

POLITECNICO DI TORINO
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA MECCANICA E
AEROSPAZIALE

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Biomedica
Tesi di Laurea Magistrale

Characterization of high voltage
components for automotive application
in high acceleration environment



RELATORE:

Prof.ssa Cristina BIGNARDI

CANDIDATO:

Raffaele DELLA CASA

SUPERVISORE AZIENDALE:



Ing. Matteo Giunti

Anno accademico: 2019/2020

A nonna Rina e nonna Fifina

Indice

Abstract	1
Introduzione	2
1 Tipologie di veicoli elettrici	4
1.1 Mild Hybrid Electric Vehicle (MHEV)	6
1.2 Hybrid Electric Vehicle (HEV)	7
1.2.1 HEV in serie	8
1.2.2 HEV in parallelo	8
1.2.3 HEV misti	9
1.3 Plug-in Hybrid Electric Vehicle (P-HEV)	9
1.4 Battery Electric Vehicle (BEV)	10
2 Componentistica ad Alto Voltaggio	12
2.1 Batterie	13
2.1.1 Chimica delle batterie	15
2.1.2 Battery Management System (BMS)	18
2.1.3 Dispositivi di sicurezza batteria	19
2.2 Charger	23
2.2.1 Modalità 1	23
2.2.2 Modalità 2	24
2.2.3 Modalità 3	25
2.2.4 Modalità 4	25
2.3 DC/DC Converter	26
2.4 PIM: Power Inverter Module	27
2.5 Motore elettrico	27
2.5.1 Motore elettrico asincrono trifase	28
2.5.2 Motore elettrico sincrono a magneti permanenti (Brushless)	28
2.5.3 Classificazione in base alla posizione del motore elettrico	29
2.6 Dispositivi di controllo della temperatura	30

3	Sistema di comunicazione tra componenti del veicolo	32
3.1	Controller Area Network	32
3.1.1	Mezzo trasmissivo	34
3.1.2	Struttura nodo CAN	35
3.1.3	Trasmissione dati	36
3.1.4	Gestione degli errori	37
3.2	Local Interconnect Network	39
3.2.1	Architettura della rete	40
4	Prova in slitta	41
4.1	Piatto slitta	44
4.2	Quick Change System	44
4.2.1	Front Frame Assembly	46
4.2.2	Mount Blocks	46
4.2.3	H-Frame	47
5	Prove preliminari svolte	48
5.1	Prova batteria 12 V	48
5.2	Prova teleruttore	48
5.2.1	Urto frontale	53
5.2.2	Urto laterale	56
5.2.3	Urto posteriore	58
6	Progettazione prova in slitta HV	60
6.1	Condizioni di prova	61
6.2	Progettazione telaio di supporto	62
6.2.1	Prima versione telaio di supporto	64
6.2.2	Seconda versione telaio di supporto	66
6.2.3	Dimensionamento sistema sgancio rapido	68
	Conclusioni	71
	Bibliografia	74

Elenco delle figure

1	Standard di emissioni di CO_2 nel 2020 nei diversi Paesi.	3
1.1	Layout veicolo puramente termico.	4
1.2	Layout veicolo ibrido.	5
1.3	Layout veicolo completamente elettrico.	5
1.4	Configurazione veicolo Mild Hybrid.	6
1.5	Configurazione veicolo ibrido.	7
1.6	Configurazione veicolo ibrido in serie.	8
1.7	Configurazione veicolo ibrido in parallelo.	9
1.8	Esempio di P-HEV (Toyota Prius).	9
1.9	Esempio veicolo completamente elettrico.	10
2.1	Schema componenti alta tensione.	12
2.2	Batterie HV per veicolo ibrido/elettrico.	13
2.3	Esempio collegamento in serie di una batteria.	14
2.4	Esempio collegamento in parallelo di una batteria.	15
2.5	Esempio collegamento serie-parallelo di una batteria.	15
2.6	Chimica batteria Pb-acido.	16
2.7	Chimica batteria Ni-MH.	16
2.8	Chimica batteria agli ioni di litio.	17
2.9	Grafico corrente-tempo fusibile.	20
2.10	Tipologie fusibili.	20
2.11	Schema teleruttore.	21
2.12	Funzionamento teleruttore.	22
2.13	Modalità 1 di ricarica.	24
2.14	Modalità 2 di ricarica.	24
2.15	Modalità 3 di ricarica.	25
2.16	Modalità 4 di ricarica.	25
2.17	Convertitore DC/DC.	26
2.18	Schema DC/AC inverter.	27
2.19	Schema motore elettrico.	27

2.20	Motore elettrico asincrono trifase.	28
2.21	Motore elettrico sincrono a magneti permanenti.	29
2.22	Classificazione in base alla posizione del motore elettrico.	29
2.23	Configurazione veicolo ibrido P1f + P4.	30
2.24	Sistema di controllo della temperatura	31
3.1	Esempio CAN.	33
3.2	Collegamento dispositivi.	34
3.3	Doppino intrecciato.	35
3.4	Struttura singolo nodo CAN.	36
3.5	Esempio rappresentazione bit dominante/recessivo.	36
3.6	LIN.	39
3.7	Esempio architettura MultiPlex Distribuita.	40
4.1	Componenti ServoSled Syystem.	41
4.2	Componenti ServoSled Syystem.	42
4.3	Piatto della slitta.	44
4.4	Quick Change System montato sulla slitta.	45
4.5	Diagramma di capacità del Quick Change System.	45
4.6	Front Frame Assembly.	46
4.7	Configurazione Mount Block/H-Frame.	47
4.8	H-Frame.	47
5.1	Possibili caratteristiche della tensione nel teleruttore.	49
5.2	Schematizzazione prova su teleruttore.	51
5.3	Sovrapposizione segnali accelerometri slitta e accelerometri sistema da testare (direzione x)	51
5.4	Layout prova urto frontale.	53
5.5	Pulse urto frontale barriera rigida a $56 \left[\frac{km}{h} \right]$	53
5.6	Monitor di tensione su batteria per prova di urto frontale.	54
5.7	Sovrapposizione segnale monitor di tensione e pulse per prova di urto frontale.	55
5.8	Layout prova urto laterale.	56
5.9	Pulse urto laterale.	56
5.10	Monitor di tensione su batteria per prova di urto laterale.	57
5.11	Layout prova urto posteriore.	58
5.12	Pulse urto posteriore.	58
5.13	Sovrapposizione segnale monitor di tensione e pulse per prova di urto posteriore.	59
6.1	Curva minima e massima dell'impulso di prova.	62
6.2	Riproduzione piatto slitta con telaio di base.	62

6.3	Versione 1.0 struttura.	64
6.4	Versione 1.1 struttura.	64
6.5	Versione 1.2 struttura.	65
6.6	Versione 2.0 struttura	66
6.7	Vista laterale versione 2.0 struttura	67
6.8	Vista laterale incastro versione 2.0 struttura	67
6.9	Vista dall'alto incastro versione 2.0 struttura	68
6.10	Sezione accoppiamento foro-perno	69
6.11	Schema valutazione forza componente verticale	69

Elenco delle tabelle

2.1	Modalità di ricarica.	23
4.1	Caratteristiche 3.1 MN ServoSled	43
5.1	Segnali monitorati test teleruttore.	52
6.1	Valori accelerazione/decelerazione curva minima e massima impulso di prova.	61
6.2	Pesi componenti da testare.	63

Abstract

La diffusione sempre maggiore di veicoli ibridi ed elettrici e quindi l'esposizione a problematiche per gli occupanti del veicolo derivanti dai componenti ad alta tensione presenti ha portato alla necessità di individuare nuovi standard di sicurezza. Scopo di questo progetto di ricerca tesi è stato quello di studiare la componentistica ad alto voltaggio all'interno di veicoli ibridi e la progettazione di alcune prove per verificare la loro sicurezza nel momento in cui si trovano a dover sopportare elevate decelerazioni e conseguenti forze d'inerzia derivanti dal loro peso. Per fare ciò è stata sfruttata la slitta ad alte decelerazioni presente nel Centro di Sicurezza Fiat di Orbassano, la quale permette di simulare diverse tipologie di urto. Il componente di maggior interesse dal punto di vista della sicurezza è sicuramente la batteria ad alto voltaggio, la quale possiede al suo interno 400 [V], ed è per questa ragione che sono state svolte delle prove su sottosistemi della batteria stessa per capire la loro reazione alle forze d'inerzia. Infine è stata effettuata la progettazione di una prova che comprende, invece, tutti i componenti ad alto voltaggio presenti all'interno di un veicolo ibrido/elettrico, tale progettazione consta del dimensionamento del sistema di fissaggio con la slitta e delle procedure necessarie in caso di pericolo per gli operatori e per gli oggetti nelle vicinanze del luogo di svolgimento della prova.

Introduzione

Negli ultimi anni la crescente preoccupazione per l'inquinamento causato dall'emissione di gas nocivi e il conseguente sviluppo tecnologico di sistemi di stoccaggio dell'energia elettrica sempre più performanti e di dimensioni contenute hanno portato le casa automobilistiche ad orientare la propria ricerca e produzione verso i veicoli elettrici.

La ricerca punta a sostituire completamente i veicoli con motori a combustione interna che utilizzano come fonte di energia combustibili fossili, i quali presentano svantaggi quali:

- alto consumo di carburante
- uso inefficace dell'energia

Queste problematiche sono direttamente correlate all'aumento della produzione di CO_2 (anidride carbonica), gas che contribuisce al fenomeno del *riscaldamento globale* e ad accentuare i suoi effetti negativi sul nostro pianeta.

I veicolo MCI sono inoltre affetti da altre problematiche come:

- emissioni nocive
 - CO (monossido di carbonio)
 - HC (idrocarburi)
 - NO_x (ossido d'azoto)
 - PM_{10} (particelle)
- emissioni acustiche

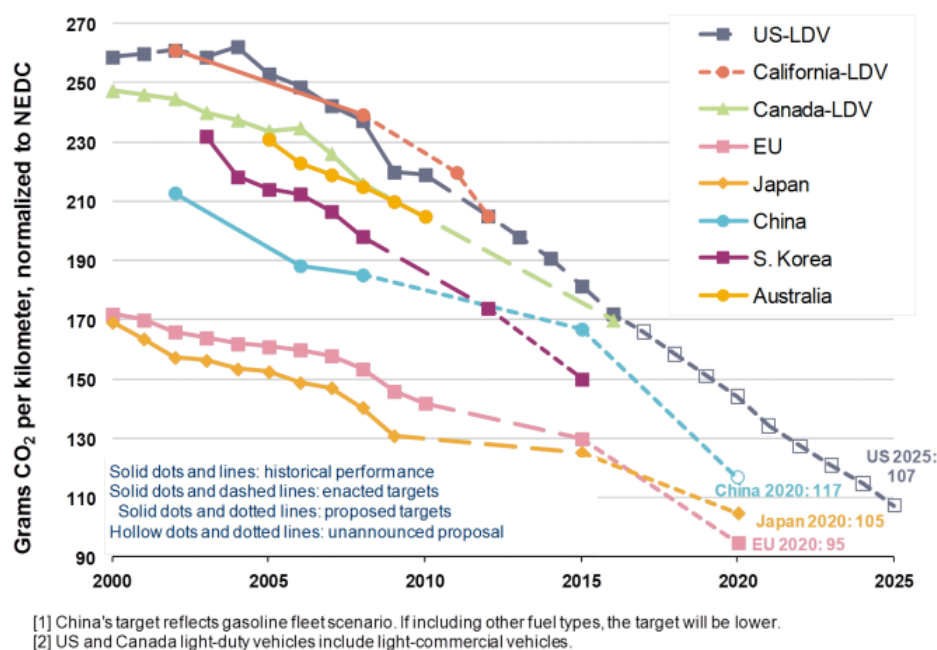


Figura 1: Standard di emissioni di CO_2 nel 2020 nei diversi Paesi.

Per porre un freno ed incentivare la riduzione di sostanze inquinanti nel 2014 il Parlamento Europeo e il Consiglio dell'Unione Europea hanno definito le modalità di conseguimento dell'obiettivo 2020 ($95 \text{ gCO}_2/\text{km}$) per ridurre le emissioni inquinanti (Fig. 1).

L'incentivo degli Stati nella produzione di veicoli elettrici è fondamentale per un rapido progresso, che porterebbe a veicoli:

- zero emissioni nocive
- zero emissioni di CO_2
- bassissime emissioni acustiche

Un altro aspetto importante da tenere in considerazione per compiere il passaggio da veicoli con propulsione derivante da combustibili fossili a veicoli con propulsione elettrica è quello di garantire la sicurezza degli occupanti del veicolo e tutto ciò che lo circonda in quanto con veicoli elettrici un ulteriore pericolo è la forte presenza di componenti elettrificati.

È proprio in questo campo che si pone il Centro Sicurezza Fiat, in quale si prefigge l'obiettivo di verificare che i veicoli prodotti dal gruppo FCA risultino sicuri e che rispettino i canoni omologativi imposti dalle norme.

Capitolo 1

Tipologie di veicoli elettrici

I bisogni delle cause automobilistiche e dei privati (utilizzatori finali del prodotto) in termini di nuove produzioni differiscono tra di loro e ovviamente per immettere un nuovo prodotto sul mercato è necessario che si trovi un compromesso tra i bisogni di entrambi. È per questa ragione che la transizione a veicoli completamente elettrici è stata graduale ed è possibile individuare quattro categorie di veicoli:

- **MHEV** (Mild Hybrid Electric Vehicle)
- **HEV** (Hybrid Electric Vehicle)
- **P-HEV** (Plug-in Hybrid Electric Vehicle)
- **BEV** (Battery Electric Vehicle)

Tra i veicoli tradizionali (MCI) e i veicoli ibridi o completamente elettrici la differenza principale è dal punto di vista del layout:

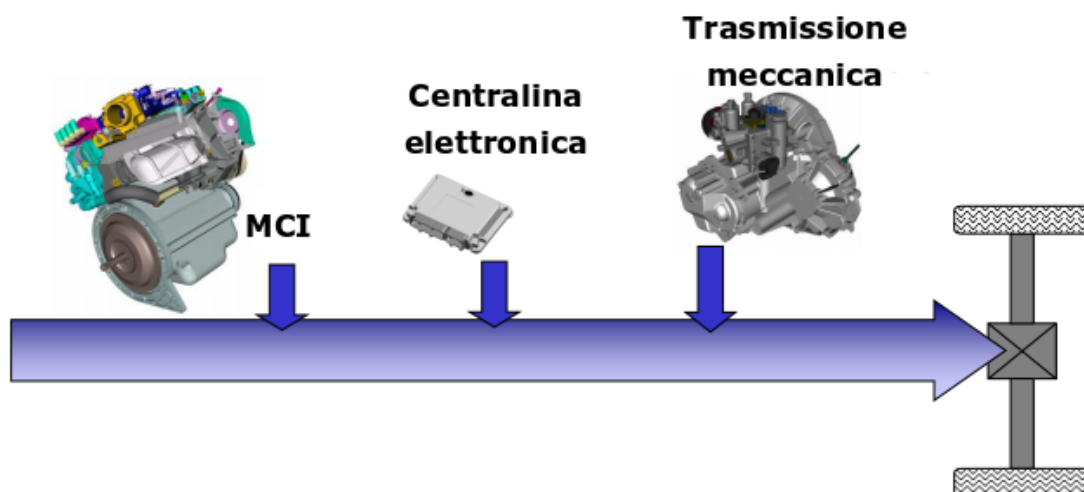


Figura 1.1: Layout veicolo puramente termico.

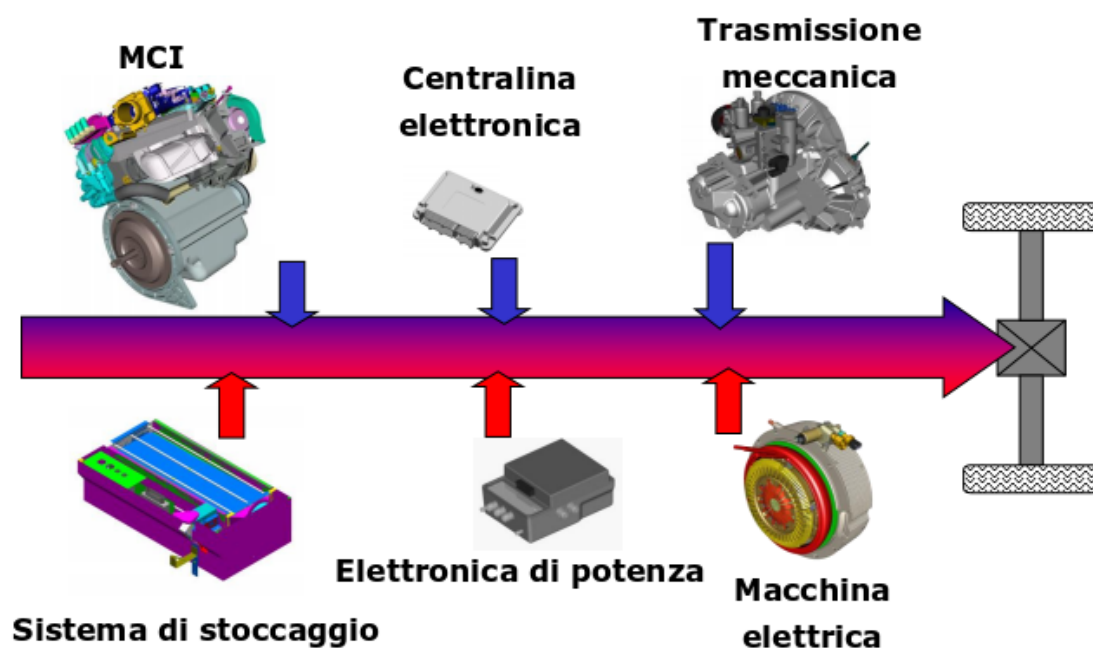


Figura 1.2: Layout veicolo ibrido.

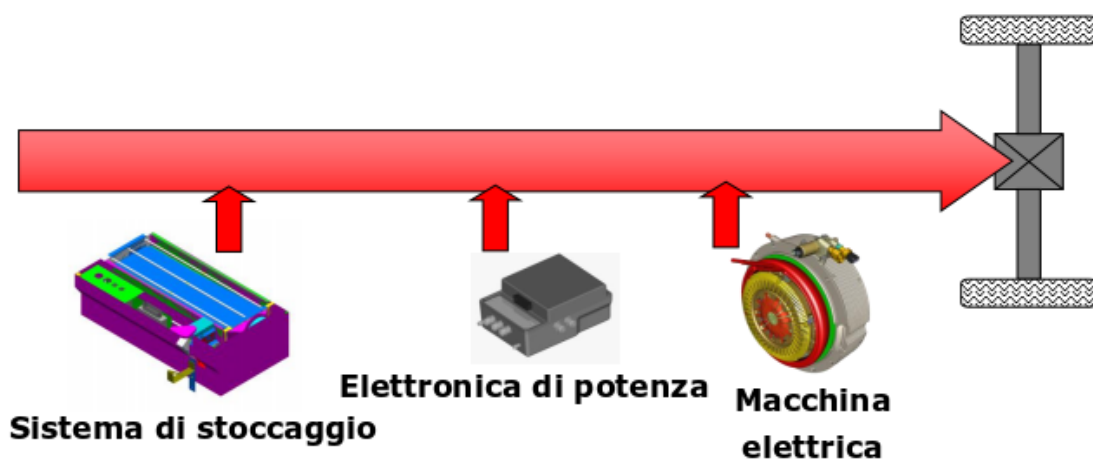


Figura 1.3: Layout veicolo completamente elettrico.

