, come mostrano le seguenti figure, riferite al mercato degli autobus.

Total number of city buses with alternative driveline, registered in 2020:

	Hybrid	Electric	CNG - NGT	Fuel Cell	total:
Total 2020:	2.919	2.210	3.162	47	8.338
In other segments:	2	10	539		551
In city bus segment:	2.917	2.200	2.623	47	7.787
City bus market (excl.51 trolleys)					14.842

Total number of city buses with alternative driveline, registered in 2021:

	Hybrid	Electric	CNG - NGT	Fuel Cell	total:
Total 2021:	3.285	3.282	3.088	158	9.813
In other segments:	15	23	864		902
In city bus segment:	3.270	3.259	2.224	158	8.911
City bus market (excl.71 trolleys)					14.990

Figura 1. Mercato degli autobus in Europa anni 2020 e 2021 - FONTE: Chatrou CME Solutions

Questo trend è confermato anche nei primi due quartili del 2022.

Total number of city buses with alternative driveline, registered in Q1+Q2-2022:

	Hybrid	Electric	CNG - NGT	Fuel Cell	total:
Total Q1+Q2-2022:	885	1.768	1.747	52	4.452
In other segments:		24	544		568
In city bus segment:	885	1.744	1.203	52	3.884
City bus market (excl. 32 trolleys)					6.019
Share:	14,7%	29,0%	20,0%	0,9%	64,5%

Figura 2. Mercato degli autobus in Europa Q1 e Q2 2022 - FONTE: Chatrou CME Solutions

Il mercato, pertanto, si sta decisamente orientando verso veicoli ibridi, elettrici e a fuel cell, tutti caratterizzati dalla presenza di powertrain elettrici e di sistemi di accumulo a bordo.

Al momento il parco europeo appare così composto:

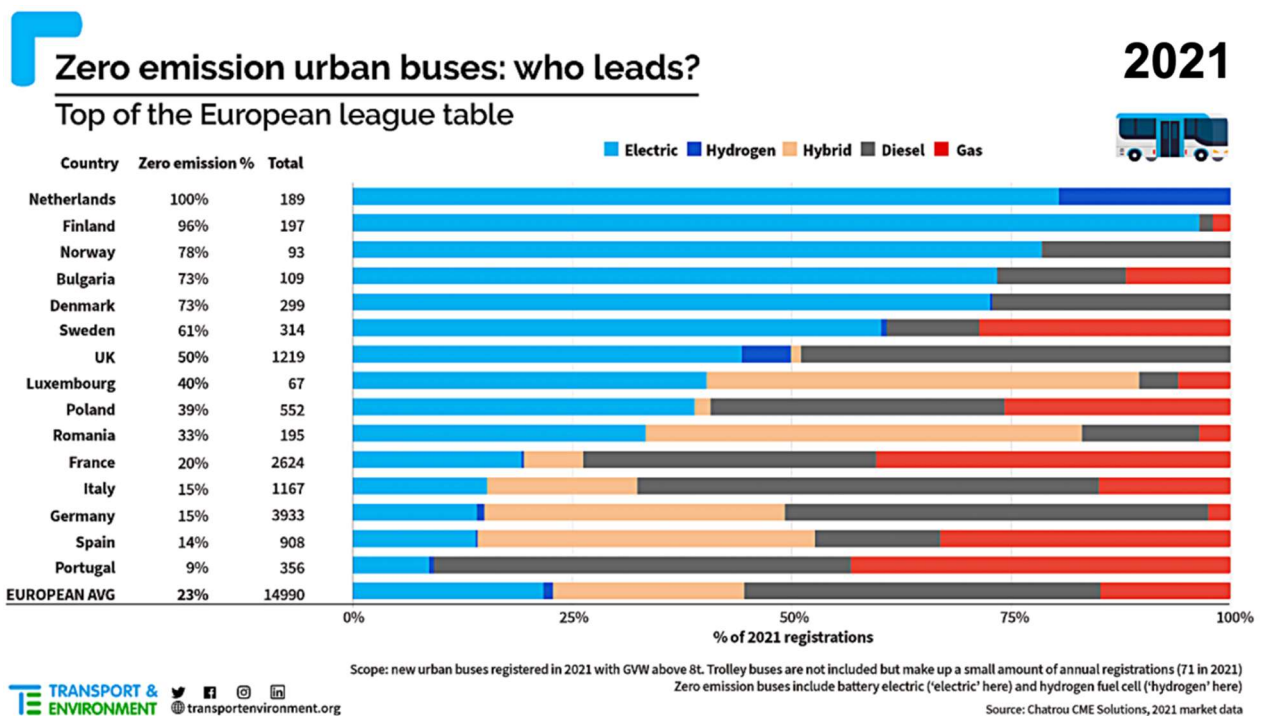


Figura 3. Percentuale di autobus a zero emissioni in Europa - FONTE: Chatrou CME Solutions

In questo scenario appare chiaro come le batterie e la loro gestione siano il punto chiave per la decarbonizzazione tanto nel settore dei trasporti quanto in quello dell'energia. Benché i vantaggi dei veicoli elettrici siano numerosi, attualmente essi soffrono di una bassa autonomia e prestazioni limitate. A tal proposito, un possibile miglioramento dell'autonomia e dell'efficienza energetica dei veicoli, tanto in quelli elettrici quanto in quelli ibridi, si concentra su una gestione innovativa dell'energia per una politica di risparmio energetico raggiungibile, ad esempio, attraverso nuove configurazioni di propulsori, strategie di controllo innovative o sistemi di controllo della gestione delle batterie.

L'attività, oggetto del presente documento, svolta nell'ambito del progetto MOBAS 4.0 che si inserisce perfettamente nel quadro delineato, ha come obiettivo proprio quello di definire algoritmi per l'ottimizzazione energetica e la gestione e il controllo del MOBAS 4.0 e, in generale, dei veicoli elettrici.