Come facilmente si evince dalle figure 1.2, 1.3, i veicoli ibridi e quelli completamente elettrici presentano una batteria ad alta tensione collegata ad un motore elettrico. Nel caso dei veicoli ibridi la batteria ad alta tensione e il motore elettrico sono di supporto al sistema di trazione termico, nel caso di veicoli completamente elettrici, invece, il serbatoio del carburante è sostituito dalla batteria ad alto voltaggio e il motore termico è sostituito dal motore elettrico.

1.1 Mild Hybrid Electric Vehicle (MHEV)

Il primo passo evolutivo verso i veicoli elettrici è stato il Mild HEV, esso presenta un comparto elettrico affiancato al tradizionale motore a combustione interna. Il generatore/motore elettrico si trova nella posizione dell'alternatore o tra la trasmissione e il motore (Fig. 1.4).

Il comparto elettrico è formato da:

- un generatore/motore elettrico, posizionato o al posto dell'alternatore o tra la trasmissione meccanica e il motore
- una batteria al Litio da 48 V
- un convertitore DC/DC 48-12 V

Tutto il comparto elettrico è di dimensioni molto contenute e potenza massima di pochi kW , quindi non permette di percorrere molti km in modalità elettrico e soprattutto con prestazioni ridotte. Il motore elettrico in questa soluzione svolge principalmente due ruoli:

- ricaricare la batteria in fase di frenata (**frenata rigenerativa**)
- supportare il motore termico in fase di partenza (**Start&Stop**)

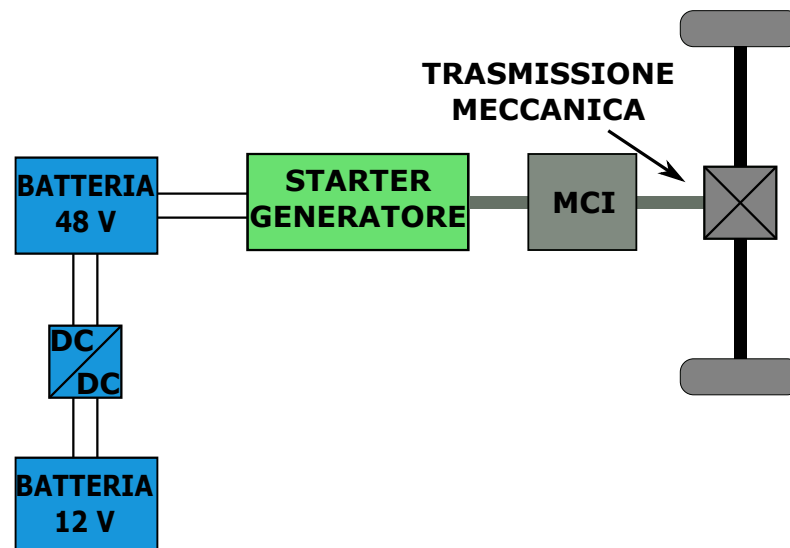


Figura 1.4: Configurazione veicolo Mild Hybrid.

1.2 Hybrid Electric Vehicle (HEV)

Un veicolo ibrido (Fig. 1.5) è caratterizzato dalla presenza di un sistema di propulsione formato da due o più componenti, generalmente un motore termico e uno o due motori elettrici che hanno la funzione di supportare il motore termico.

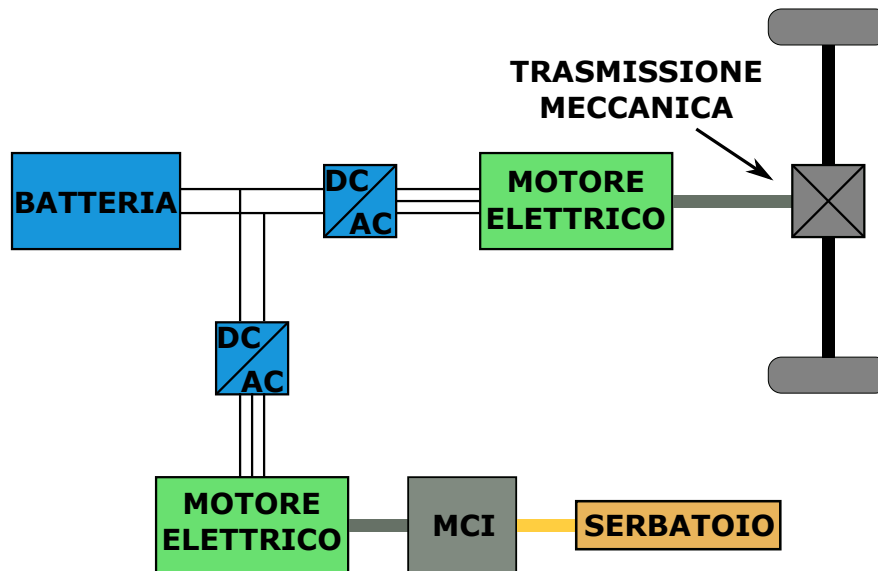


Figura 1.5: Configurazione veicolo ibrido.

I componenti principali di un HEV sono:

- **Serbatoio carburante:** fonte primaria di energia del veicolo
- **Motore a combustione interna (MCI):** fornisce la propulsione principale al veicolo
- **Motore elettrico:** di dimensioni e potenza inferiore rispetto al MCI. Funzionano sia come motori sia come generatori per recuperare energia e inoltre sono progettati per aumentare l'efficienza e ridurre le emissioni nocive
- **Pacco batterie:** sistema di accumulo secondario del veicolo, generalmente batterie al Litio a 400 V
- **Convertitore DC/DC:** converte tensione da 400 V a 12 V
- **Trasmissione:** formata da frizione e cambio per il MCI

I veicoli ibridi possono presentare tre differenti layout dei proprio componenti:

- ibridi in serie
- ibridi in parallelo
- ibridi misti

1.2.1 HEV in serie

I veicoli ibridi in serie (Fig. 1.6) non presentano un collegamento meccanico tra le ruote e il motore termico, al quale è affidato il compito di azionare il generatore che converte l'energia meccanica del motore termico in corrente alternata così da ricaricare il pacco batterie. Le batterie forniscono l'energia elettrica necessaria al motore elettrico il quale tramite la trasmissione meccanica in fine aziona le ruote.

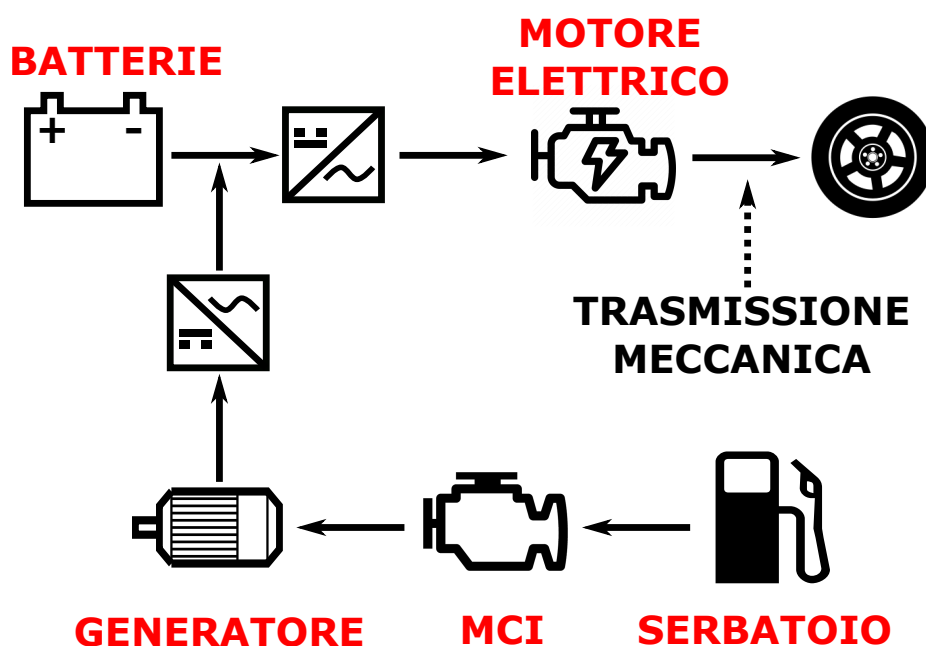


Figura 1.6: Configurazione veicolo ibrido in serie.

Le perdite di efficienza in questa configurazione sono abbastanza elevate in quanto l'energia viene trasformata due volte: una prima volta da meccanica ad elettrica all'interno del generatore e una seconda volta da elettrica a meccanica nel motore elettrico.

1.2.2 HEV in parallelo

I veicoli ibridi in parallelo (Fig. 1.7) presentano sia un motore termico sia un motore elettrico, entrambi connessi alle ruote da una trasmissione meccanica. Tale configurazione permette dunque di utilizzare i due sistemi in maniera congiunta e di avere un aumento delle prestazioni.

Il motore elettrico dunque ha la funzione di aumentare la coppia motrice derivante dal motore termico.

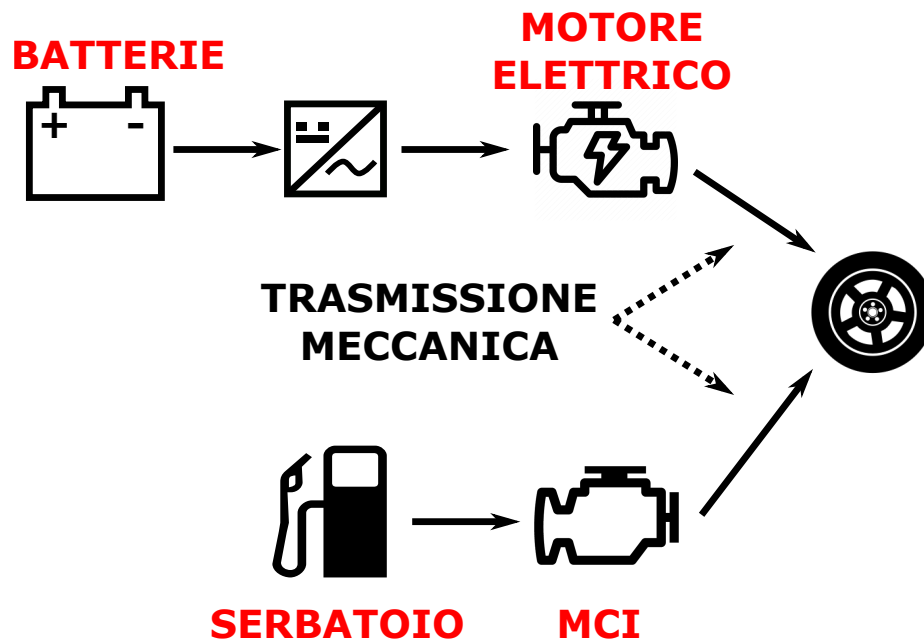


Figura 1.7: Configurazione veicolo ibrido in parallelo.

1.2.3 HEV misti

I veicoli ibridi misti presentano i vantaggi di tutte e due le altre configurazioni, con lo svantaggio però di avere maggiori costi di realizzazione e una maggior complessità meccanica. Questa soluzione permette di passare da una configurazione ad un'altra a seconda di quelle che sono le necessità.

1.3 Plug-in Hybrid Electric Vehicle (P-HEV)

I veicoli ibridi plug-in rispetto ad un classico veicolo ibrido presentano un pacco batterie che può essere ricaricato, oltre che dal motore termico, anche da un'altra fonte di energia elettrica esterna al veicolo tramite l'ausilio di un cavo di ricarica (Fig. 1.8).



Figura 1.8: Esempio di P-HEV (Toyota Prius).

Le batterie presenti su questi veicoli sono maggiormente performanti e rispetto alle tipiche batterie montate su veicoli elettrici permettono un'autonomia di viaggio modalità completamente elettrica superiore, tra i 50 e i 60 km.

La ricarica delle batterie è possibile sia tramite al motore termico, durante la frenata, sia collegando le batterie ad una fonte esterna di energia elettrica che può essere rappresentata o dalle colonnine di rifornimento pubbliche o dalla rete elettrica domestica.

Al momento questa rappresenta la soluzione maggiormente adottata dalle case automobilistiche in termini di veicoli ibridi.

1.4 Battery Electric Vehicle (BEV)

Il BEV rappresenta il vero veicolo green in quanto non presenta alcuna fonte di energia che non sia elettrica e quindi potenzialmente è un veicolo ad emissione zero (Fig. 1.9).

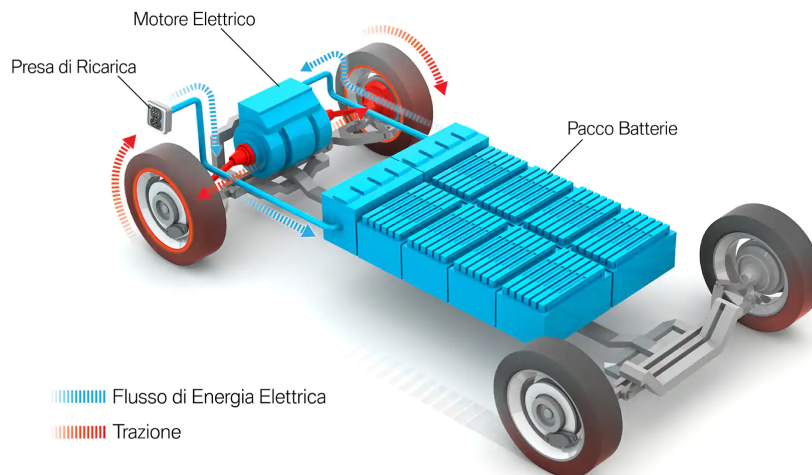


Figura 1.9: Esempio veicolo completamente elettrico.

In questo caso si ha un motore elettrico collegato alle ruote tramite una trasmissione meccanica che prende l'energia per funzionare da un corposo sistema d'immagazzinamento di energia elettrica rappresentato al pacco batterie. Avendo delle batterie maggiorate rispetto ad un veicolo ibrido si riesce ad ottenere un'autonomia di 120-150 km.

I vantaggi principali di questo veicolo rispetto ad un veicolo con motore a combustione interna sono:

- emissioni zero
- inquinamento acustico ridotto (quasi zero alle basse velocità)
- parziale recupero dell'energia tramite il sistema di frenata rigenerativa
- manutenzione esigua

Di contro, però, sono presenti anche numerosi svantaggi:

- autonomia limitata (120-150 *km*)
- velocità massima limitata (110-120 *km/h*)
- peso batterie elevato (120-180 *kg*)
- costo d'acquisto superiore rispetto ai veicoli tradizionali
- lunghi tempi di ricarica (4-8 *h*)
- mancanza di colonnine pubbliche per la ricarica

Capitolo 2

Componentistica ad Alto Voltaggio

Quando si parla di veicoli ibridi o completamente elettrici è necessario fare una panoramica dei componenti che li compongono e soprattutto dei componenti ad alto voltaggio (HV: high voltage), i quali dal punto di vista della sicurezza rappresentano i componenti più delicati.

Anche nelle auto tradizionali sono presenti componenti elettrici (esempio: batteria di avviamento o per le utenze da 12 V) solo che sono considerati a bassa tensione ($\Delta V < 60\text{ V}$), quindi la loro pericolosità risulta inferiore rispetto ai componenti ad alto voltaggio ($\Delta V > 60\text{ V}$).

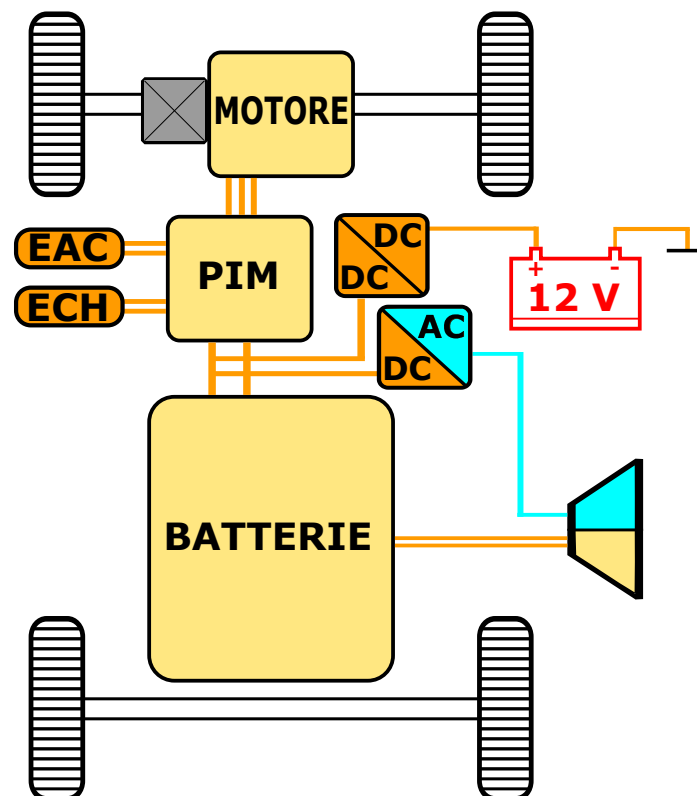


Figura 2.1: Schema componenti alta tensione.

I componenti principali che andremo ad analizzare sono (Fig. 2.1):

- **Batterie**
- **Charger**
- **DC/DC Converter**
- **PIM: Power Inverter Module**
- **Motore elettrico**
- **Dispositivi per il controllo della temperatura: ECH e EAC**

2.1 Batterie

Le batterie delle auto elettriche, come quasi tutte le batterie, si basano sul passaggio di elettroni avvenuto a seguito di una reazione di ossidoriduzione.

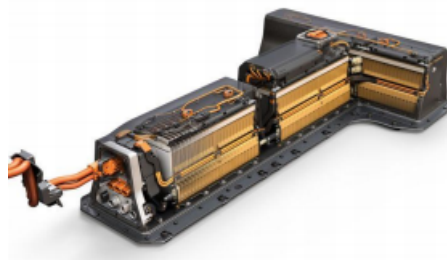


Figura 2.2: Batterie HV per veicolo ibrido/elettrico.

La cella elementare di una batteria per avere un corretto funzionamento deve avere necessariamente quattro componenti:

- **Anodo:** polo negativo
- **Catodo:** polo positivo
- **Elettrolita:** conduttore di ioni (particella carica), ma isolante per gli elettroni. Separa i due elettrodi e fornisce il mezzo per il trasferimento degli ioni tra anodo e catodo.
- **Separatore:** membrana porosa che evita i cortocircuiti, ma permette il transito degli ioni da un elettrodo all'altro

Nella fase di carica l'elettrodo positivo (catodo) viene ossidato con conseguente riduzione dell'elettrodo negativo (anodo) quindi si ha che gli ioni passano da catodo ad anodo, in fase di scarica, invece, avviene il contrario.