2.1 componenti principali del MOBAS 4.0 per la gestione intelligente dell'energia

Nella figura seguente viene mostrata l'architettura di massima del MOBAS 4.0 con i principali componenti di interesse per l'ottimizzazione energetica, la gestione e il controllo del veicolo elettrico.

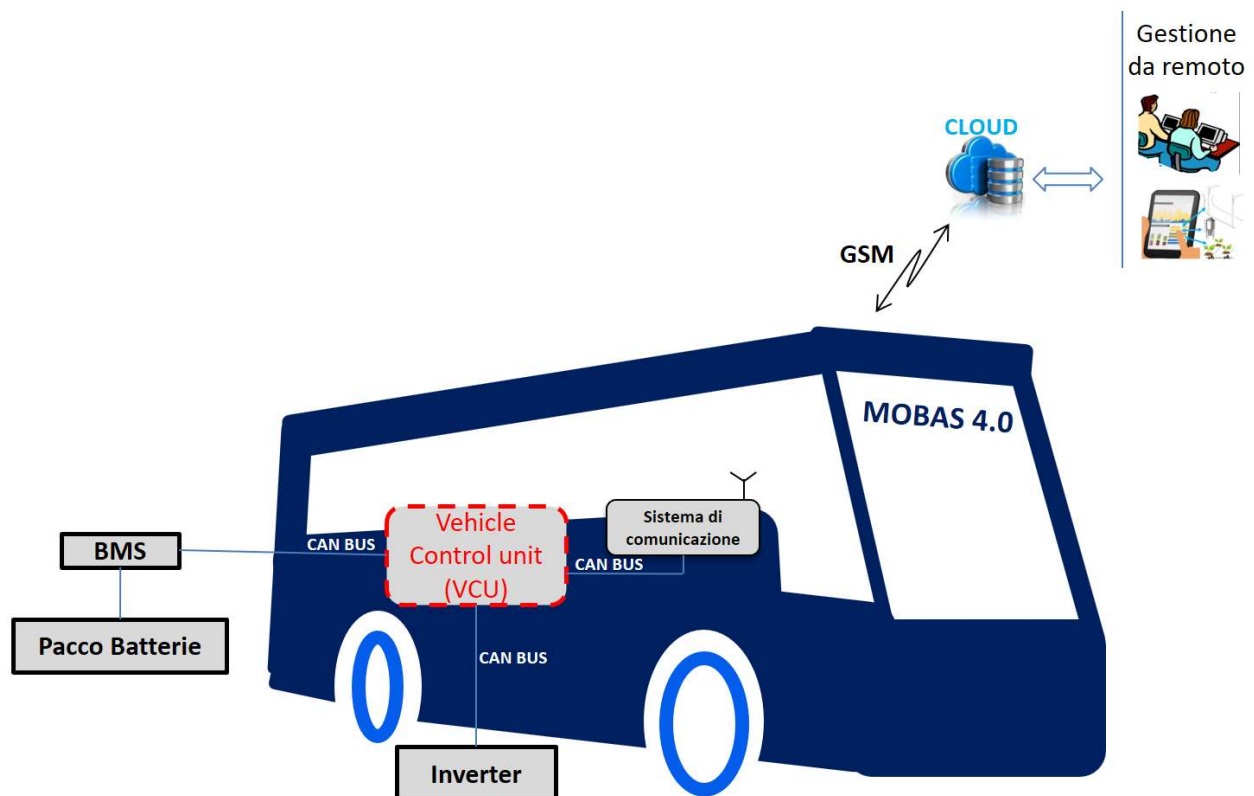


Figura 4. Principali componenti di interesse per l'ottimizzazione energetica e la gestione e il controllo del MOBAS 4.0

In particolare, si evidenzia come il cuore del sistema sia il Vehicle Control Units (VCU) che, attraverso il protocollo di comunicazione CAN BUS, comunica con il sistema di gestione del pacco batterie (BMS – Battery Management System) deputato all'accumulo dell'energia nelle batterie e a preservarne le loro caratteristiche per ottenere la maggior durata possibile. Il VCU, sempre tramite CAN BUS, si interfaccia inoltre con l'inverter dedicato al trasferimento della potenza al motore per la trazione del veicolo. Infine lo stesso protocollo di comunicazione viene usato per rendere fruibili in cloud tutti i dati disponibili al VCU tramite un opportuno sistema di comunicazione per consentire un monitoraggio da remoto ed eventualmente eseguire elaborazioni dedicate e implementare nuove ottimizzazioni.

La definizione degli algoritmi di efficientamento energetico del MOBAS 4.0 poggia le sue basi sull'analisi e lo studio dei componenti suddetti. Nei paragrafi di seguito vengono sintetizzati i risultati del lavoro svolto.

2.1. Vehicle Control Unit (VCU)

Il Vehicle Control Unit (VCU) è in generale il cuore di un veicolo elettrico, dal quale passano tutte le informazioni relative ad esso. Le sue principali funzioni sono:

- Controllo della guida del veicolo: raccogliere le esigenze di guida del conducente e gestire la potenza.
- Gestione della rete: monitora la rete di comunicazione, la programmazione delle informazioni, il riepilogo delle informazioni e funge da gateway.
- L'azionamento ausiliario dello strumento monitora e visualizza lo stato del veicolo.
- Elaborazione della diagnosi dei guasti: diagnosticare e rilevare i guasti di sensori, attuatori e altri componenti del sistema ed eseguire la corrispondente elaborazione dei guasti e visualizzare i guasti in tempo reale.
- Gestione dell'energia e configurazione e manutenzione online.
- Distribuzione della potenza: calcola la distribuzione della potenza del motore attraverso informazioni complete sul veicolo, tra cui il SOC della batteria, la temperatura del pacco batteria, la temperatura del motore, ecc.
- Altre funzioni di assistenza alla guida, come il controllo antiscivolo dell'auto quando si parte in salita.

È stata eseguita un'attenta analisi sui diversi VCU presenti sul mercato che ha condotto all'individuazione del VCU200 della AEM EV, come soluzione adeguata per il MOBAS 4.0. Il VCU200 è caratterizzato da un hardware OEM capace di gestire un sistema inverter/motore, comunicare con quattro reti bus CAN indipendenti e può essere utilizzato su configurazioni EV a guida diretta e indiretta. Possono essere possibili più sistemi di controllo motore a seconda dell'applicazione. Tra le funzioni principali che lo rendono ideale per l'applicazione vi sono:

- Caratterizzazione degli input inclusi pedale dell'acceleratore, interruttore del freno, interruttori PRND e altri input del conducente/veicolo
- Funzionalità di ridondanza per tutti gli input critici per la sicurezza
- Sequenza di avvio e spegnimento di componenti ad alta tensione
- Traduzione di messaggi CAN per BMS, inverter, PDU e altri accessori CAN
- Gestione della coppia del motore in base agli stati operativi del veicolo e ad altre modalità selezionabili dal conducente
- Regolazione della velocità del motore ad anello chiuso per applicazioni di trasmissione ad azionamento indiretto
- Limiti di coppia dinamici che massimizzano la sicurezza e ottimizzano le prestazioni
- Controllo accessorio di pompe di raffreddamento, ventole di raffreddamento, luci e altro
- La diagnostica e il rilevamento dei guasti, compresi i timeout dei messaggi CAN, i limiti termici, il contattore e l'inverter.

Inoltre il VCU200 con i BMS supportati consente di richiedere riduzioni della coppia in base ad una serie di parametri come la scarica della batteria, l'alta o la bassa temperatura del pacco batteria, la tensione minima o massima della cella, lo stato di carica % (SOC) o la tensione complessiva del pacco batteria. Tali funzionalità sono estremamente utili per una gestione ottima della disponibilità energetica a bordo veicolo.

2.2. Il sistema di alimentazione dei Veicoli Elettrici (EV): Pacco Batterie e BMS

Il percorso progettuale che porta alla definizione dell'algoritmo per l'ottimizzazione energetica e la gestione e il controllo di veicoli elettrici passa necessariamente da un approfondimento tecnico del sistema di alimentazione dei veicoli elettrici (EV) ponendo particolare attenzione alla caratterizzazione e gestione (BMS) della batteria, elemento chiave del sistema, che gestita in maniera intelligente da dispositivi dedicati, dovrà garantire elevate prestazioni in particolare in termini di durata e sicurezza.

In generale la batteria dell'auto elettrica viene vista come una singola unità, ma in realtà è composta da centinaia (e talvolta migliaia) di celle batteria che sono collegate in serie o in parallelo nei moduli batteria. E questi moduli vengono poi collegati in un pacco batteria, o ciò che tutti chiamano semplicemente "una batteria". Grazie a questa disposizione, è possibile raggiungere la capacità e l'energia richieste, e allo stesso tempo è più facile produrre, installare, ma anche ispezionare ed eseguire la manutenzione.

Le batterie al litio, al momento, appartengono alla tecnologia più efficiente per veicoli elettrici. Queste batterie sono più o meno sensibili agli sbalzi di temperatura, al sovraccarico o allo scaricamento eccessivo, e per prolungarne il più possibile la vita, queste quantità devono essere attentamente monitorate e controllate. Le batterie al litio sono anche soggette a perdite di temperatura, che possono verificarsi a causa di diversi errori, come la ricarica troppo veloce o lo scaricamento troppo rapido.

Il controllo e il monitoraggio del pacco batteria avviene tramite, il sistema di gestione della batteria (**BMS**). Esso è composto da diversi componenti, inclusi quelli per il monitoraggio delle celle della batteria, uno o più stadi di conversione della potenza a seconda delle esigenze del veicolo, e controller intelligenti o processori integrati posizionati strategicamente nell'architettura per gestire vari aspetti del sottosistema di alimentazione. Durante il caricamento e lo scaricamento di una batteria EV, è imperativo che ogni cella all'interno del pacco batterie sia strettamente e accuratamente monitorata perché qualsiasi condizione fuori specifica può, come minimo, causare rapidamente danni interni alla batteria e al veicolo o minacciare la sicurezza dei passeggeri. Le batterie EV contengono l'energia equivalente a un piccolo esplosivo. Le condizioni di sovratensione o sottotensione possono portare a sbalzi termici che potrebbero causare un guasto alla batteria. Un circuito integrato per il monitoraggio della batteria (BMIC) o un dispositivo di bilanciamento delle celle viene generalmente assegnato per monitorare la tensione di ciascuna cella nella batteria, la temperatura di vari punti nel modulo e altre condizioni. Questi dati vengono riportati ad un controller di gestione della cella (CMC) e, a seconda della complessità del sistema, a elementi di elaborazione di ordine superiore, come uno o più controller di gestione della batteria (BMC).

La precisione di queste misurazioni e la frequenza delle comunicazioni dal BMIC alla CMC e al BMC è fondamentale per rilevare tempestivamente una condizione di allarme e intraprendere azioni correttive prima che diventi pericolosa. Ad esempio, il BMC potrebbe interrompere la ricarica rigenerativa o ridurre l'assorbimento di potenza da un pacco per riportare la temperatura delle singole celle in un intervallo accettabile oppure il conducente del veicolo potrebbe essere avvisato di tale condizione tramite una spia "controllo motore" sul cruscotto. In ogni caso, i BMIC devono essere in grado di effettuare misurazioni molto accurate e comunicazioni robuste con le CMC in modo che un BMC possa intraprendere la giusta azione

correttiva in modo tempestivo. Un veicolo elettrico è davvero molto impegnativo in termini di progettazione di un'efficace rete di comunicazione a causa dell'abbondanza di rumore elettrico nell'ambiente. Spesso, la robustezza delle comunicazioni del BMIC e della CMC dipende dalla progettazione e dall'instradamento generale della rete che collega i vari dispositivi nel BMS.