I parametri che caratterizzano una batteria e che bisogna individuare a seconda dell'applicazione che si vuole ottenere sono:

- **Tensione nominale:** si esprime in V e indica il lavoro che può compiere l'unità di carica elettrica nel passare dal polo positivo a quello negativo. Il suo valore ci dice anche se stiamo lavorando con batterie a basso voltaggio o ad alto voltaggio ($\Delta V > 60V$) e quindi anche la pericolosità
- **Capacità nominale:** si esprime di Ah ed esprime il numero di ore a cui la batteria può lavorare ad una determinata corrente
- **Scarica massima:** si esprime di A e indica la corrente massima che la batteria può erogare per un breve lasso di tempo (generalmente dell'ordine di qualche secondo)
- **Potenza nominale:** si esprime di Wh e indica la potenza della batteria, ci dà indicazione della quantità di energia presente all'interno della batteria e dipende dalla tensione di lavoro
- **Cicli di vita:** indica il numero di cicli di scarica che una batteria può compiere prima di iniziare a perdere le sue prestazioni di fabbrica (passa ad avere una durata di circa l'80 % rispetto a quando è stata prodotta)
- **Dimensioni geometriche:** dimensioni fisiche della batteria, informazione fondamentale soprattutto nel campo automobilistico quando gli alloggiamenti hanno dimensioni ben definite

Le batterie per auto dato che devono raggiungere valori di *tensione nominale* e *capacità nominale* elevati sono costituite da celle elementari poste tra loro in serie o in parallelo [1].

- **Collegamento in serie:** si collega il polo positivo di una cella elementare con quello negativo di un'altra cella e si va ad aumentare la tensione del sistema (Fig. 2.3). In questo modo la tensione totale è la somma delle tensioni di ogni elemento.

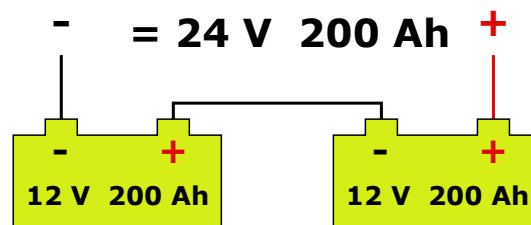


Figura 2.3: Esempio collegamento in serie di una batteria.

- **Collegamento in parallelo:** il polo positivo di una cella elementare e quello positivo di un'altra cella e polo negativo con polo negativo (Fig. 2.4). In questo modo si va ad aumentare la capacità totale del sistema, la capacità totale risulta essere la somma delle capacità di ogni elemento.

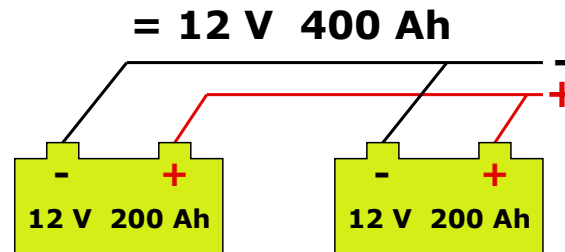


Figura 2.4: Esempio collegamento in parallelo di una batteria.

- **Collegamento serie-parallelo:** combinando i due metodi si riescono ad ottenere i valori desiderati di tensione e capacità (Fig. 2.5).

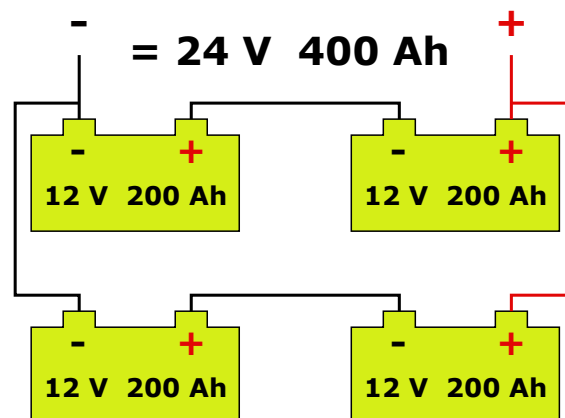


Figura 2.5: Esempio collegamento serie-parallelo di una batteria.

2.1.1 Chimica delle batterie

Esistono diversi modi di sfruttare le reazioni chimiche della cella elettrolitica, ad ognuno di queste corrispondono diverse composizioni e prestazioni. Le più diffuse e performanti risultano essere le batterie agli *ioni di litio*.

Piombo-acido (Pb-acido)

È la tipologia di batteria ricaricabile più antica (concepita nel 1859), principalmente utilizzata su veicoli a motore per l'avviamento del motore termico ed alimentare le utenze elettriche di bordo.

Il catodo è di ossido di piombo (PbO_2) e l'anodo di piombo spugnoso (Pb), l'elettrolita,

invece, è formato da una soluzione di acido solforico (H_2SO_4) diluito in acqua distillata (H_2O) (Fig. 2.6).

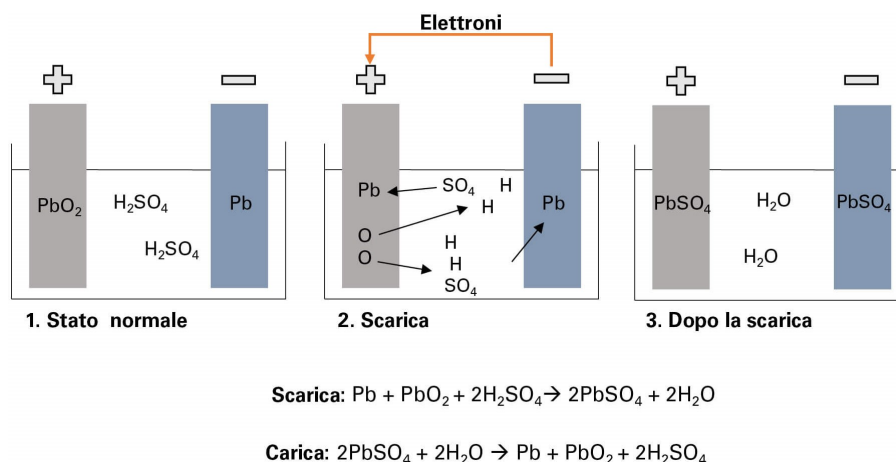


Figura 2.6: Chimica batteria Pb-acido.

La tensione di cella è di circa 2 V. Quindi per ottenere una batteria per utenza di 12 V si mettono in serie 6 celle.

Il vantaggio principale di questa tipologia di batteria è rappresentato dal suo costo molto ridotto rispetto ad altre tipologie di batterie. Tuttavia risulta una batteria molto pesante a causa del peso stesso dei materiali che la compongono e, inoltre, presenta il pericolo di fuoriuscita dell'elettrolita in quanto nelle batterie ad alte capacità le celle non sono sigillate.

Nichel-Idruri metallici (Ni-MH)

Sono batterie formate da un catodo composto da una lamina di ossidi di nichel ($NiOOH$), un anodo composto da un nichel-idruro di metallo ($NiMH$) e come elettrolita una soluzione di idrossido di potassio (KOH) (Fig. 2.7). Hanno sostituito le batterie al Nichel-Cadmio, andate in disuso a causa dell'elevata tossicità del Cadmio.

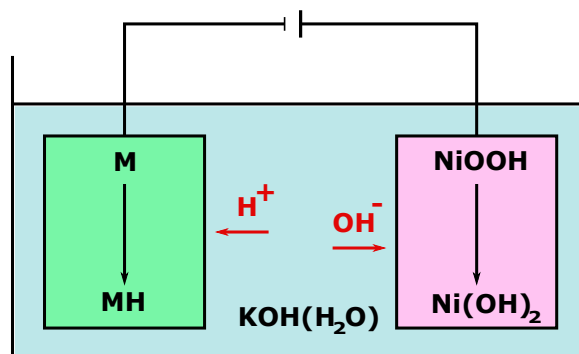


Figura 2.7: Chimica batteria Ni-MH.

Rappresenta la prima tipologia di batteria utilizzata per la propulsione di un veicolo ibrido, anche se hanno valori di autonomia molto bassi (inferiore ai 5 *km*). Presentano una tensione nominale per ogni cella elementare di circa 1.4-1.6 *V*.

Litio-Ioni (Li)

Le batterie agli ioni di litio presentano un anodo di grafite, un catodo di vari componenti (principalmente litio intercalato) e un elettrolita composta da un sale di litio sciolto in solvente organico (Fig. 2.8). Batterie oggi largamente utilizzate in tantissimi campi differenti e soprattutto rappresentano la tipologia di batteria più utilizzata nel campo dei veicoli ibridi ed elettrici [2].

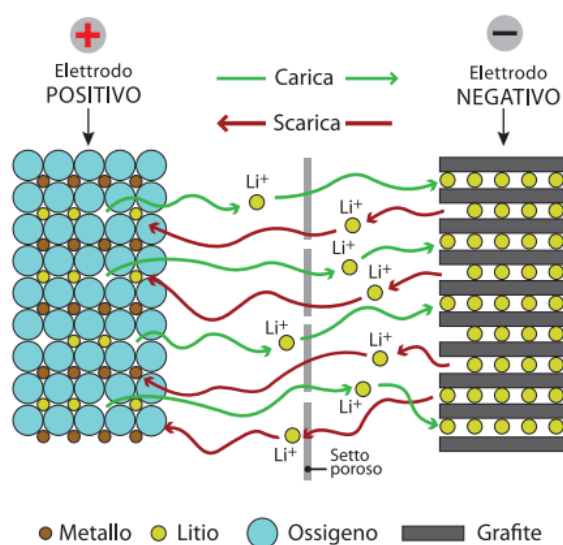


Figura 2.8: Chimica batteria agli ioni di litio.

Lo sviluppo di questa tecnologia lo si deve agli scienziati M.Stanley Whittingham, John B.Goodenough e Akira Yoshino, ai quali è stato assegnato nel 2019 il premio Nobel per la chimica proprio per lo sviluppo delle batterie agli ioni di litio. Tale premio fa capire la portata rivoluzionaria di questa tipologia di batteria.

Uno dei vantaggi principali della batteria agli ioni di litio è che a parità di volume e di massa riesce ad erogare più energia rispetto alle altre tipologie di batterie, la tensione nominale di una cella agli ioni di litio è di circa 3.6 *V* (più elevata rispetto alle altre batterie). Questa maggiore energia dipende dal fatto che il litio ha una densità di carica molto elevata e i suoi ioni sono piccoli e molto mobili. Non presenta effetto *memoria* e soprattutto un tasso di *autoscarica* mensile solo del 5%.

Di contro, lo svantaggio di utilizzare questa tipologia di batteria è che presenta una progressiva degradazione permanente se non viene utilizzata, indipendente dal numero di cicli di scarica. Tale degradazione tende ad aumentare con la temperatura di utilizzo del dispositivo e un eccessivo surriscaldamento della batteria può portare quest'ultima ad esplodere o a prendere fuoco.

Per porre rimedio a questi difetti gli scienziati hanno sviluppato dei sistemi di sicurezza obbligatori per batterie agli ioni di litio. Per porre rimedio alla degradazione della batteria in caso di inutilizzo, è stato posto all'interno del sistema un piccolo circuito che permette una lenta *scarica automatica* così da simulare un continuo utilizzo. Per quanto riguarda il problema del surriscaldamento all'interno della batteria si trova un interruttore termico per tenere sotto controllo la temperatura in caso di sovraccarico e una linguetta di sicurezza con valvola di sfiato per mantenere la pressione interna sotto un certo valore.

2.1.2 Battery Management System (BMS)

Poichè una batteria utilizzata per la propulsione di un veicolo ibrido o elettrico presenta valori di *tensione nominale* e *potenza nominale* molto elevati, è necessario che più celle elementari siano collegate in serie per costituire un **modulo** e più moduli collegati in parallelo a comporre il **pacco batteria**. Ovviamente dato che non è possibile fabbricare esattamente celle elementari identiche, esse avranno valori di tensione leggermente differenti tra di loro ed è per questa ragione che bisogna avere un sistema di controllo della batteria che controlli in tempo reale i vari parametri e lo stato delle singole celle così da poter intervenire nel caso in cui ci siano dei problemi. Il sistema che permette di ottenere queste informazioni è il **Battery Management System (BMS)**, il quale serve a monitorare lo stato della batteria, effettuando misure e, se necessario, intervenendo al fine di conseguire la perfetta sicurezza e ottimizzazione delle prestazioni [1].

Le funzioni del BMS sono:

- **Controllo della temperatura:** per evitare surriscaldamento o incendio all'interno del pacco batteria. Il BMS controlla in tempo reale la temperatura di ogni cella elementare e in caso ci sia un aumento eccessivo della temperatura provvede a staccare l'intera batteria dall'utilizzatore
- **Controllo della tensione minima:** per evitare danneggiamenti da sovrascarica. Il BMS isola la batteria nel caso in cui si è giunti a valori di scarica oltre il limite consentito
- **Controllo della tensione massima:** per evitare problemi da sovraccarico, durante la fase di ricarica o di frenata rigenerativa la batteria può raggiungere valori di tensione superiori a quelli che può sopportare e questo potrebbe portare a dei danni alla batteria stessa. Il BMS stacca la batteria nel momento in cui viene raggiunto il valore massimo di tensione
- **Controllo della corrente:** il BMS non permette l'erogazione di correnti non sopportabili dalla batteria

- **Equalizzazione:** dato che non tutte le celle potrebbero trovarsi nella stessa condizione, il BMS effettua costantemente un controllo sulla equa distribuzione della carica tra tutte le celle e interviene, specialmente durante la fase di ricarica, ad effettuare una livellazione delle caratteristiche per cui, a riposo, tutte le celle hanno la stessa tensione. Questa operazione aumenta notevolmente le prestazioni e la vita della batteria
- **Calcolo dello stato di carica (SOC: State of Charge):** parametro fondamentale per capire l'autonomia residua del veicolo, il BMS fornisce la quantità di carica disponibile in ogni istante nella batteria
- **Calcolo del numero di cicli effettuati:** il BMS permette di vedere lo stato d'invecchiamento della batteria e di poter risalire a tutti gli interventi che sono stati effettuati (come operazioni di manutenzione o di revisione)
- **Comunicazione tra batteria e vettura:** tale comunicazione permette al guidatore di visualizzare tutti i dati del BMS sul cruscotto del veicolo così da poterli controllare in ogni momento. Ciò è reso possibile dal fatto che dalla CAN (Controller Area Network), rete di comunicazione presente su tutti i veicoli moderni, che permette a tutti i dispositivi di bordo di comunicare tra di loro e gestire i dati tramite un computer di bordo

2.1.3 Dispositivi di sicurezza batteria

All'interno del *Battery System (BS)* sono presenti alcuni dispositivi di sicurezza elettrici che permettono l'interruzione dell'erogazione di corrente da parte delle batterie verso gli utilizzatori in caso di anomalie o problemi.

Fusibili

Rappresentano i dispositivi di interruzione della corrente più semplici e meno costosi, ma riescono a proteggere efficacemente il sistema da sovraccarichi causati da cortocircuito e nello stesso momento permettono anche di salvaguardare tutto ciò che si trova a valle del punto in cui è stata interrotta la corrente. Il principio di funzionamento di un fusibile è molto semplice, esso è costituito da un contenitore in vetro, ceramica o plastica che contiene un elemento conduttore (ricoperto di sabbia, così da evitare l'insorgenza di un arco elettrico), il quale quando viene percorso da corrente si riscalda e, per effetto Joule, quando supera una certa temperatura si fonde interrompendo il flusso di corrente.

I parametri che caratterizzano un fusibile sono tre:

- **Tensione nominale:** valore massimo di tensione al quale può essere sottoposto il fusibile

- **Corrente nominale:** valore massimo di corrente che il fusibile può sopportare senza che ci sia la fusione dell'elemento conduttore
- **Potere di interruzione:** valore più elevato di corrente che il fusibile è in grado di interrompere ad una determinata tensione e in condizioni specifiche d'uso

Per valutare il comportamento di un fusibile a determinate condizioni di corrente si osserva la curva *corrente-tempo* (Fig. 2.9), la quale, a seconda del valore di corrente nominale, ci permette di individuare la curva che esprime il tempo di interruzione che serve a seconda del valore di corrente che scorre in quel momento nel circuito.

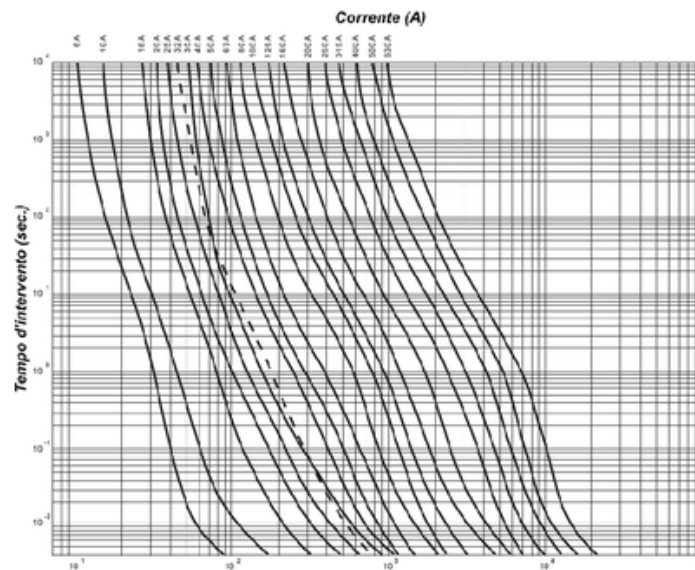


Figura 2.9: Grafico corrente-tempo fusibile.

Grazie a tali curve è possibile dimensionare il dispositivo in relazione al sovraccarico di corrente previsto per una determinata applicazione.

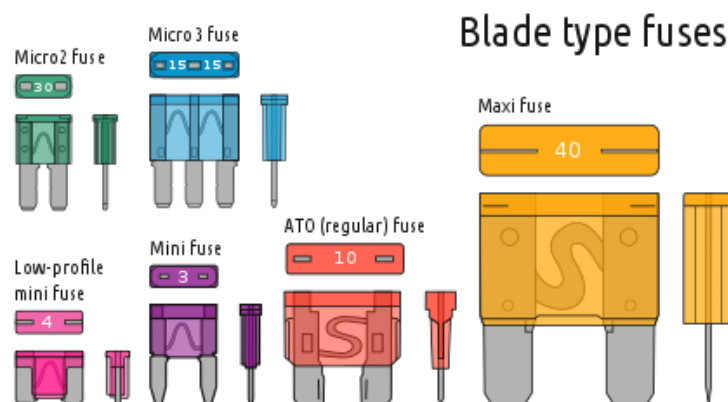


Figura 2.10: Tipologie fusibili.

Per applicazioni automobilistiche esistono quattro diverse tipologie di fusibili (**mini low profile**, **mini standard**, **medium** e **maxi**), la tipologia utilizzata viene scelta in relazione all'utilizzo che bisogna farne (valori di corrente e tensione).

- **mini low profile**: fino a 30 A
- **mini standard**: fino a 30 A
- **medium**: fino a 40 A
- **maxi**: fino a 80 A (per applicazioni di alta tensione)

Queste tipologie di fusibili sono tutti a **spina piatta** e sono quelli che principalmente vengono utilizzati per i sistemi di sicurezza dei componenti elettrici dei veicoli (Fig. 2.10).

Teleruttori

Sono dispositivi di sicurezza staccabatteria ed interrompono il flusso di corrente tra batteria e utilizzatore.