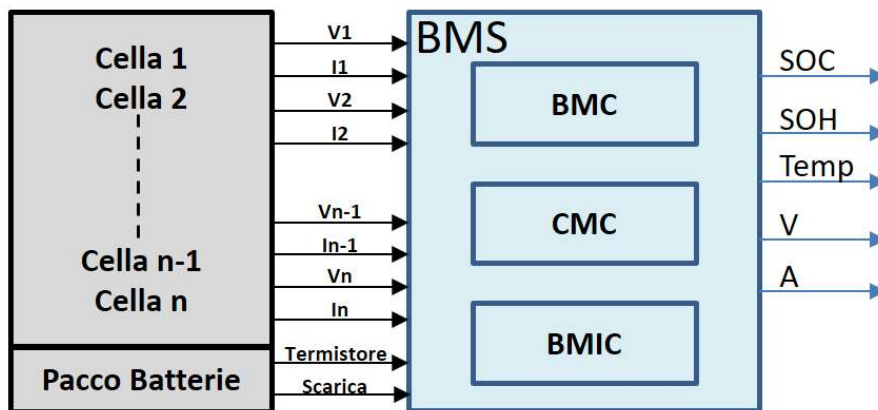


Figura 5. Schema a blocchi Pacco Batterie e BMS

Un BMC aggrega le informazioni sulla tensione dalle CMC che monitorano le molte celle nel pacco batteria.

Calcola anche:

- lo stato di carica (SOC) della batteria, che viene utilizzato per determinare la carica rimanente nella batteria e, a sua volta, la distanza che il veicolo può percorrere prima che la batteria debba essere ricaricata;
- lo stato di salute (SOH) della batteria, che fornisce informazioni importanti sulle condizioni operative della batteria in modo che sia possibile proiettare la durata residua e raccomandare le procedure di manutenzione appropriate.

In generale a seconda della complessità del veicolo, diversi microcontrollori intelligenti (MCU) supervisionano e gestiscono varie attività critiche per quanto riguarda la batteria e il sottosistema di alimentazione. Di solito, questi MCU contengono più core di elaborazione. Alcuni possono essere costituiti esclusivamente da processori RISC (General-Purpose Reduced Instruction Set Computing) mentre altri, che sono responsabili di attività matematicamente intense, di solito presentano uno o più core di elaborazione del segnale digitale (DSP).

I CMC, lavorando di concerto con i BMIC, svolgono un ruolo importante nel garantire le prestazioni della batteria e la sua durata utile. Ad esempio, durante un ciclo di carica, i BMIC potrebbero rilevare che gli effetti del calore hanno degradato una delle celle della batteria al punto che essa si carica solo fino a 4,1 V, mentre il resto delle celle si sta caricando a 4,2 V. Il processo di carica potrebbe quindi essere gestito in modo efficace in modo che nessuna delle celle venga caricata oltre i 4,1 V. Ciò consentirebbe di:

- ridurre lo stress posto su tutte le celle;
- prolungare la durata del pacco batterie nel suo complesso;

- assicurare che il pacco immagazzini energia in modo efficiente per fornire tutta la potenza necessaria al motore nell'istante in cui serve.

Naturalmente, la reattività in tempo reale è essenziale in un sistema in tempo reale, specialmente quando il sistema è un veicolo elettrico che viaggia intorno ai 90 km/h. Un BMIC deve essere in grado di riferire frequentemente, nel giro di pochi microsecondi, alla CMC le condizioni che sta monitorando in modo che la CMC o il controller di livello superiore possa intraprendere rapidamente tutte le azioni correttive necessarie, come ridurre la potenza assorbita dal pacco per ridurre il surriscaldamento, prima che la situazione peggiori.

2.2.1. Ricarica della batteria nei EV

Caricare e scaricare la batteria in modo efficiente è importante in quanto evita fughe termiche o altre condizioni che potrebbero ridurre la capacità della batteria o la sua durata. Per fare ciò, è necessaria una certa quantità di intelligenza nell'MCU di controllo poiché i parametri della batteria stessa cambieranno nel tempo. L'MCU responsabile della carica effettiva della batteria deve essere in grado di adattarsi rapidamente e adattarsi in tempo reale alle proprietà mutevoli della batteria, come l'ossidazione sui terminali, le tensioni delle celle e altro. Durante la carica, in particolare, l'MCU deve essere in grado di rispondere rapidamente alle condizioni di sovratensione. In caso contrario, la batteria potrebbe surriscaldarsi e prendere fuoco.

Quando si progettano moduli di ricarica della batteria come un caricabatterie a bordo, è possibile implementare microcontrollori di ordine superiore dotati di core DSP e co-processor specializzati o acceleratori basati su hardware per soddisfare specifiche esigenze operative in tempo reale per il controllo a circuito chiuso della corrente di ingresso di carica della scheda, tensione CC del bus intermedio, corrente di carica della batteria e tensione dei terminali della batteria. Questi circuiti di controllo richiedono l'uso di algoritmi ad alta intensità di calcolo come un controller PID. Un MCU con core DSP che esegue un set di istruzioni speciali che supportano operazioni matematiche trigonometriche speciali può ridurre significativamente il numero di cicli del processore necessari per questi algoritmi. Ad esempio, mentre un core RISC potrebbe richiedere 60 cicli per completare un'operazione seno o coseno ad alta intensità matematica, un core DSP potrebbe ottenere lo stesso risultato in due o tre cicli. Tali microcontrollori potrebbero anche supportare il pilotaggio di più topologie di alimentazione e più circuiti di controllo per tensione, corrente e altri parametri di sistema con prestazioni così elevate da ridurre al minimo i cambiamenti "mancanti" nelle caratteristiche della batteria.