Dalla norma **CEI 17-3**: *Si dice contattore o teleruttore un apparecchio meccanico di manovra avente una sola posizione di riposo, ad azionamento non manuale, destinato ad un numero elevato di operazioni, in grado di stabilire, portare e interrompere correnti nelle condizioni normali di funzionamento e di sovraccarico funzionali*[3].

Il loro utilizzo permette:

- la protezione del circuito in caso di cortocircuito del sistema
- di effettuare operazioni di riparazione o manutenzione in sicurezza senza rischi per gli operatori
- ridurre la percentuale di auto-scarica della batteria quando il veicolo non viene utilizzato per lungo tempo

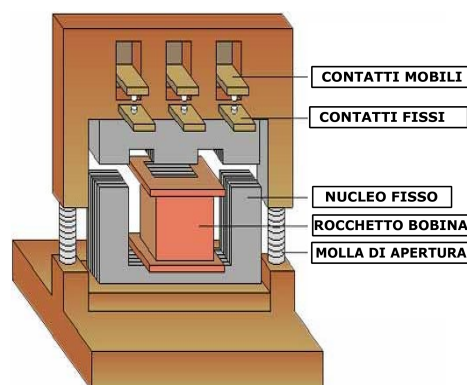


Figura 2.11: Schema teleruttore.

Un teleruttore è caratterizzato dalla presenza di una bobina, la quale nel momento in cui viene percorsa da corrente, si attiva, attirando a sé il dispositivo mobile sul quale sono presenti i contatti principali che vanno a chiudersi (Fig. 2.11).

Nel caso delle applicazioni automobilistiche i teleruttori vengono azionati da un elettromagnete che ne comanda l'apertura e la chiusura, l'azionamento avviene tramite il *key-on* del veicolo.

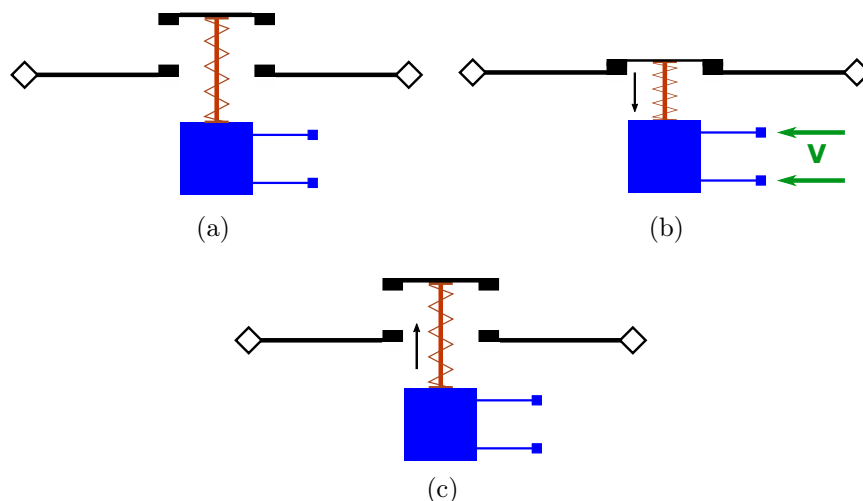


Figura 2.12: Funzionamento teleruttore.

Il funzionamento di un teleruttore risulta chiaro dallo schema precedente (Fig. 2.12):

- **a**: teleruttore in posizione di riposo (il teleruttore **diseccitato**), i contatti sono aperti.
- **b**: viene applicata una tensione ai capi dei morsetti della bobina (corpo blu), la quale è percorsa da corrente. Nel momento in cui la forza elettromagnetica vince la resistenza della molla, la comprime e i contatti mobili vengono attratti chiudendoli a quelli fissi. Il teleruttore in questa configurazione è **eccitato**.
- **c**: togliendo alimentazione ai morsetti della bobina, non c'è più attrazione elettromagnetica e quindi la molla si espande e porta verso l'alto i contatti mobili. In questo modo i contatti si aprono e quindi il teleruttore è **diseccitato**.

2.2 Charger

Parte fondamentale per i veicoli elettrici è il *charger*, cioè il sistema che permette la ricarica delle batterie ad alto voltaggio dei veicoli BEV e P-HEV.

In accordo con la norma standard **IEC 61851-1** esistono quattro tipologie possibili di ricarica.

Modalità	Connessione	Corrente	Tempi di ricarica	Controllo
MODALITÀ 1	Collegamento diretto alla rete	AC Monofase o AC Trifase	6/8 h a 16 A	No
MODALITÀ 2	Collegamento diretto alla rete	AC Monofase o AC Trifase	6/8 h a 16 A	Si
MODALITÀ 3	Dispositivo di ricarica permanentemente connesso alla rete	AC	6/8 h a 16 A o 30/60 min a 64 A	Si
MODALITÀ 4	Dispositivo di ricarica permanentemente connesso alla rete	DC	5/10 min	No

Tabella 2.1: Modalità di ricarica.

2.2.1 Modalità 1

Il veicolo viene collegato direttamente alla rete elettrica attraverso una presa standard, domestica o industriale, che raggiunge solitamente correnti fino a 16 A (Fig. 2.13). Questa modalità non risulta adatta alla ricarica di veicoli elettrici, ma generalmente viene utilizzata per ricaricare scooter elettrici o biciclette elettriche. In questo caso la ricarica è lenta, i tempi di ricarica sono 6-8 h con una corrente di 16 A.

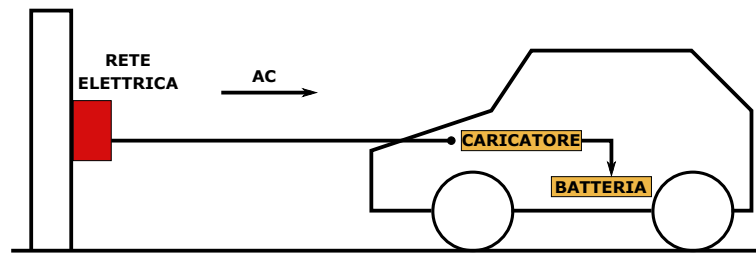


Figura 2.13: Modalità 1 di ricarica.

Questo modo di ricarica presenta principalmente due problemi:

- potenza disponibile limitata
- gestione dell'alimentazione dell'impianto

2.2.2 Modalità 2

Il veicolo viene collegato direttamente alla rete elettrica attraverso prese e spine conformi ad uno standard IEC (International Electrotechnical Commission) con corrente nominale fino a 32 A (Fig. 2.14). In questa modalità di ricarica è presente un sistema di protezione detto **InCable Control Box** (Sistema di sicurezza Pulse Width Modulation, permette la comunicazione tra veicolo e sistema di alimentazione), integrata nella spina o sul cavo di collegamento e ha la funzione di regolare la potenza e monitorare i parametri di sicurezza (presenza di un interruttore differenziale da 30 mA). Questa tipologia di ricarica è adatta solo in ambito domestico.

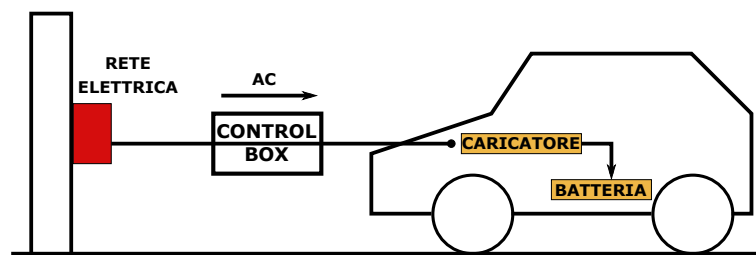


Figura 2.14: Modalità 2 di ricarica.

Questa soluzione rispetto alla precedente ovviamente risulta più onerosa a causa del sistema PWM integrato nel cavo, tramite il segnale PWM la stazione di ricarica comunica al veicolo la massima corrente disponibile tenendo conto della disponibilità della rete e della portata del cavo di connessione. Il veicolo adegua la corrente prelevata all'indicazione del segnale della stazione di ricarica e comunica il proprio stato tramite un valore in tensione. Anche in questo caso la ricarica è lenta con tempi di 6-8 h a 16 A.

2.2.3 Modalità 3

Il veicolo viene collegato direttamente alla rete elettrica, il sistema di alimentazione eroga corrente alternata tramite un circuito dedicato che lo permette e l'utilizzo di prese e cavi specifici. Anche in questa modalità tra alimentazione e veicolo è presente una **Incable Control Box** (Fig. 2.15).

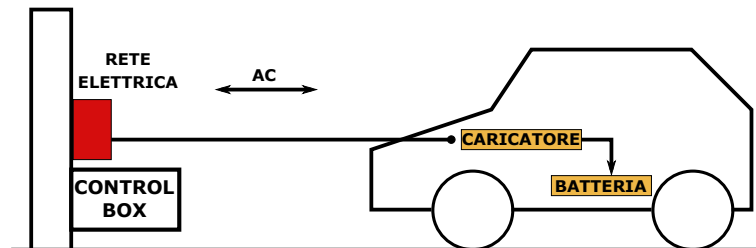


Figura 2.15: Modalità 3 di ricarica.

Questa modalità di ricarica permette il funzionamento dei dispositivi elettrici del veicolo durante la ricarica e ottimizza i tempi di ricarica del veicolo. La ricarica varia a seconda della corrente erogata dal sistema di alimentazione:

- ricarica lenta: 6-8 h a 16 A
- ricarica rapida: 30-60 min a 64 A

2.2.4 Modalità 4

Il veicolo elettrico viene collegato alla rete elettrica principale tramite un caricatore esterno (Fig. 2.16). In questa caso le funzioni di controllo e protezione sono affidate al sistema di alimentazione, alla colonnina di ricarica, che inoltre presenta anche incorporato il cavo di ricarica che bisogna inserire all'interno del veicolo.

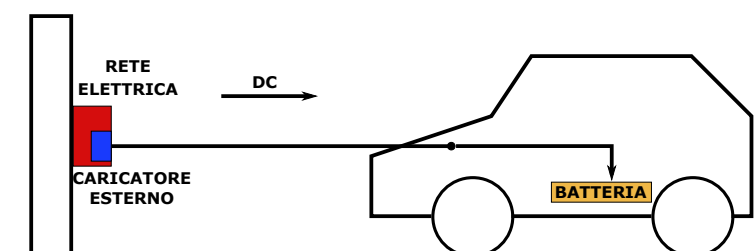


Figura 2.16: Modalità 4 di ricarica.

Caricando direttamente la batteria del veicolo in corrente continua, questo sistema permette di superare le problematiche di potenza derivanti dal caricabatterie interno alternato e quindi rende possibile una ricarica ultra rapida con correnti che arrivano fino a 200 A e tensioni di 400 V, di conseguenza in tempi di ricarica sono di pochi minuti.

2.3 DC/DC Converter

I veicoli elettrici rispetto ai veicoli tradizionali hanno una tensione della batteria superiore e per questa ragione la conversione DC/DC è parte integrante dell'elettronica di potenza automobilistica. Un convertitore di questo tipo è un circuito che consente di passare da una tensione ad un'altra di valore superiore (step up converter) o inferiore (step down converter).



Figura 2.17: Convertitore DC/DC.

In questo caso il convertitore DC/DC permette di interfacciare i vari elementi elettrici che funzionano a tensioni differenti, in particolare in questi veicoli permette di ricaricare la batteria 12 V dei servizi partendo dalla batteria ad alta tensione (circa 400 V), inoltre permette di avere a valle della conversione un valore di tensione costante anche nel momento in cui la batteria perde energia (fase di scarica) [4].

Nel caso di applicazioni automobilistiche le caratteristiche che un convertitore DC/DC deve avere sono:

- peso ed ingombri contenuti
- alta efficienza
- bassa interferenza elettromagnetica
- bassa variazione di corrente proveniente dalle batterie
- controllo del flusso di potenza in input

I convertitori DC/DC possono essere raggruppati in due categorie:

- **non isolati**: utilizzati quando il rapporto di conversione tra voltaggio di input e output non è molto elevato (meno di 4:1) e non è necessario che ci sia un isolamento dielettrico tra input e output
- **isolati**: utilizzati quando il rapporto di conversione tra voltaggio di input e output è molto elevato ed è necessario che input e output siano completamente isolati tra di loro

2.4 PIM: Power Inverter Module

Il Power Inverter Module è l'inverter di controllo del motore elettrico che si occupa di convertire la tensione di un bus in continua, proveniente dalla batteria elettrica, in alternata, utilizzata per alimentare il motore elettrico e permette di regolare sia ampiezza sia frequenza della tensione e della corrente in output (Fig. 2.18). L'inverter può fungere sia da DC/AC inverter sia da AC/DC inverter quando il motore elettrico funge da generatore e ricarica la batteria.

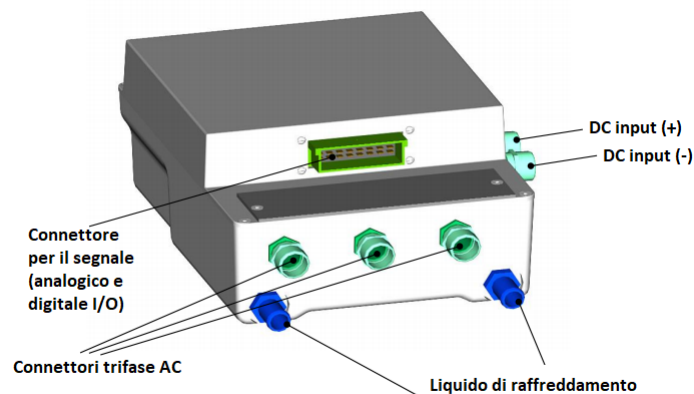


Figura 2.18: Schema DC/AC inverter.

2.5 Motore elettrico

Per la propulsione elettrica, il motore elettrico utilizza l'energia elettrica della batteria e la converte in energia meccanica per muovere le ruote. Il passaggio è molto semplice: la batteria cede energia sotto forma di corrente continua (DC) ad un inverter (PIM) che la tramuta in corrente alternata (AC) così da poter essere utilizzata dal motore elettrico (Fig. 2.19).

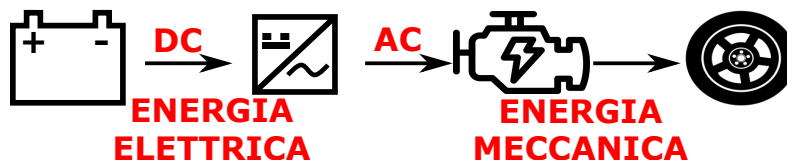


Figura 2.19: Schema motore elettrico.

I componenti principali di un motore elettrico sono due:

- **Rotore**: parte mobile del motore, dotato di campi magnetici permanenti
- **Statore**: parte fissa del motore, composto da un conduttore che genera dei campi magnetici variabili di direzione opposta rispetto a quelli generati dal rotore

La coppia generata dall'interazione tra i campi magnetici opposti di statore e rotore permette la movimentazione del veicolo.

Inoltre il motore elettrico, potendo ruotare anche in senso opposto, funge anche da generatore e quindi nelle fasi di decelerazione ricarica la batteria (*frenata rigenerativa*).

A seconda della struttura di rotore e statore, il motore elettrico può essere **sincrono** o **asincrono**.

2.5.1 Motore elettrico asincrono trifase

Un motore si definisce asincrono se la frequenza di rotazione non è uguale o non è un sottomultiplo della frequenza di rete (50 o 60 Hz), cioè non risulta sincronizzata con essa. In questo tipo di motore lo statore e il rotore sono due cilindri cavi coassiali separati da un traferro di spessore trascurabile, lo statore è il cilindro esterno e il rotore quello interno. Entrambi sono in materiale ferromagnetico e sono isolati fra loro.

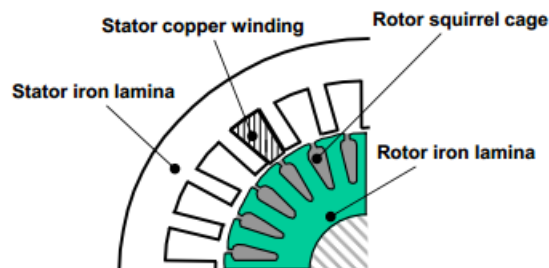


Figura 2.20: Motore elettrico asincrono trifase.

L'avvolgimento *statorico* o induttore è costituito da tre fasi identiche disposte nelle cave dello statore sfasate di $\frac{120^\circ}{p}$ fra loro ($p \rightarrow$ coppie di poli). Stesso discorso vale per l'avvolgimento *rotorico* o indotto che è costituito da tre fasi connesse ad un reostato trifase.

Tale motore viene alimentato da un sistema di tensioni trifase (sfasate tra loro di 120°), con tensione di alimentazione di 400 V e frequenza di 50 Hz.

Sullo statore dunque si genera un campo magnetico rotante mediante alimentazione trifase dei tre avvolgimenti, che permetta la generazione di un flusso statorico rotante (*flusso induttore*). Sul rotore, invece, ci sono degli avvolgimenti che, concatenandosi con il campo generato dallo statore, generano il flusso rotorico che viene trascinato da quello statorico, ma ad una velocità inferiore che dipende dal carico applicato. È la tipologia di motore elettrico oggi più utilizzata, circa il 70%.

2.5.2 Motore elettrico sincrono a magneti permanenti (Brushless)

Un motore si definisce sincrono se la frequenza di rotazione è uguale o un sottomultiplo della frequenza di rete (50 o 60 Hz), cioè risulta sincronizzata con essa.

Anche in questo caso il motore è formato da due cilindri concentrici: lo statore all'esterno e il rotore all'interno.

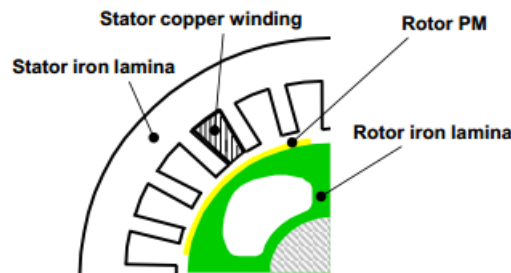


Figura 2.21: Motore elettrico sincrono a magneti permanenti.

Sullo statore si genera un campo magnetico rotante mediante alimentazione trifase, esattamente come per il motore asincrono. Sul rotore sono presenti dei magneti permanenti che generano il flusso rotorico che viene trascinato da quello statorico alla stessa velocità. Questi motori prendono anche il nome di Brushless sinusoidali.

2.5.3 Classificazione in base alla posizione del motore elettrico

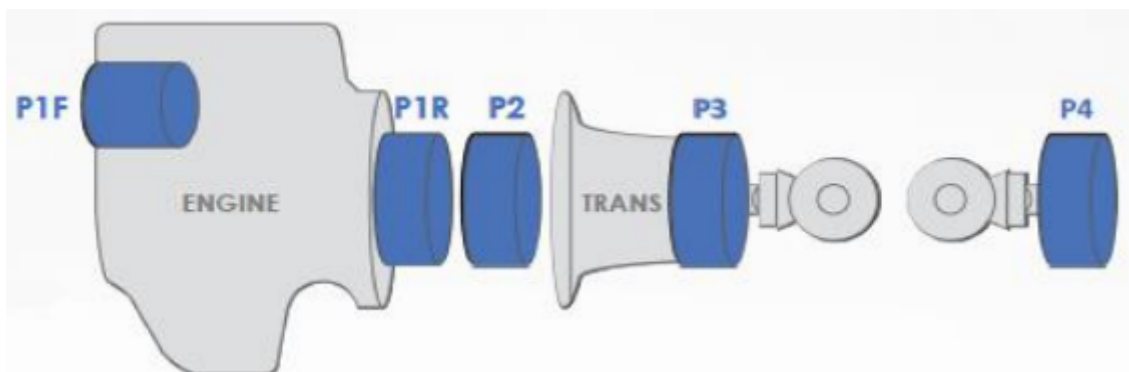


Figura 2.22: Classificazione in base alla posizione del motore elettrico.