I produttori di EV e alimentazioni possono anche sfruttare l'adattabilità e la versatilità degli MCU per sfruttare lo stesso framework software per controllare topologie di alimentazione simili, ma con diverse potenze nominali, diverse tensioni di ingresso/uscita e diverse frequenze PWM. In altre parole, lo stesso software sviluppato per una topologia specifica utilizzando un MCU o una famiglia di MCU può essere utilizzato da bassa potenza ad alta potenza solo con modifiche appropriate nei parametri di controllo digitale e alcuni parametri software relativi al nuovo stadio di potenza. Pertanto, gli MCU consentono ai produttori di riutilizzare o riapplicare efficacemente i loro investimenti nello sviluppo di software di controllo della potenza più e più volte nelle alimentazioni con un'ampia gamma di potenze nominali che soddisfano i requisiti delle

applicazioni. Questa adattabilità è particolarmente importante oggi poiché le innovazioni e i nuovi materiali continuano ad essere introdotti nei componenti degli stadi di potenza.

In particolare, le tecnologie ad ampia banda proibita per le applicazioni di ricarica a bordo dei veicoli elettrici, si adattano meglio alla connessione diretta alle prese AC che attingono alla rete elettrica, consentono ai produttori di veicoli elettrici di ridurre le dimensioni e il peso del caricatore del veicolo, il che si traduce in una distanza maggiore per singola carica del veicolo. Inoltre, queste tecnologie per lo stadio di potenza hanno migliorato l'efficienza energetica, quindi viene persa meno energia durante la ricarica e i tempi di ricarica sono ridotti. Il nitruro di gallio (GaN) e il carburo di silicio (SiC) sono due esempi di tecnologie ad ampio bandgap che offrono capacità di commutazione più elevate e minore resistenza all'accensione rispetto al tradizionale MOSFET al silicio.

Ogni progetto di design implica compromessi tra gli obiettivi di progettazione, come costi, prestazioni, durata e altri. L'unica eccezione per un sistema di alimentazione per veicoli elettrici è la sicurezza. Il principale tra i problemi di sicurezza sono le fughe termiche che potrebbero causare un incendio nella batteria del veicolo. Fughe termiche possono essere provocate da diversi malfunzionamenti, come sovraccarico o scaricamento troppo rapido. Per aiutare a evitare eventi non sicuri, il BMS deve essere in grado di monitorare e rilevare costantemente i parametri operativi che cambiano e notificare alle CMC o BMC di intraprendere un'azione protettiva come lo spegnimento di una cella della batteria che si surriscalda. Un'altra capacità di sicurezza che deve essere inclusa è la capacità di verificare che gli allarmi/avvisi siano autentici e non uno sbaglio del BMS. E, naturalmente, il BMS deve avere funzionalità di protezione integrate che possono intraprendere istantaneamente l'azione corretta ed efficace per evitare una condizione di fuga prima che diventi potenzialmente pericolosa.

A un livello molto elementare, i componenti devono essere qualificati secondo AEC-Q100, una specifica dell'Automotive Electronics Council. Inoltre, i componenti in un BMS devono supportare le capacità di sicurezza definite nello standard di sicurezza funzionale ISO 26262 per i veicoli elettrici. ISO 26262 richiede che il BMS sia in grado di analizzare le condizioni operative e valutare il rischio potenziale che qualsiasi cambiamento in un parametro può comportare per il veicolo e i suoi passeggeri. Soddisfare i requisiti funzionali di ISO 26262 significa che il BMS deve essere un sistema fail-safe con risorse ridondanti come le unità di elaborazione, ognuna delle quali deve avere le proprie strutture dedicate come memoria, più convertitori ADC e altro. Inoltre, il BMS deve disporre di autodiagnostica per verificare che funzioni correttamente e non fornisca falsi allarmi. Infine, i meccanismi di protezione a risposta rapida sono essenziali per un BMS in modo che, ad esempio, un pacco batterie o un altro elemento funzionale possa spegnersi immediatamente se viene rilevata e verificata una condizione di fuga termica.

Alcuni degli MCU più avanzati implementati nei sistemi di alimentazione dei veicoli elettrici sono dotati di core a doppia elaborazione che si rispecchiano a vicenda ed eseguono in blocco, confrontando e convalidando ogni processore su ogni istruzione eseguita. Le tecniche diagnostiche a livello di componente, come il codice di correzione degli errori (ECC) in memoria, aiutano a fornire l'accuratezza dei dati nel sistema.

Da quanto sopra esposto un sistema di gestione intelligente con componenti innovativi dello stadio di potenza ottimizza le prestazioni e la durata della batteria del veicolo durante l'esecuzione delle attività per convalidare la sicurezza della batteria. Un monitoraggio accurato e frequente dei parametri operativi vitali,

comunicazioni robuste tra tutti i nodi su tutti i circuiti di controllo all'interno del sistema e un processo decisionale rapido seguito da meccanismi di controllo e protezione efficaci, sono essenziali nei sistemi di alimentazione EV.

2.3. Inverter

In generale l'inverter è quel dispositivo che all'interno di un veicolo elettrico trasforma la corrente continua in corrente alternata per azionare il motore elettrico. Inoltre cambia la temporizzazione per regolare la frequenza della carica CA per controllare la velocità del motore, proprio come un sistema di iniezione carburante e accensione fa in un motore a combustione.

Durante il suo lavoro, l'inverter assorbe grandi quantità di energia elettrica con un conseguente surriscaldamento. L'aumento di temperatura è da gestire con dei sistemi di raffreddamento a volte è possibile trovare alcune parti dell'inverter sono poggiate nell'acqua, così da dissipare il calore. L'inverter è pertanto un elemento da considerare per una gestione intelligente dell'energia e controllato opportunamente dal Vehicle Control Unit (VCU).

Con riferimento alla prossima figura le informazioni provenienti dai sensori di posizione e velocità del motore deve essere inoltrata alla VCU, che può così applicare gli algoritmi di regolazione e controllo necessari a un corretto funzionamento del sistema. I comandi di uscita prodotti da questi algoritmi devono passare attraverso gli inverter DC/AC.