Nel caso dei veicoli ibridi, si fa una classificazione in base alla posizione del o dei motori elettrici (Fig. 2.22):

- **P1:** motore elettrico sempre connesso al motore ($f \rightarrow$ anteriore, $r \rightarrow$ posteriore)
- **P2:** motore elettrico tra motore termico e trasmissione
- **P3:** motore elettrico tra la trasmissione e l'unità differenziale
- **P4:** motore elettrico sul secondo asse (secondario), motore termico sul primo asse (principale)

Solitamente nei veicoli ibridi la configurazione più diffusa è quella che comprende due motori elettrici: P1f e P4.

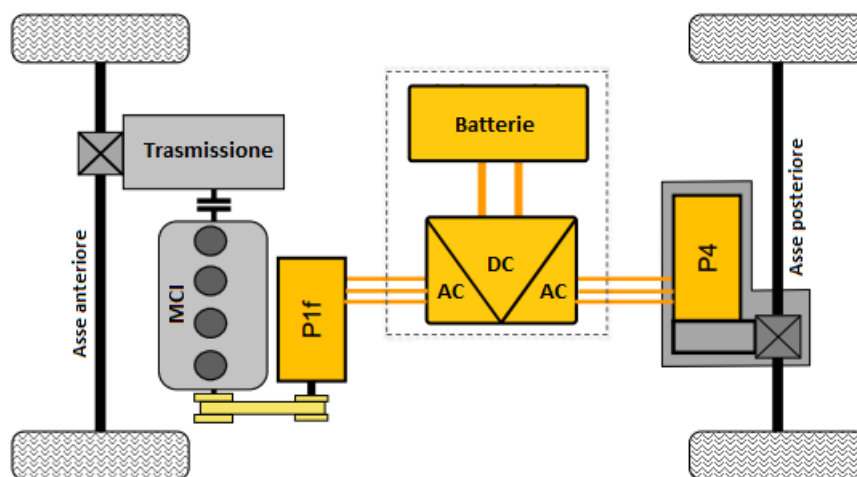


Figura 2.23: Configurazione veicolo ibrido P1f + P4.

In questa configurazione ci sono due motori elettrici (Fig. 2.23), il primo (P1f) è connesso al motore termico (MCI) sull'asse anteriore del veicolo, il secondo, invece, è posizionato sul secondo asse (posteriore) del veicolo. Nello schema è presente anche un doppio inverter DC/AC che permette ad entrambi i motori di attingere all'energia del pacco batteria, anche in questo caso, come in tutti i veicoli che presentano almeno un motore elettrico, i motori hanno sia il ruolo di far avanzare il veicolo sia quello di ricaricare le batterie in fase di decelerazione.

2.6 Dispositivi di controllo della temperatura

Grazie alla loro elevata efficienza, gli azionamenti elettrici utilizzati nei veicoli elettrici hanno poca dispersione di calore nell'ambiente durante il funzionamento e una dispersione praticamente nulla quando sono fermi. Per riscaldare l'auto a basse temperature esterne o per sbrinare i cristalli, sono necessari ulteriori riscaldatori. Questi rappresentano ulteriori utenze di energia che vanno a consumare parte dell'energia immagazzinata nella batteria, influenzando sull'autonomia del veicolo, specialmente nei periodi più freddi. I riscaldatori elettrici integrati nel sistema di ventilazione sono una forma semplice, efficace ma anche molto dispendiosa in termini di energia [5]. Per questo motivo vengono ora utilizzate anche pompe di calore ad alta efficienza energetica, le quali durante i periodi freddi vengono utilizzate per riscaldare l'ambiente e durante quelli caldi, invece, fungono da impianto di climatizzazione.

I dispositivi per regolare la temperatura sono:

- **EAC:** Electric Air Coolant → compressore elettrico (impianto di raffreddamento)
- **ECH:** Electric Coolant Heater → riscaldatore elettrico (impianto di riscaldamento)

Tali componenti risultano particolarmente importanti per mantenere le batterie nel giusto range di temperatura, così da avere un funzionamento ottimale: la vita utile si riduce a partire da una temperatura di funzionamento di $+40^{\circ}\text{C}$, mentre rendimento e potenza diminuiscono al di sotto dei -10°C . Inoltre la differenza di temperatura tra le singole celle non deve superare un determinato valore. Il superamento della temperatura porta ad un invecchiamento più rapido della batteria, riducendone la vita utile [6].

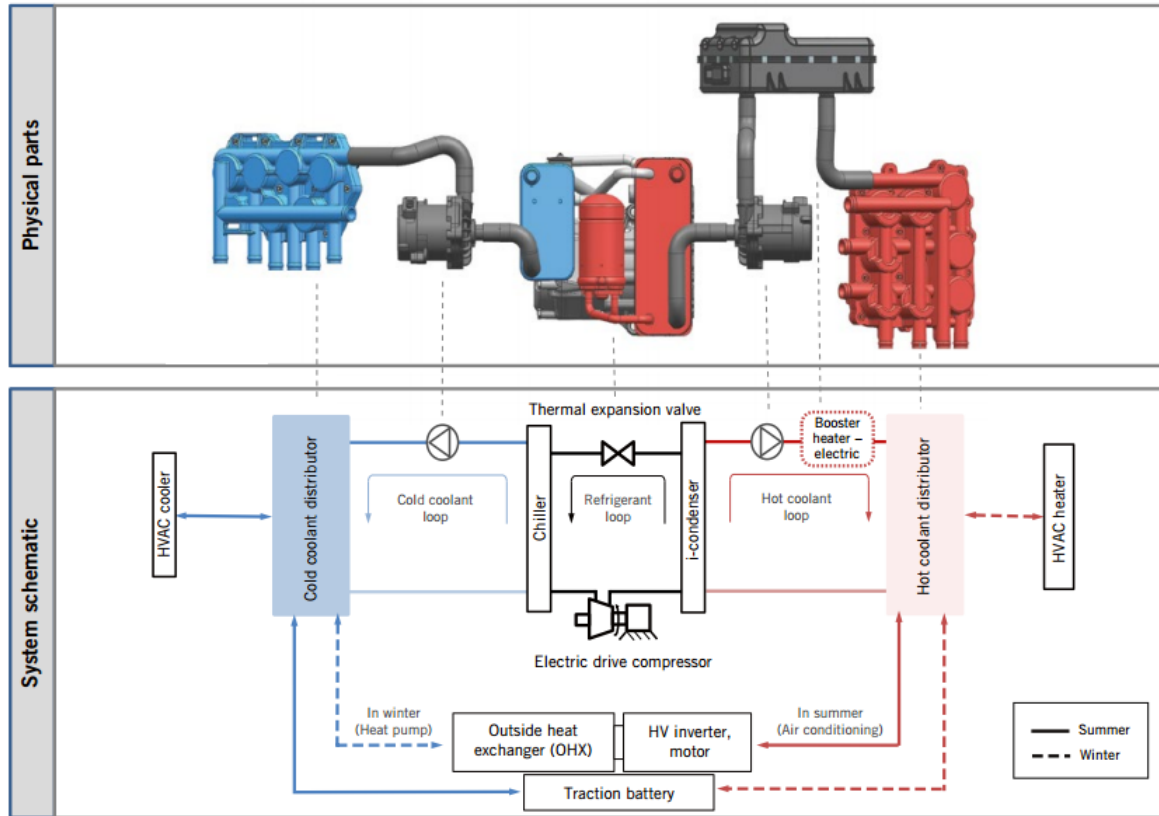


Figura 2.24: Sistema di controllo della temperatura

Capitolo 3

Sistema di comunicazione tra componenti del veicolo

All'interno di un veicolo oltre tutti i componenti presentati finora sono fondamentali anche i sistemi che permettono la comunicazione tra tutti i vari componenti e che ne permettono il giusto funzionamento. Tale comunicazione avviene tramite la trasmissione dei dati che ogni componente è in grado di acquisire, questi dati vengono elaborati da più centraline che decidono quale è l'azione da compiere e quali sono i dati da trasmettere ad un determinato componente. In campo automobilistico le reti di comunicazioni utilizzate sono principalmente due:

- **CAN**: Controller Area Network
- **LIN**: Local Interconnect Network

3.1 Controller Area Network

Il **Controller Area Network** (CAN) o CAN-Bus è un bus seriale di comunicazione digitale di tipo **Broadcast**, molto diffuso nel campo automobilistico. Permette il controllo real-time dei sistemi elettronici (unità di controllo elettronico, ECU) all'interno del veicolo assicurando un elevato livello di sicurezza [7]. Le caratteristiche principali di questa tipologia di sistema di comunicazione sono:

- tutti i nodi sono in ascolto e recepiscono tutti i messaggi
- non si può spedire un messaggio a un nodo specifico
- ci sono filtri hardware sui nodi per escludere dati non utili
- messaggi brevi (non più di 94 bit utili)

- i nodi non hanno un indirizzo prestabilito, ma l'indirizzo può essere implicito all'interno del messaggio stesso

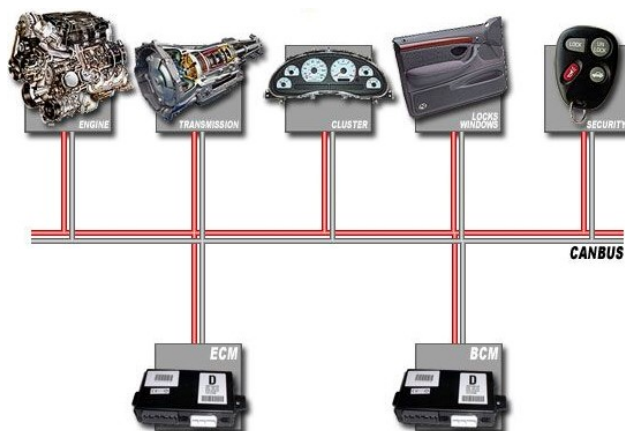


Figura 3.1: Esempio CAN.

Tale sistema è stato introdotto dall'azienda Bosch nei primi anni ottanta proprio per essere utilizzato in ambito automobilistico, anche se negli anni si è diffuso in tutto il settore industriale. Il suo enorme successo lo si deve ai vantaggi tecnologici che offre rispetto agli altri sistemi di comunicazione digitale [8]

- **tempi di risposta rigidi:** la tecnologia CAN prevede molti strumenti hardware e software e sistemi di sviluppo per protocolli ad alto livello che consentono di connettere un elevato numero di dispositivi mantenendo stringenti vincoli temporali
- **semplicità e flessibilità del cablaggio:** CAN è un bus seriale tipicamente implementato su un doppino intrecciato (schermato o non schermato). I nodi non hanno un indirizzo che li identifichi e quindi è possibile aggiungere o rimuovere un nodo senza creare problemi al resto del sistema
- **alta immunità ai disturbi:** i dispositivi di interfaccia possono continuare a comunicare anche in presenza di alcuni problemi al sistema come l'interruzione di uno dei due fili o il cortocircuito di uno di essi con massa o con l'alimentazione (standard ISO-11898)
- **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)
- **confinamento degli errori:** ciascun nodo è in grado di rilevare il proprio malfunzionamento e di autoescludersi dal bus se questo è permanente, cos' da impedire che l'intero sistema vada di crisi (rigidità delle temporizzazioni)

Tutti questi punti di forza del CAN hanno portato alla *maturità dello standard*, infatti il suo grande utilizzo ha portato ad avere un'ampia disponibilità di chip ricetrasmittitori, di microcontrollori che integrano porte CAN e di tools di sviluppo. Tutto ciò ha contribuito ad ottenere una sensibile diminuzione del costo dei sistemi CAN.

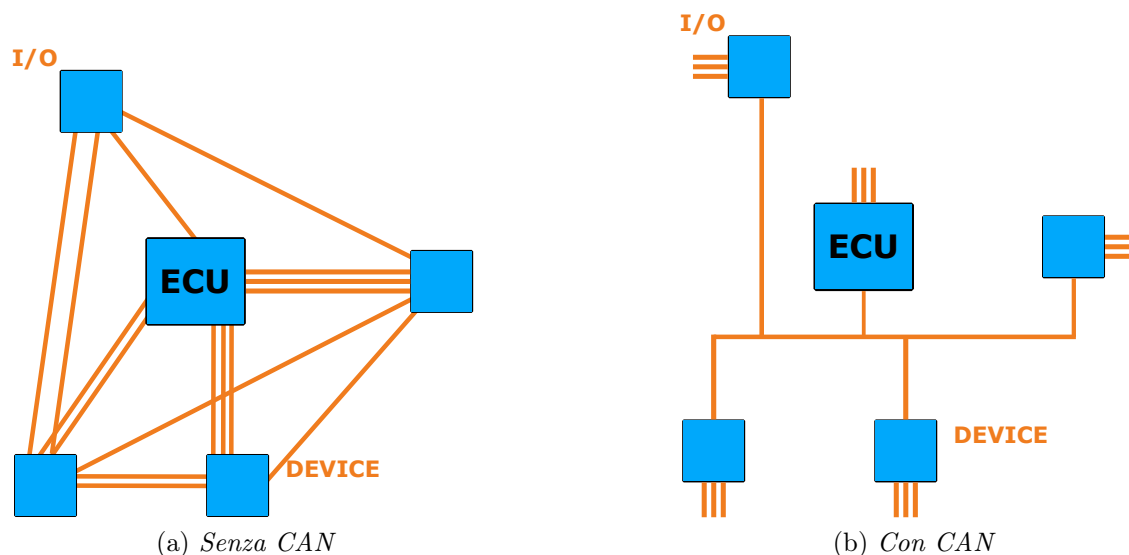


Figura 3.2: Collegamento dispositivi.

Nel CAN-Bus la comunicazione avviene tramite *dispositivi intelligenti*, cioè sensori o attuatori che sono in grado di produrre dei dati e di poterli immettere all'interno del bus. Tale tecnologia si basa sul fatto che ogni dispositivo sia in grado di fornire informazioni agli altri dispositivi e di ricevere informazioni da questi ultimi.

Ogni dispositivo intelligente forma un *nodo intelligente*, il quale è provvisto di un processore e di una memoria così da poter gestire i dati che riceve e trasmette. Ogni dispositivo prima di immettere all'interno del bus le proprie informazioni svolge quattro compiti:

- **Amplificazione** del piccolo segnale d'uscita dal sensore
- Traslazione del segnale in un range opportuno prima della **conversione A/D**
- **Elaborazione** dei dati
- **Emissione** dei dati sul bus

3.1.1 Mezzo trasmissivo

Il mezzo trasmissivo (Fig. 3.3) richiesto dal CAN è un mezzo trasmissivo **bidirezionale** (trasmissione del segnale in tutte e due le direzioni) **broadcast**, in cui quando un dispositivo trasmette tutti gli altri devono essere in ricezione. Per fare ciò solitamente viene

utilizzato un *doppino intrecciato*, schermato o meno a seconda di quelle che sono le rumorosità ambientali (disturbi elettromagnetici). Il doppino è composto da due linee, una ad alta velocità (CAN_H) e una a bassa velocità (CAN_L), generalmente sulla linea ad alta velocità si hanno i dispositivi a criticità più alta [9].

Un problema molto grande nella trasmissione dei segnali sono i **Radio Frequency Interferences** (RFI), tali disturbi sono causati dall'emissione di rumore degli altri dispositivi elettronici che circondano il sistema. Il primo modo per proteggersi da questi disturbi è quello di schermare i cavi con un conduttore metallico poi messo a terra, un ulteriore step è utilizzare la tecnica **differencial**. Questa tecnica utilizza due cavi, nel primo il segnale viene trasmesso come positivo e nel secondo viene trasmesso lo stesso segnale ma in negativo. Teoricamente i disturbi che interferiscono con cavo dovrebbero interessare entrambi i segnali, sia quello positivo sia quello negativo, così il ricevitore, facendo la differenza tra i due segnali che riceve, annulla il disturbo. Questa tecnica risulta efficace solo nel momento in cui in entrambi i cavi è presente lo stesso disturbo, ciò è vero solo se i cavi occupano lo stesso spazio e per facilitare quest'assunzione si intrecciano i due cavi insieme (doppino intrecciato).

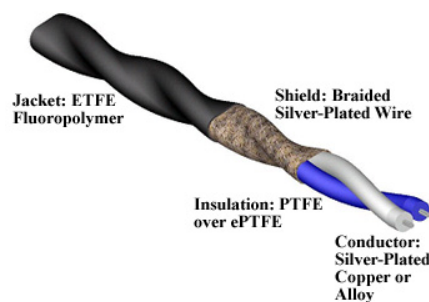


Figura 3.3: Doppino intrecciato.

3.1.2 Struttura nodo CAN

La struttura di un singolo nodo CAN prende il nome di **PMA** (Physical Medium Attachment) e rappresenta come ogni singolo nodo è connesso alla al Bus. Tale struttura è composta da tre parti fondamentali (Fig. 3.4):

- **CAN Transceiver:** rivela lo stato del bus andando a valutare la differenza di tensione tra la CAN_H (ad alta velocità) e la CAN_L (a bassa velocità)
- **CAN Controller:** trasmette e riceve dati seriali dal microcontrollore al bus e viceversa
- **Microcontrollore:** rappresenta il dispositivo vero e proprio con le varie funzioni per le quali è stato progettato

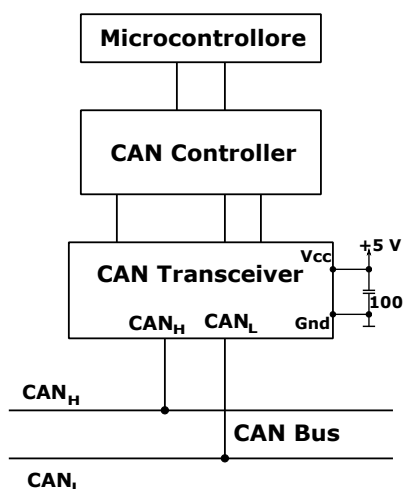


Figura 3.4: Struttura singolo nodo CAN.

3.1.3 Trasmissione dati

Il CAN trasmette dati secondo un modello basato su bit *dominanti* e bit *recessivi*, i bit *dominanti* sono rappresentati dagli 0 logici e i bit *recessivi* dagli 1 logici. In questo modo nel caso in cui un nodo trasmette un bit *dominante* e un altro nodo un bit *recessivo*, il bit *dominante* vince tra i due e risulta visibile al resto del sistema, in bit *recessivo*, invece, viene ignorato dal resto della rete.

Se si considera per esempio un doppino intrecciato formato da due linee, H (high bus) e L (low bus), se si vuole rappresentare il bit 0 non si avrà alcuna differenza di potenziale tra i due cavi (restano entrambi a 2.5 V), se, invece, si vuole rappresentare il bit 1 si applica una differenza di potenziale tra le due linee (H andrà a 3.5 V mentre L a 1.5 V).

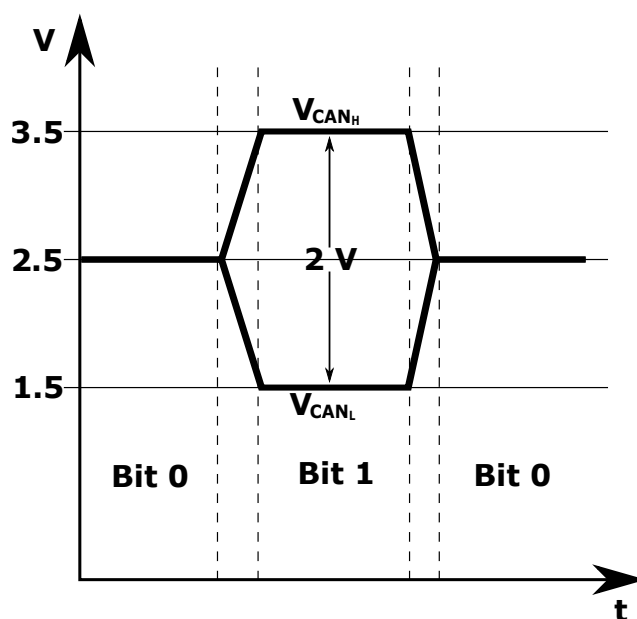


Figura 3.5: Esempio rappresentazione bit dominante/recessivo.

Nel momento in cui si utilizza questa metodologia in un bus differenziale, si applica lo schema CSMA/BA (Carrier Sense Multiple Access/Bitwise Arbitration): se due o più dispositivi incominciano a trasmettere contemporaneamente, si applica un meccanismo di arbitrato basato sulla priorità per decidere a quale dispositivo permettere di proseguire la trasmissione e di conseguenza individuare quale è il segnale più critico. La prioritizzazione dei messaggi della CAN permette di assicurare i tempi bassi di stato latente. Durante la trasmissione, ogni nodo in trasmissione controlla lo stato del bus e confronta il bit ricevuto con il bit trasmesso. Nel caso in cui si riceve un bit dominante mentre un bit recessivo viene trasmesso, il nodo smette di trasmettere e torna in sola modalità di ricezione. I nodi che trasmettono contemporaneamente, inviano un **Arbitration Field**, un segnale che determina la priorità del messaggio (funge da identificativo del nodo anche se in realtà non lo è). Al termine dell'invio dei vari Arbitration Field di tutti i nodi che trasmettono in contemporanea, quelli con priorità inferiore tornano allo stato di sola ricezione, e il nodo con la priorità più elevata può inviare il suo messaggio al resto della rete.

3.1.4 Gestione degli errori

Gran parte dell'affidabilità e del largo utilizzo che viene fatto di CAN dipende dalla sua grande capacità nell'individuare e gestire gli errori che possono esserci al suo interno. L'individuazione degli errori si articola generalmente in cinque fasi [8]

1. il Controller CAN di un nodo rileva un'errore (in trasmissione o in ricezione)
2. sempre il Controller CAN trasmette un messaggio d'errore
3. il messaggio corrotto viene ignorato da tutti gli altri nodi della rete
4. il Controller CAN aggiorna il suo stato
5. il infine messaggio viene ritrasmesso

Il protocollo CAN definisce cinque differenti tipi di errore, di cui tre a **livello di bit** e due a **livello di messaggio**, rilevati attraverso le seguenti tecniche:

- **monitoraggio**: ciascun nodo confronta i bit che invia con quelli effettivamente presenti sul bus e in caso di discordanza si ha un **Bit Error**; l'unico caso in cui non viene applicata questa tecnica è durante la fase di identificazione del messaggio a maggior priorità: la presenza di un bit diverso da quello inviato (un bit *dominante* anziché un bit *recessivo* e non viceversa) viene infatti interpretata come perdita dell'arbitraggio e il nodo si pone in modalità di ricezione.
- **bit stuffing**: è una tecnica che consiste nel trasmettere dopo ogni sequenza di cinque bit uguali un sesto bit complementare, che viene automaticamente ignorato dai nodi

ricevitori. Questa tecnica viene utilizzata sempre nella fase di identificazione del messaggio a priorità. Se un ricevitore rileva 6 bit consecutivi dello stesso tipo si uno **Stuff Error**.

3.2 Local Interconnect Network

Il **Local Interconnect Network** (LIN) è un protocollo di comunicazione seriale a bassa velocità su cavo singolo progettato per applicazioni automobilistiche. Sviluppato e promosso dal Consorzio LIN (Audi, BMW, DaimlerChrysler, Motorola, Inc, Volcano Technologies, Volkswagen, Volvo car) sin dal 1999, permette di interconnettere sensori ed attuatori ad un sistema di controllo centralizzato, nel caso di un veicolo (Fig. 3.6) solitamente comprende connessioni dei sensori all'interno di portiere, volante, sedili, climatizzazione, copertura e motore [10].

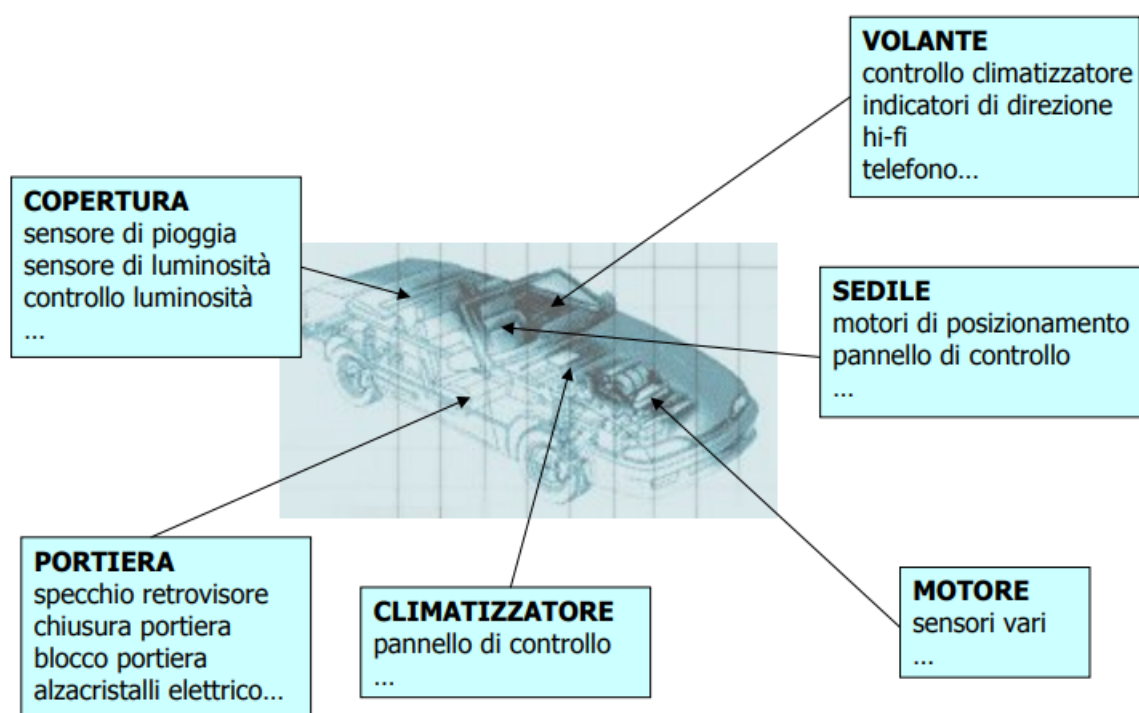


Figura 3.6: LIN.

I vantaggi principali che portano ad un grande utilizzo di questa rete sono:

- **affidabilità**, in quanto ha un'ottima gestione della diagnostica e quindi degli errori
- **basso costo**, sia dal punto di vista hardware, si utilizza un unico cavo di silicio a basso costo, sia dal punto di vista del software, basso costo garantito dall'autosincronizzazione del sistema
- **flessibilità** della rete (architettura MultiPlex distribuita)

Il protocollo LIN è pensato per supportare la rete di comunicazione in campo automobilistico, lavora in maniera congiunta con la Controller Area Network (CAN). Questo tipo di rete consente una comunicazione a basso costo nel momento in cui sono richieste tutte le funzionalità della CAN, per tale motivazione si può definire una sotto-rete della CAN. Rispetto alla CAN è una connessione a minor velocità e adatta a distanze corte.

3.2.1 Architettura della rete

Come si è detto in precedenza l'architettura di una LIN è di tipo **MultiPlex distribuita** che utilizza connettori intelligenti. Tale architettura permette di avere un gran numero di dispositivi elettronici collegati tra loro da un sistema di cablaggio esiguo [11].

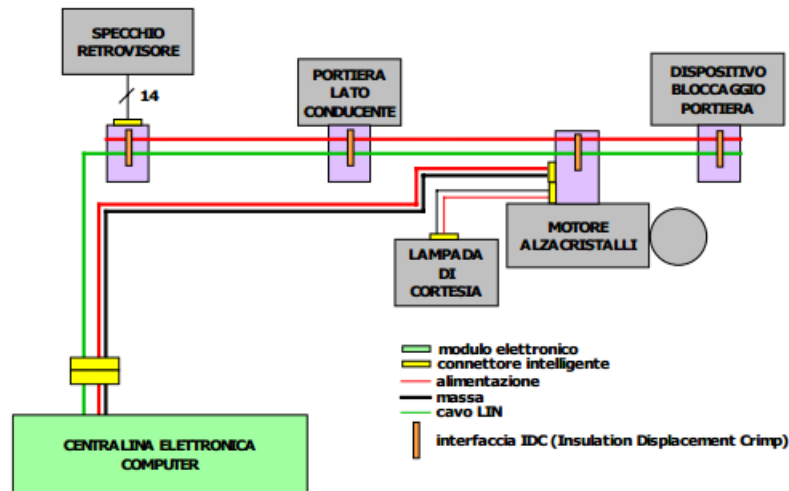


Figura 3.7: Esempio architettura MultiPlex Distribuita.

Con questo sistema si prevedono due tipologie di nodi:

- **Master**, nodo unico che ha il controllo sia del bus sia dell'intero protocollo di comunicazione ed inoltre determina il momento in cui avviene il trasferimento di messaggi sul canale a tutti gli altri nodi
- **Slaves**, rappresentano tutti gli altri nodi della rete. Ce ne possono essere da due a sedici, ognuno di questi nodi può ricevere o trasmettere nel momento in cui il nodo **Master** lo ritiene necessario. È possibile comunicare segnali da un nodo **Slave** ad un altro nodo **Slave** senza dover necessariamente transitare per il **Master**

Un nodo può contemporaneamente fungere sia da **Master** che da **Slave**. Il mezzo trasmissivo in questo caso è un solo cavo a 12 [V] che si basa sulla norma ISO 9141 NRZ-standard [12]. Una delle caratteristiche più importanti della LIN è il meccanismo di sincronizzazione che permette il ripristino dell'orologio dai nodi *slaves* senza alcun tipo di dispositivo oscillatorio, solo il nodo *master* ha la possibilità di utilizzare questi dispositivi. Nel momento in cui si vuole aggiungere un nodo *slave* alla rete non è necessaria nessuna modificare hardware o software degli altri nodi (flessibilità della rete).

Capitolo 4

Prova in slitta

Uno degli strumenti utilizzati nel Centro di Sicurezza Fiat per svolgere alcune delle prove di sicurezza sui veicoli è il sistema slitta ad alte decelerazioni, il quale permette, simulando diverse tipologie di impatto, di valutare quelle che sono i danni causati dalle forze inerziali al veicolo o agli occupanti. La slitta presente all'interno del centro è la "*MNServoSled*" dell'azienda *SeattleSafety* (Fig. 4.1), azienda leader nel mercato dei test distruttivi e non distruttivi per veicoli offrendo tecnologia avanzata, prodotti e servizi completi [13].



Figura 4.1: Componenti ServoSled System.

Il principio di funzionamento di una prova su slitta è il seguente: si fissa la scocca del veicolo alla slitta, successivamente le si imprime una certa decelerazione, stabilita in

base al tipo di prova che bisogna svolgere, ed infine si vanno a valutare gli effetti della decelerazione sul veicolo.

I componenti principali che costituiscono il *ServoSledSystem* sono (Fig. 4.2):

- **Slitta** (Sled), vera e propria slitta sulla quale viene fissata la scocca del veicolo sul quale bisogna eseguire la prova
- **Pistole** (Piston), pistone idraulico che permette di imprimere la decelerazione desiderata alla slitta
- **Sistema di frenatura** (Servo Brake), serie di freni (Braking Blades) che permettono di modulare la curva di decelerazione della slitta così da simulare in maniera più accurata un determinato tipo di impatto
- **Stabilizzatore del sistema di acquisizione video** (Camera outrigger), supporto metallico solidale alla slitta che permette il montaggio di una serie di telecamere per facilitare l'acquisizione video di ciò che accade al veicolo durante la prova

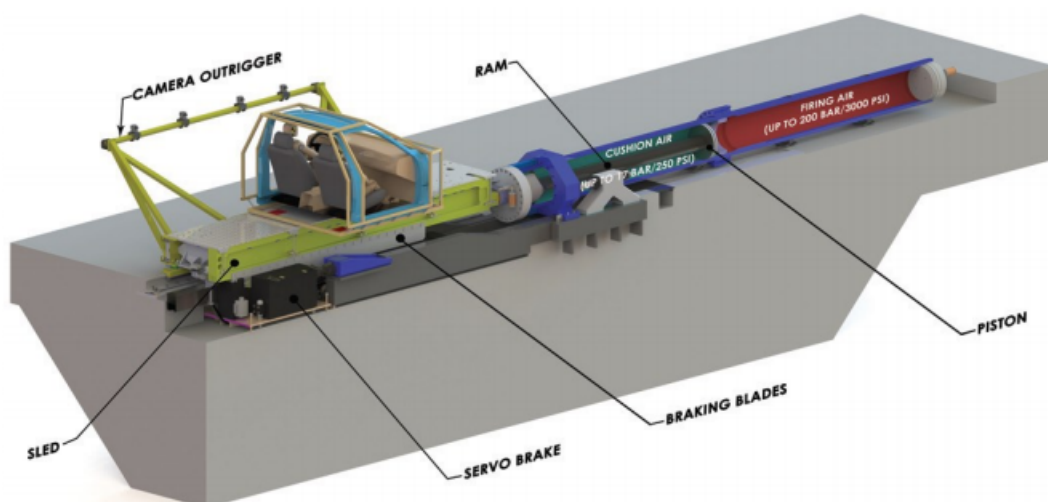


Figura 4.2: Componenti ServoSled System.

Il modello presente nel Centro di Sicurezza è il "3.1MN ServoSled" e rappresenta il modello più potente (Tab. 4.1) di quelli offerti dalla "Seattle Safety", le caratteristiche più importanti che differenziano i vari modelli sono la decelerazione massima che si riesce ad imprimere alla slitta e il peso che si può caricare.

	3.1 MN ServoSled
Forza nominale	3100 [kN]
Corsa disponibile	200 [mm]
Velocità massima	90 [kph]
Accelerazione di picco	122 [g]
Massimo jerk	30 [$\frac{g}{ms}$]
Carico massimo	4000 [kg]
Dimensioni slitta (L x W)	4.0 [m] x 1.68 [m]

Tabella 4.1: Caratteristiche 3.1 MN ServoSled

Il vantaggio principale di utilizzare la slitta per prove di sicurezza è che, essendo prove non distruttive, possono essere ripetute più volte e quindi di riutilizzare anche lo stesso veicolo per eseguire diverse prove con grande accuratezza e ripetibilità in quanto si riduce l'effetto dell'aleatorietà che invece si ha maggiormente in crash test utilizzando full-scale (intero veicolo). Tramite la ServoSled è possibile simulare alcuni degli impatti più importanti e quindi le relative prove di rating:

- **Impatto frontale** (FMVSS 208, EuroNCAP)
- **Impatto con offset** (EuroNCAP, IIHS)
- **Impatto laterale** (FMVSS 214, IIHS, and EuroNCAP)

Un'altra possibilità è quella di definire programmi ottimizzati per soddisfare i veri test di conformità riguardanti dei sedili e i sistemi di ritenuta del veicolo. È possibile validare:

- **Sedili** (ECE R17, R80, GB15083, FAA)
- **Sedili per bambini** (ECE R44, FMVSS 213)

- **Cinture di sicurezza** (ECE R16, GB14166)
- **Colpo di frusta** (FMVSS 202a, EuroNCAP, IIHS)

4.1 Piatto slitta

Uno dei passaggi più delicati della preparazione di una prova di slitta è quello di interfacciare il veicolo da testare con la slitta, risulta molto delicato in quanto spesso le decelerazioni sono molto elevate e di conseguenza anche le forze inerziali a cui è sottoposto il veicolo. Quindi se l'interfaccia non viene fatta con un fissaggio robusto si può avere il distacco della scocca del veicolo dalla slitta e il pericolo di causare danni a persone o cose nelle vicinanze, senza considerare il fallimento della prova. L'interfaccia è realizzata tramite il *piatto della slitta*, una lastra d'alluminio che presenta una serie di fori tramite i quali è possibile realizzare il fissaggio diretto della scocca oppure installare dei sistemi di aggancio rapido (*Quick Change System*) per facilitare e migliorare il fissaggio. Le dimensioni di del *piatto della slitta* sono 66.0 [inch] x 157.5 [inch] (1676.4 [mm] x 4000.5 [mm]).

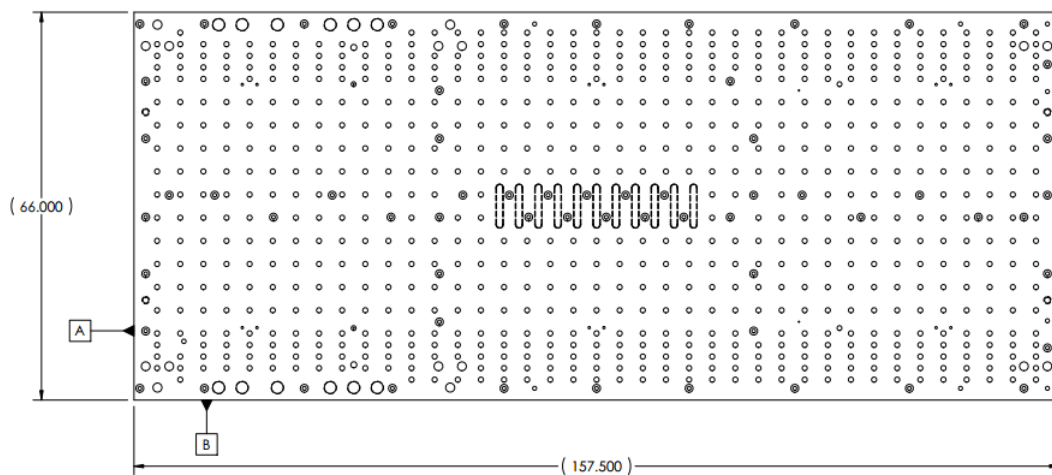


Figura 4.3: Piatto della slitta.