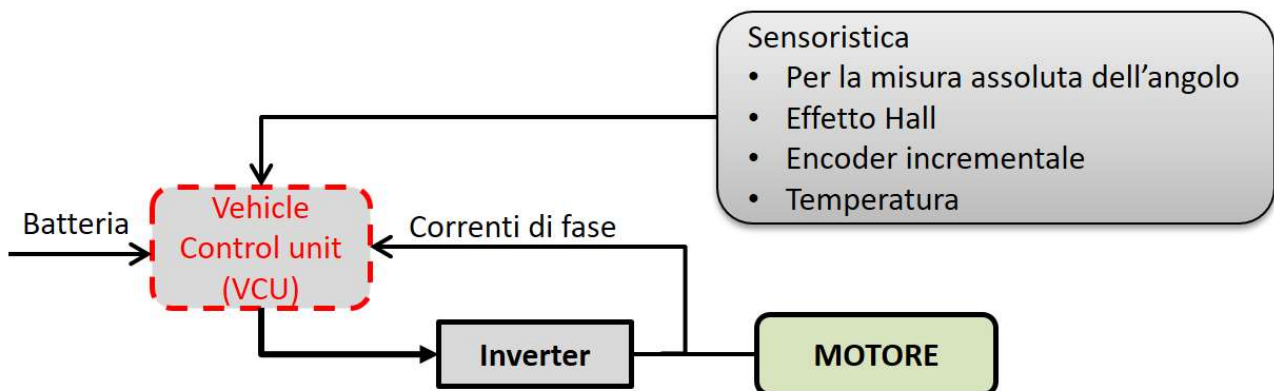


Figura 6. Schema a blocchi dell'inverter con VCU, motore e sensoristica

2.4. Sistema di comunicazione

Al fine di consentire un monitoraggio da remoto del MOBAS 4.0 ed elaborare eventuali ottimizzazioni di sistema grazie alla capacità computazionale praticamente infinita disponibile in cloud, è stato definito un sistema di comunicazione dedicato. Tale sistema è stato pensato per rendere fruibile in remoto sia i dati di controllo del veicolo elettrico (sostanzialmente disponibili sulla VCU) che eventualmente di altri dispositivi, quali ad esempio il Radar per la rilevazione degli ostacoli.

Con riferimento allo schema a blocchi della prossima figura, il sistema di comunicazione viene caratterizzato da un blocco di interfaccia CAN BUS che permette di interpretare i dati di interesse a bordo VCU e trasferirli al modulo di comunicazione GSM per renderli disponibili in cloud. Parallelamente il sistema di comunicazione pensato per il MOBAS 4.0 prevede un'interfaccia WiFi che potrà essere utilizzata per acquisire dati da altri componenti a bordo quali ad esempio il radar. Questa caratteristica, che consente di raccogliere informazioni generiche e diverse ed eventualmente aggiungere nuovi dispositivi e sensoristica estendendo la rete di dati a bordo veicolo, permette, a piattaforme software dedicate, di eseguire elaborazioni spinte e implementare così ottimizzazioni di prodotto/servizio, migliorando sia l'efficiamento energetico, ma anche la qualità e la sicurezza.

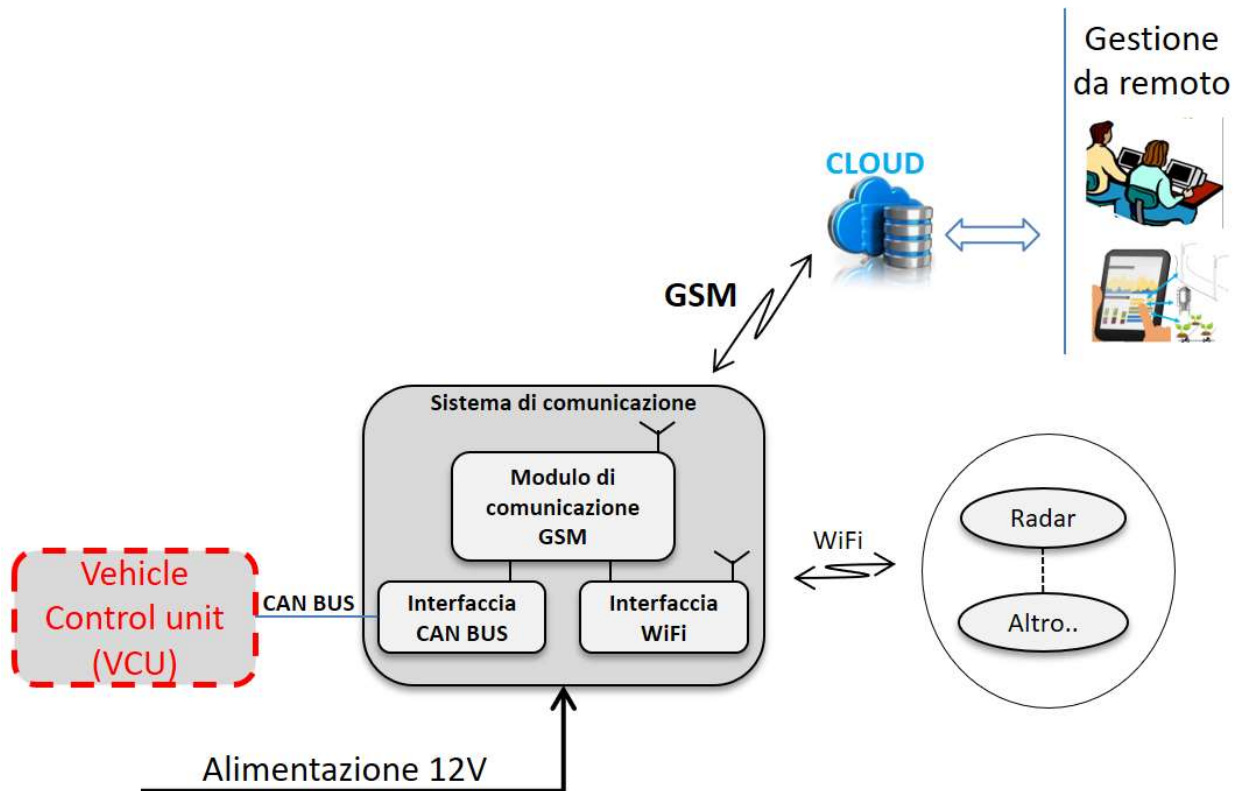


Figura 7. Schema a blocchi sistema di comunicazione per il monitoraggio da remoto

2.5. CAN BUS

Tutti gli elementi del sistema MOBAS 4.0 e in generale nei veicoli, sono connessi tramite il CAN BUS.

CAN è l'acronimo della cosiddetta tecnologia Controller Area Network, uno standard di serie per 'bus' di campo in ambito prevalentemente automotive di tipo multicast. 'Bus' in gergo elettronico equivale a collettore (canale di raccolta dei dati).

Si tratta di un vero e proprio protocollo di rete di bordo paragonabile alle reti LAN per i PC. Questo impianto elettrico intelligente trasmette dati in modo diverso in confronto alle vecchie centraline. Rispetto alle centraline del passato quelle di oggi montate sui veicoli sono del tutto simili a personal computer: hanno un proprio sistema operativo, un programma da eseguire e sono collegate in rete tra loro. L'obiettivo è uno solo: la condivisione delle informazioni.

Prima dell'avvento del Can BUS ogni sistema lavorava indipendentemente dall'altro. Ad esempio la centralina ABS doveva sfruttare 4 sensori (per altrettante ruote) allo scopo di misurare la velocità delle ruote, mentre la centralina di iniezione con il suo sensore di velocità (in genere, sul cambio) per monitora la velocità dell'auto. Questo implicava un totale di 5 sensori, 5 cablaggi. In un veicolo dotato di sistema CAN-bus si ha che la centralina ABS calcola la velocità dell'auto e la comunica al body computer che comunicherà questo dato a tutte le centraline a cui necessita (gestione motore, cruscotto, climatizzazione, sistema satellitare, ecc.). Rispetto al precedente esempio avremo 4 sensori e 4 cablaggi (dell'ABS) ed ogni centralina riceve l'informazione necessaria.

La comunicazione e condivisione dei dati non si limita all'informazione della velocità, ma vale per qualsiasi segnale. Per esempio, nel caso del numero di giri, questo sarà rilevato dalla centralina di gestione del motore e condiviso con il cruscotto ed altre centraline che necessitano di questa informazione.

Ogni auto ha il suo livello di 'condivisione dati': il sistema di dialogo con centralizzazione delle informazioni è in grado di controllare anche l'emissione della corrente per l'illuminazione e di mantenere stabili dati come assorbimento o tensione.

Il sistema CAN Bus quindi viene utilizzato per collegare più sistemi di controllo in un'unica grande rete. Utilizza più nodi master per la gestione dei vari nodi slave. Il CAN Bus si basa su messaggi e nodi di rete che non richiedono indirizzi specifici. I collegamenti sono realizzati tramite un bus fisico (bus filiare, di solito un doppino). I nodi non hanno un numero specifico e può essere modificato in qualsiasi momento senza disturbare la comunicazione del resto del sistema. Per la codificazione dei bit, il CAN usa la codifica NRZ (Non return to Zero) per la comunicazione dati su bus differenziale bifilare. Il ruolo principale del CAN Bus è quello di fungere da sicurezza, come cavo di controllo dell'intero veicolo, inoltre è anche responsabile del funzionamento dell'automazione in varie parti dell'auto. Deve gestire il lavoro e il funzionamento di tutti i componenti e avvisare il conducente di eventuali guasti.

I principali vantaggi ottenuti con l'introduzione del CAN Bus sono:

- ridotto tempo di progettazione (componenti e strumenti immediatamente disponibili, da più fornitori);

- minori costi dei collegamenti (cavi e connettori più leggeri e più piccoli);
- affidabilità incrementata (minor numero di collegamenti).

Nella tabella di seguito si riportano le proprietà principali che caratterizzano un CAN bus.

Multimaster	Tutte le unità che sono connesse al bus CAN possono spedire i loro messaggi. Il messaggio trasmesso per primo sarà quello che arriverà per primo a destinazione. Se più unità spediscono simultaneamente l'informazione, quella con maggior priorità (ID) sarà la prima ad essere esaminata.
Trasmissione del messaggio	I messaggi trasmessi hanno una forma particolare. Nello specifico ogni unità è identificata da un fattore di priorità. Quel con la priorità maggiore può continuare a spedire messaggi nel caso di messaggi simultanei nel tempo.
Confinamento degli Errori	Capacità di individuazione di errori e comunicazione istantanea a tutte le unità. È stato calcolato che una rete basata su CAN bus a 1 Mbit/s, con un'utilizzazione media del bus del 50%, una lunghezza media dei messaggi di 80 bit e un tempo di lavorazione di 8 ore al giorno per 365 giorni l'anno, avrà un errore non rilevato ogni 1000 anni. Praticamente la rete non è soggetta ad errori durante la sua vita. Questo è il maggior punto di forza di questo bus. Ciascun nodo è in grado di rilevare il proprio malfunzionamento e di autoescludersi dal bus se questo è permanente. Questo è uno dei meccanismi che consentono alla tecnologia CAN di mantenere la rigidità delle temporizzazioni, impedendo che un solo nodo metta in crisi l'intero sistema.
Tempi di risposta rigidi	Specificità fondamentale nel controllo di processo: la tecnologia CAN prevede molti strumenti hardware e software e sistemi di sviluppo per protocolli ad alto livello (il bus CAN implementa solo i primi due livelli della pila ISO-OSI) che consentono di connettere un elevato numero di dispositivi mantenendo stringenti vincoli temporali.
Semplicità e flessibilità di cablaggio	CAN è un bus seriale tipicamente implementato su un doppino intrecciato (schermato o meno a seconda delle esigenze). I nodi non hanno un indirizzo che li identifichi e possono quindi essere aggiunti o rimossi senza dover riorganizzare il sistema o una sua parte.
Alta immunità ai disturbi	Lo standard ISO11898 raccomanda che i chips di interfaccia possano continuare a comunicare anche in condizioni estreme, come l'interruzione di uno dei due fili o il cortocircuito di uno di essi con massa o con l'alimentazione.
Elevata affidabilità	La rilevazione degli errori e la richiesta di ritrasmissione viene gestita direttamente dall'hardware con cinque diversi metodi (due a livello di bit e tre a livello di messaggio).
Maturità dello standard	La larga diffusione del protocollo CAN in questi venti anni ha determinato un'ampia Disponibilità di chip rice-trasmittitori, di microcontrollori che integrano porte CAN, di tools di sviluppo, oltre che una sensibile diminuzione del costo di questi sistemi. Questo è molto importante per far sì che uno standard si affermi nell'ambito industriale.