4.2 Quick Change System

Dato che in alcuni casi è necessario avere un ancoraggio della scocca più sicuro e che permetta di resistere a forze d'inerzia molto severe si ricorre all'utilizzo del *Quick Change System*, tale sistema è formato da un insieme di telai metallici prefabbricati che vengono montati sulla slitta. Il *Quick Change System* è formato da: un telaio d'alluminio montato nella parte anteriore (*Front Frame Assembly*, Fig. 4.6), telaio metallico ad H (*H-Frame*, Fig. 4.8) che viene fissato sul piatto della slitta e quattro supporti angolari di fissaggio (*Mount Blocks*, Fig. 4.7) per fissare il telaio ad H alla slitta [14].

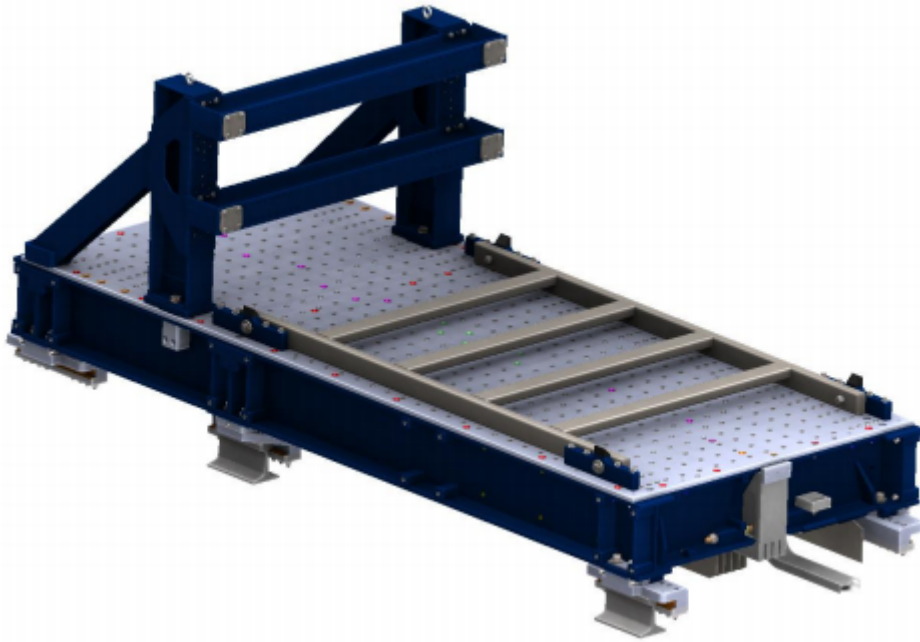


Figura 4.4: Quick Change System montato sulla slitta.

Il rating di carico del *Quick Change System* è basato sulle forze d'inerzia attive sui fissaggi, quindi si possono avere accelerazioni superiori solo se il carico sulla slitta è inferiore. Il rating di base è accelerazione di 50 g con un carico sulla slitta di 910 [kg] (2000 [lb]), l'accelerazione massima che si può avere è di 500 g con un carico di 500 [kg] (1100 [lb]), invece, il carico massimo che si può avere è di 1360 [kg] (3000 [lb]) con accelerazione di 33 g.

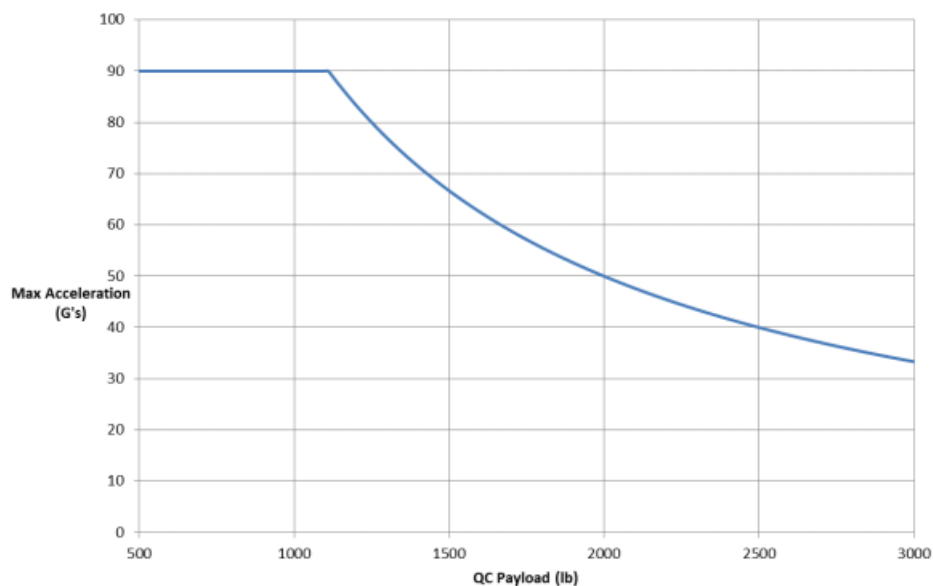


Figura 4.5: Diagramma di capacità del Quick Change System.

4.2.1 Front Frame Assembly

Il Front Frame è composto da due telai verticali (uno a destra e uno a sinistra) e da due traverse orizzontali sulle quali sono presenti gli attacchi per la scocca. Lo scopo dei telai verticali è quello di trasferire il carico dalla scocca al piano della slitta così da distribuire le sollecitazioni.

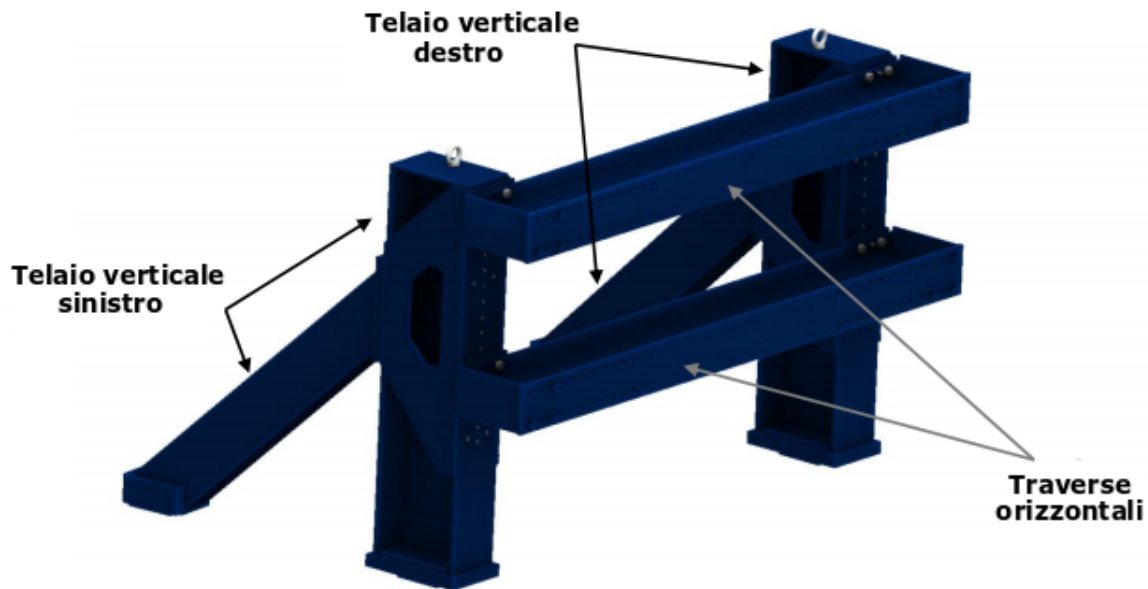


Figura 4.6: Front Frame Assembly.

Il Front Frame Assembly, come tutto il Quick Change System, è progettato per predisporre diversi punti di attacco in modo da ottenere il fissaggio migliore che ottimizzi la distribuzione dei carichi e minimizzare il peso della struttura. Le traverse orizzontali infatti sono progettate per distribuire i carichi sui telai verticali e devono essere posizionate nella posizione più bassa possibile così da minimizzare le reazioni vincolari sui telai verticali durante il test. In fase di montaggio può essere pre-assemblato e trasportato con il carroponete sulla slitta tramite gli appositi ganci oppure può essere assemblato direttamente sulla slitta.

4.2.2 Mount Blocks

I quattro Mount Blocks assicurano il telaio ad H al piatto della slitta. Ognuno dei supporti angolari è fissato alla slitta tramite quattro viti M16 x 2.0 x 100mm Class 10.9 HCS. Tra Mount Block e H-Frame si ha una distanza di 3 [mm] la quale permette di minimizzare il potenziale di interferenza dovuto alla distorsione durante la saldatura della scocca di test al H-frame.

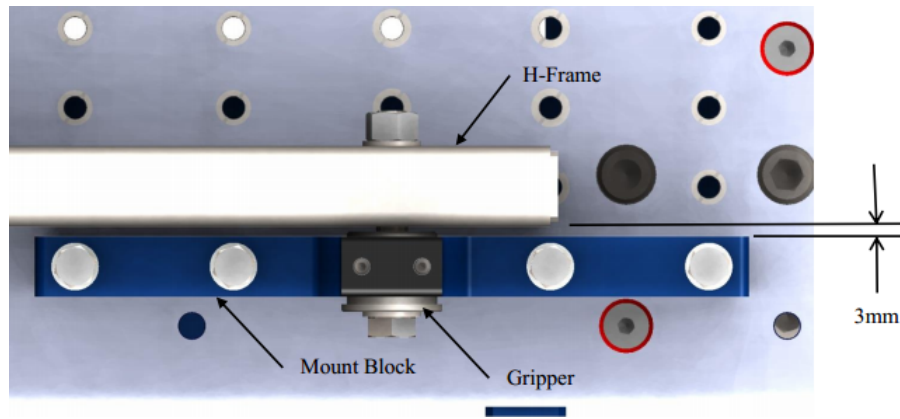


Figura 4.7: Configurazione Mount Block/H-Frame.

H-Frame è collegato al Mount Block tramite un gripper che viene messo a contatto con il telaio e si utilizza una vite M20 x 2.5 x 130 [mm] per bloccare l'H-Frame al gripper. Per ridurre il movimento durante il test, ogni gripper ha una serie di denti che a contatto con l'H-Frame minimizzano il gioco. Questi denti scavano nel telaio e invece il bullone assicura il serraggio. Per ottenere un bloccaggio ottimale è richiesto che la dentatura sia ben pulita e non presenti zone danneggiate ed inoltre per assicurare un adeguato serraggio tra Mount Block e H-Frame è necessaria una coppia minima del bullone di 540 [Nm], anche se tale operazione non è richiesta ad ogni test effettuato. I quattro Mount Blocks permettono anche lo sgancio rapido di tutta la struttura, in quanto basta svitare i quattro bulloni per poter liberare tutta la struttura e poterla portare via in caso di pericolo.

4.2.3 H-Frame

L'H-Frame è formato da delle travi d'acciaio saltate con estremità tappate e tubi rinforzati nei quattro punti d'attacco. È possibile ottenere diverse strutture variando la lunghezza e la larghezza della struttura, si può andare da 1500 [mm] di lunghezza x 850 [mm] di larghezza fino a 2500 [mm] di lunghezza x 1450 [mm] di larghezza e si posizionano i quattro Mount Blocks per in accordo con le dimensioni del H-Frame.

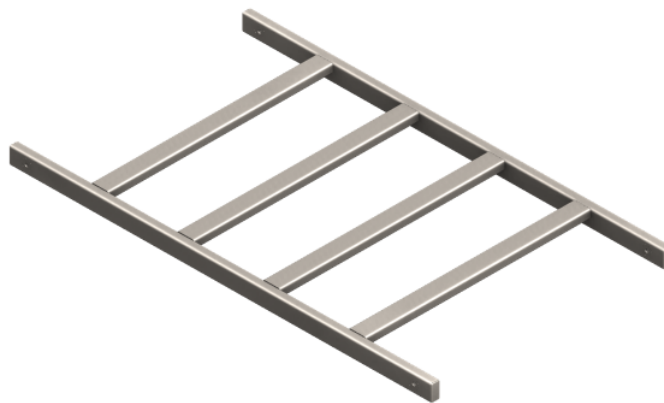


Figura 4.8: H-Frame.

Capitolo 5

Prove preliminari svolte

Prima di effettuare la prova in slitta su tutti i componenti ad alta tensione sono state svolte due prove preliminari che sono risultate propedeutiche alla progettazione della prova completa e alla sua effettiva realizzabilità.

Le due prove svolte sono state:

- **prova batteria 12 V**
- **prova teleruttore**

5.1 Prova batteria 12 V

Questa è stata una prova molto importante in quanto è stata in assoluto la prima prova fatta in slitta su una batteria non blindata. Infatti il rischio principale nel sottoporre una batteria 12 [V] a forti accelerazioni è quello di avere perdite di elettrolita al suo interno, ciò avviene poiché le celle che la compongono non sono sigillate. Nel caso specifico l'obiettivo della prova era quello di verificare che i fissaggi della batteria resistessero alle forze d'inerzia causate dal peso della batteria in seguito ad un urto, questa prova aggiuntiva è risultata necessaria in quanto nel normale crash in full-scale tali sistemi di fissaggio avevano dato dei problemi.

5.2 Prova teleruttore

La seconda prova effettuata è stata una prova su slitta sul teleruttore di una batteria ad alto voltaggio. Come già esposto precedentemente i teleruttori si trovano all'interno del *Battery System* ed hanno la funzione di staccare la batteria ed interrompere il flusso di corrente tra la batteria e i vari utilizzatori. Generalmente si ha la loro chiusura nel momento in cui si dà il *key-on* e si ha l'apertura in modalità *key-off* e in seguito ad un qualche crash, il quale aziona la centralina che invia il segnale d'apertura ai teleruttori.

L'allestimento di questa prova di slitta ha l'obiettivo di verificare che, in condizione di teleruttori aperti, questi non si chiudano in seguito alla accelerazione e nel caso in cui dovesse avvenire la chiusura a quale valore di accelerazione essa avviene e per quanto tempo.

Per lo svolgimento di questa prova sono stati necessari solamente due componenti:

- **teleruttore**
- **batteria 12 V ausiliaria:** batteria ausiliaria al litio che viene utilizzata al posto della batteria 12 V dell'autoveicolo per alimentare strumenti o meccanismi del veicolo soprattutto in fase di test

Sono stati collegati i poli della batteria 12 [V] ai due poli del teleruttore per alimentarlo e il tutto collegato ad un monitor di tensione così, nel caso di contatti del teleruttore aperti, sul monitor si leggono i 12 [V] della batteria, nel caso in cui invece i teleruttori si dovessero chiudere si avrebbe un cortocircuito e di conseguenza sul monitor di tensione si avrebbe un calo della tensione rispetto a quella che normalmente viene erogata dalla batteria 12 V.

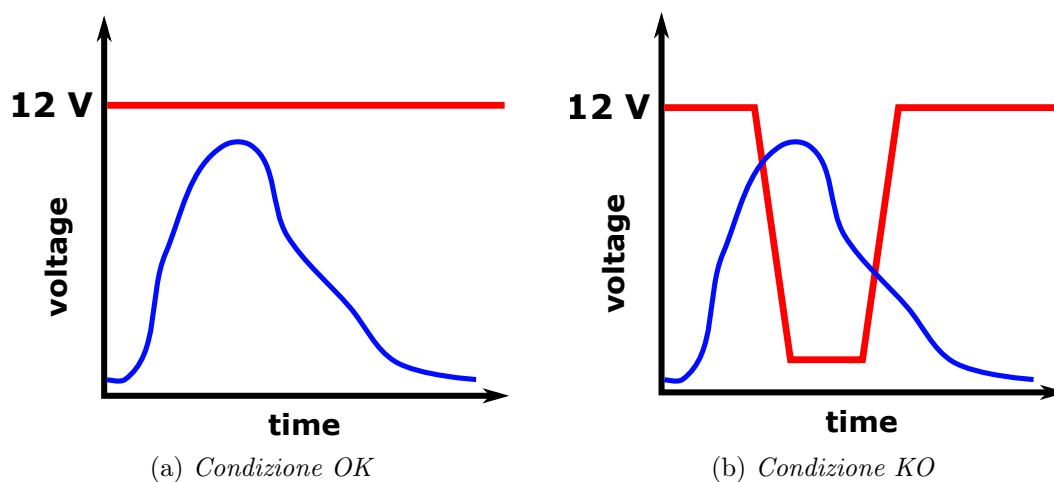


Figura 5.1: Possibili caratteristiche della tensione nel teleruttore.

Come si evince dai grafici dove la curva rossa rappresenta la tensione registrata tramite il monitor di tensione e la curva blu rappresenta una generica curva d'accelerazione impressa al sistema:

- **grafico a:** si parte dalla condizione in cui i contatti del teleruttore sono aperti e di conseguenza a tempo 0 sul monitor si leggono 12 [V], avviene la prova e la tensione letta rimane costante, ciò vuol dire che non è avvenuta la chiusura dei contatti del teleruttore e quindi la prova è superata.

- **grafico b:** in questa condizione si parte sempre dalla condizione in cui i contatti del teleruttore sono aperti e di conseguenza a tempo 0 sul monitor si leggono 12 [V], avviene la prova e si nota che ad un certo istante di tempo si ha un picco verso il basso. Ciò indica che per un lasso di tempo è avvenuta la chiusura dei contatti del teleruttore che, però, quando l'accelerazione è diminuita si sono riaperti. In questo caso è possibile risalire al valore di accelerazione al quale avviene la chiusura del teleruttore e il valore al quale avviene la riapertura, potendo quindi calcolare anche per quanto tempo c'è il cortocircuito.

La misura della tensione ci dice solo se il contatto è avvenuto o meno ma non ci permette di fare una valutazione sulla qualità del contatto stesso, cioè se il contatto è stato solo parziale o completo. Per avere informazioni più rilevanti avremmo dovuto monitorare anche la corrente erogata dal dispositivo durante la prova, ciò non è stato possibile in quanto i valori di corrente erogati sono dell'ordine dei mA e non si avevano a disposizione strumenti (pinza amperometrica) adeguati per garantire una misura affidabile.

Il layout della prova prevede una piastra d'acciaio, interfaccia con il piatto della slitta, sulla quale sono stati fissati il teleruttore da testare e la batteria 12 V. Per garantire il fissaggio, il teleruttore è stato bloccato con una calotta metallica che evita movimenti laterali, verticali e scorrimento posteriore, per evitare lo scorrimento anteriore, invece, è stato messo un blocco in teflon, il quale si trova quasi a contatto con i contatti del teleruttore. È stato scelto questo materiali per evitare che i contatti potessero fare cortocircuito a contatto con qualche superficie metallica. Oltre al monitor di tensione sulla batteria, il sistema è stato anche stumentato con due *accelerometri triassiali*: uno sul teleruttore e uno sul sistema di fissaggio del teleruttore stesso. Tramite questi accelerometri siamo in grado di verificare l'effettiva decelerazione subita dal teleruttore e se ci sono stati movimenti relativi tra il teleruttore stesso e il suo sistema di fissaggio, inoltre possiamo confrontare i dati registrati con i dati dei due accelerometri presenti sul piatto della slitta per verificare che tutto il sistema abbia subito lo stesso *pulse*. Dal segnale di accelerazione poi tramite derivazione è possibile ottenere, con un certo errore, il segnale di velocità e di spostamento. Tutti i segnali presentati sono stati precedentemente filtrati in frequenza con un filtro passa-basso con frequenza di taglio a 60 [Hz].