3. Caratterizzazione dell’algoritmo per l’ottimizzazione energetica nei EV

Sulla base degli studi eseguiti il gruppo di lavoro ha sviluppato un algoritmo per l’estensione della durata di vita delle batterie e della autonomia di autobus elettrici.

L’algoritmo di gestione dell’energia implementato si basa sul concetto di riserva di energia del modulo batteria: in genere quando il carburante – ossia la riserva di energia residua - scende sotto un determinato valore, è necessario modificare lo stile di guida per migliorare l’autonomia del veicolo. In tali condizioni, di norma, un conducente attento sarà propenso a modulare lo stile di guida in modo da ridurre i consumi, ad esempio riducendo la velocità o evitando forti accelerazioni.

L’algoritmo fa proprio questo “modo di pensare” intercettando i comandi del driver e ridurre lo sfruttamento della batteria diminuendo la velocità e/o l’accelerazione del veicolo. Per emulare questo tipo di comportamento, è stato realizzato un sistema di gestione (Figura 8) che interviene quando lo stato di carica della batteria (SoC) è troppo basso (tipicamente, 35 ÷ 20%).

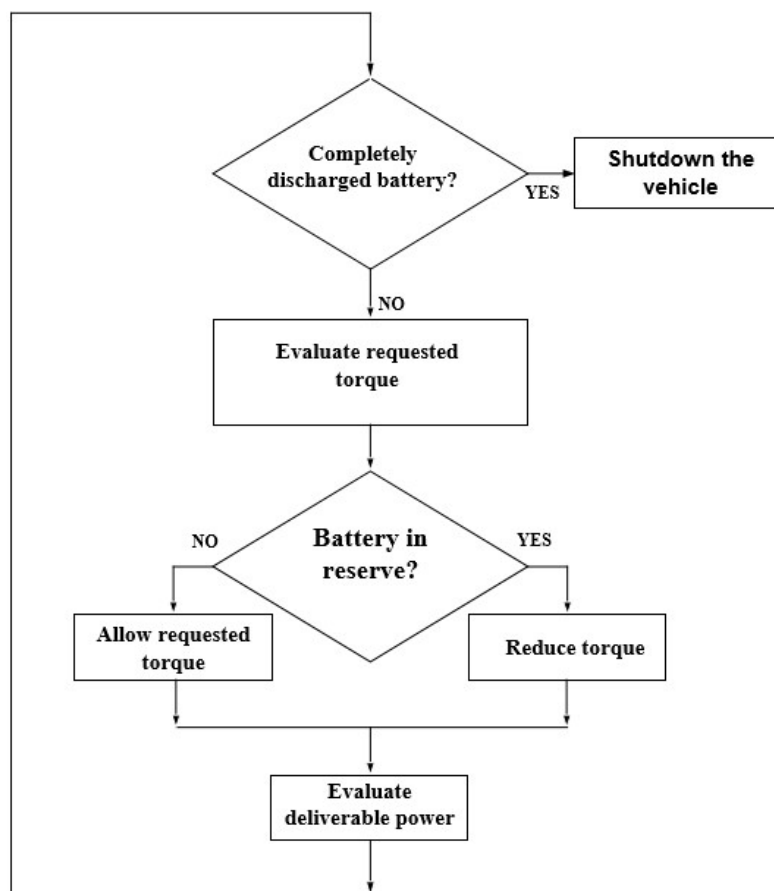


Figura 8. Schema di flusso dell’algoritmo per la gestione energetica del prototipo di bus elettrico

L'algoritmo di gestione energetica è implementato sulla vehicle control unit (VCU) del powertrain del bus elettrico di MOBAS 4.0; attraverso il protocollo di comunicazione CAN bus, la VCU comunica sia con il battery management system (BMS) ricevendo informazioni sullo stato dei moduli di batteria (SoC, SoH, temperatura, tensione, corrente, ecc.) sia con l'inverter a cui fornisce i comandi di coppia che il conducente ha richiesto con il pedale dell'acceleratore elettronico.



Figura 9. VCU del bus elettrico di MOBAS 4.0

Come evidenziato in Figura 9, la VCU riceve il livello di coppia richiesto dal conducente. Sulla base di tale richiesta, essa andrà a richiedere il livello di energia disponibile da parte del modulo batteria comunicando con il BMS: se tale livello è superiore alla soglia prestabilita, erogherà la coppia richiesta, viceversa provvederà a ridurre la coppia che chiederà all'inverter di far erogare al motore.

L'algoritmo termina imponendo lo spegnimento del veicolo qualora la VCU rilevi, a seguito della stima della potenza disponibile del modulo, che la batteria sia completamente scarica.