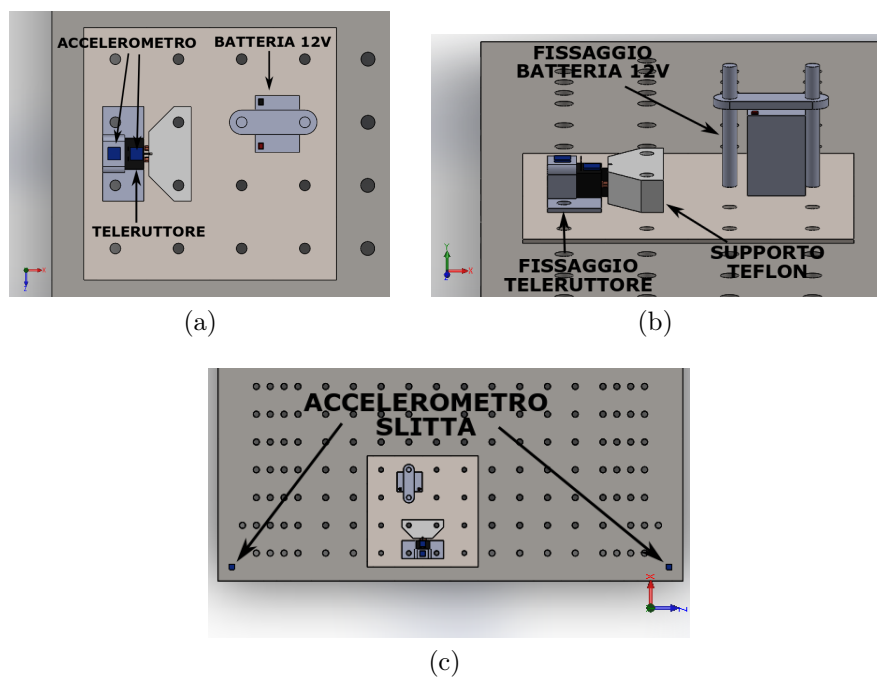


Figura 5.2: Schematizzazione prova su teleruttore.

Come si vede dall'andamento della decelerazione, (Fig. 5.3) il tempo di prova e quindi il tempo significativo è di circa $80[ms]$, quello che succede dopo non è di grande interesse ma noi lo consideriamo anche per vedere come si assesta il sistema dopo la fine della prova. Per simulare le diverse condizioni di urto, sono state effettuate tre prove in condizioni differenti, infatti la piastra è stata progettata in maniera tale da poter esser semplicemente ruotata sul piatto della slitta.

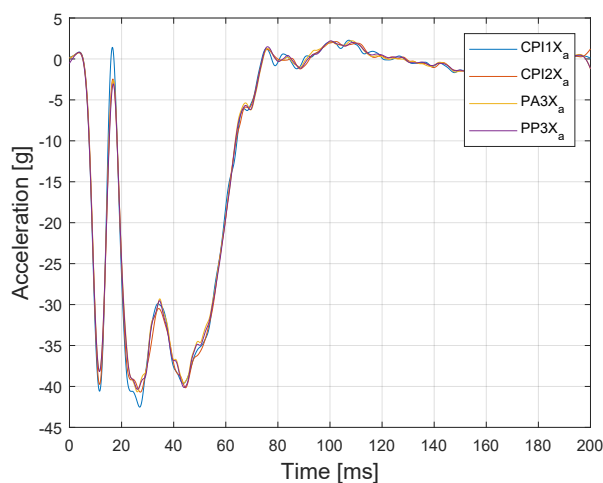


Figura 5.3: Sovrapposizione segnali accelerometri slitta e accelerometri sistema da testare (direzione x)

Nome segnale	Corrispondente fisico
CPI1X	accelerometro 1 slitta
CPI2X	accelerometro 2 slitta
PA3X	accelerometro teleruttore
PP3X	accelerometro supporto teleruttore
M_BAT	monitor batteria

Tabella 5.1: Segnali monitorati test teleruttore.

Gli urti simulati sono stati:

- **Urto frontale**
- **Urto laterale**
- **Urto posteriore**

5.2.1 Urto frontale

In questo caso la piastra è stata posizionata sulla slitta con i contatti del teleruttore in direzione x , direzione decelerazione applicata dalla slitta. In questa posizione i contatti mobili del teleruttori si trovano nella condizione peggiore, in quanto la forza d'inerzia agisce nella direzione di chiusura dei contatti (freccia rossa fig. 5.4 rappresenta la direzione di spinta). Questa prova è stata ripetuta due volte per dare un minimo di ripetibilità alla procedura e alla prova stessa.

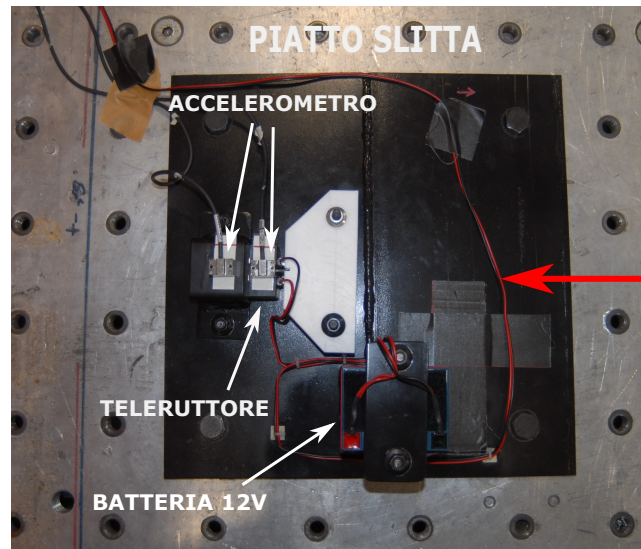


Figura 5.4: Layout prova urto frontale.

Il pulse, la decelerazione impressa alla slitta, simulava un urto frontale contro barriera rigida a $56 \left[\frac{km}{h} \right]$.

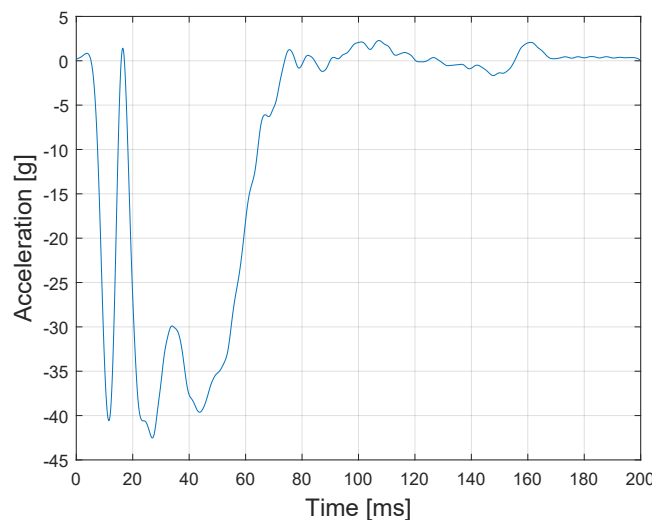


Figura 5.5: Pulse urto frontale barriera rigida a $56 \left[\frac{km}{h} \right]$.

Come è possibile vedere dal grafico il valore di massima decelerazione a cui è sottoposto il sistema da testare è di $-42.5222[g]$ ed avviene a $26.9500[ms]$ dall'inizio della prova. Il segnale più importante acquisito per capire il risultato della prova è ovviamente quello derivante dal monitor di tensione, il quale ci dice se è avvenuta o meno la chiusura dei contatti.

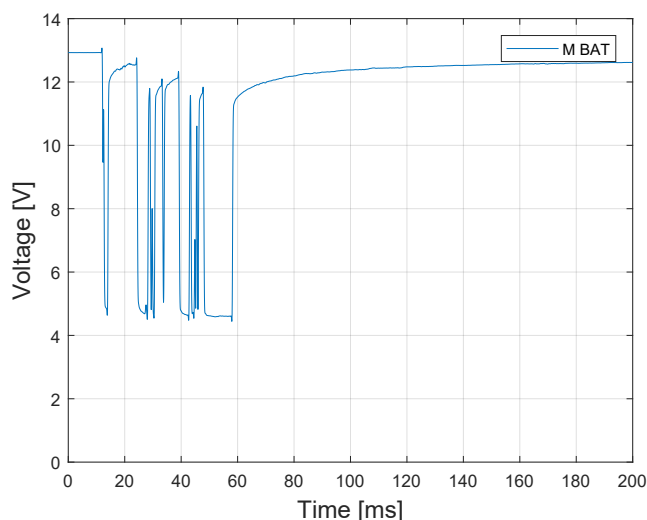


Figura 5.6: Monitor di tensione su batteria per prova di urto frontale.

Il segnale del monitor di tensione (Fig. 5.6) ci mostra come all'inizio della prova la tensione della batteria sia poco più di $12[V]$, valore nominale della batteria, e come durante la prova, a causa delle forze d'inerzia, ci siano ripetuti cali di tensione (valore minimo di $4.4431[V]$) che rappresentano la chiusura dei contatti metallici all'interno del teleruttore e portano ad un cortocircuito. Il valore di tensione non arriva a $0[V]$ perché il contatto avviene in per tempi molto brevi e dato che la batteria utilizzata è una batteria abbastanza robusta, riesce comunque a mantenere un certo valore di tensione minima. Inoltre bisogna aggiungere che alcuni dei cali di tensione che si riscontrano sono degli *spikes*, picchi di tensione di breve durata, in questo caso per breve durata di intende dell'ordine di $1 - 2[ms]$. Tali *spikes* non risultano significativi, in quanto dal punto di vista fisico non è possibile che i contatti si chiudano e si riaprano in un tempo così breve.

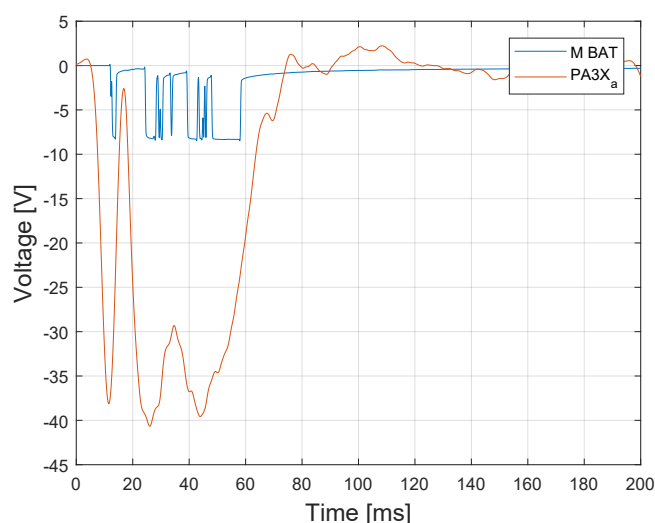


Figura 5.7: Sovrapposizione segnale monitor di tensione e pulse per prova di urto frontale.

Nel caso del grafico 5.7 per ottenere una sovrapposizione tra il pulse (Fig. 5.5) e il segnale di tensione (Fig. 5.6) e quindi fare una stima di quello che è il valore di decelerazione che ha portato alla chiusura dei contatti metallici, al segnale di tensione è stato tolto il valore nominale di tensione ($12.9296[V]$) così da avere entrambi i segnali che partono da 0. Si nota come l'andamento di apertura e chiusura dei contatti segua perfettamente il pulse: inizialmente si ha una forte decelerazione e il conseguente calo della tensione (chiusura contatti), successivamente si ha un aumento dell'accelerazione e la tensione torna intorno ai $12[V]$, infine si ha una nuova decelerazione più lunga interrotta solo da un picco verso l'alto e anche in questo caso si hanno due cali di tensione prolungati finché il pulse non ritorna sullo 0, fine prova con decelerazione nulla, e la tensione ritorna al suo valore nominale. Il segnale di tensione insegue quindi il segnale di decelerazione solo che ciò avviene con un certo ritardo dovuto al tempo fisico che i contatti ci mettono a chiudersi o a riaprirsi e anche perché il segnale della tensione non riesce a raggiungere il monitor in tempi così brevi. Ciò vuol dire che alla fine i contatti restano aperti e che il passaggio di corrente dovuto al cortocircuito non è stato tale da far fondere i contatti e saldarli tra di loro. In caso contrario probabilmente avremmo avuto un valore di corrente molto elevato e quindi un possibile principio d'incendio.

5.2.2 Urto laterale

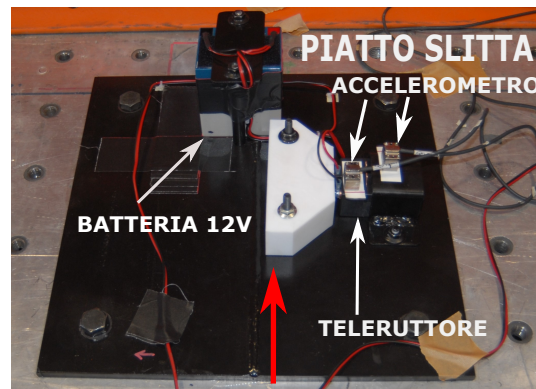


Figura 5.8: Layout prova urto laterale.

L'intero sistema da testare è stato girato di 90° rispetto alla condizione precedente così da simulare un urto laterale (freccia rossa fig. 5.8 rappresenta la direzione di spinta) e capire se anche in questo caso si ha la chiusura dei contatti.

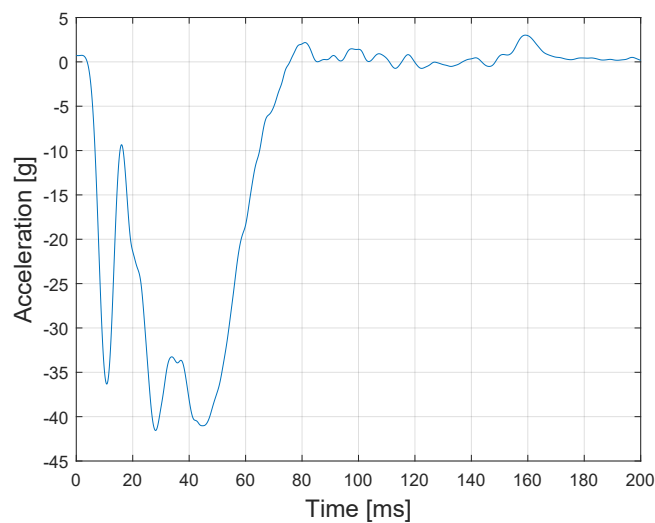


Figura 5.9: Pulse urto laterale.

Anche in questo caso il pulse (Fig. 5.9) presenta un andamento molto simile a quello di Fig. 5.5, dove sono presenti oscillazioni della decelerazione anche se in questo caso, come si vede, il valore di minima decelerazione non si raggiunge subito e anche i freni della slitta agiscono in maniera più moderata.

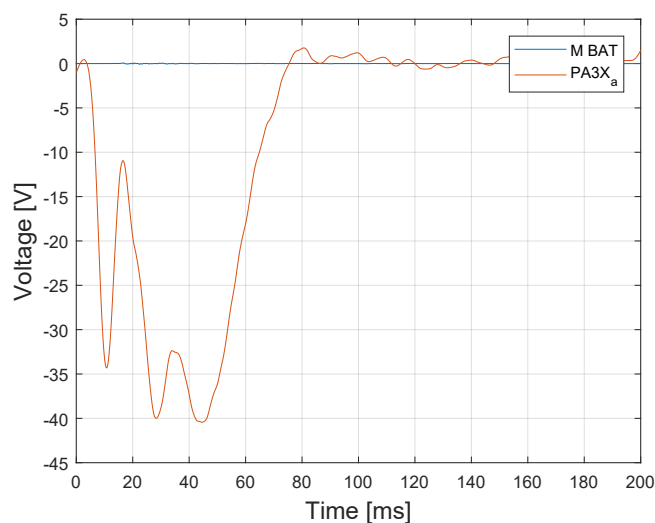


Figura 5.10: Monitor di tensione su batteria per prova di urto laterale.

In questo caso (Fig. 5.10) l'andamento della tensione è praticamente piatto, tranne delle piccole oscillazioni di pochi mV ma comunque tutte intorno al valore nominale della tensione della batteria. Tali oscillazioni risultano dunque non significative, quindi possiamo affermare con sicurezza che non c'è stata nessuna chiusura dei contatti del teleruttore, comportamento già ipotizzato a priori.

5.2.3 Urto posteriore

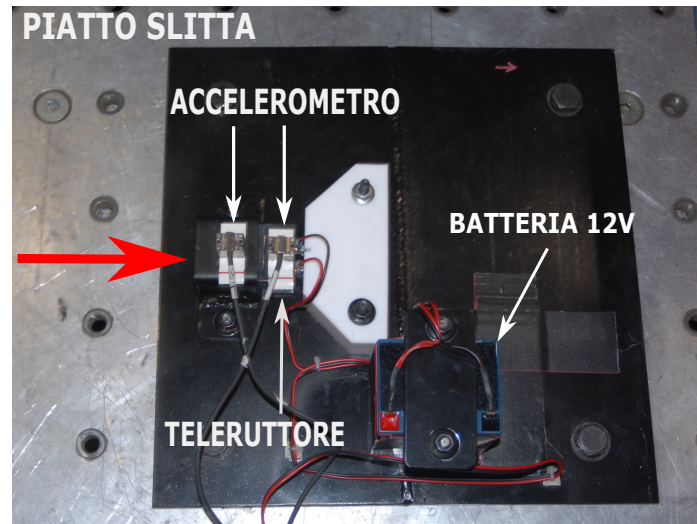


Figura 5.11: Layout prova urto posteriore.

Per questa prova la piastra metallica (freccia rossa fig. 5.11 rappresenta la direzione di spinta) è stata ruotata di altri 90° rispetto all'urto laterale e di 180° rispetto all'urto frontale.

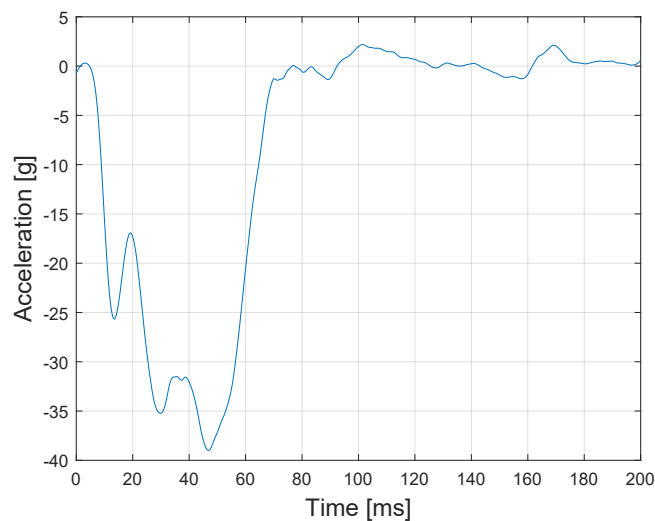


Figura 5.12: Pulse urto posteriore.

Stesso discorso fatto nel caso dell'urto laterale può esser fatto nel caso di un urto posteriore, anche se in questo caso il pulse risulta in assoluto il meno severo (Fig. 5.12), infatti si raggiunge un valor minimo di decelerazione pari a $-38.9900[g]$ che avviene a $46.8500[ms]$.

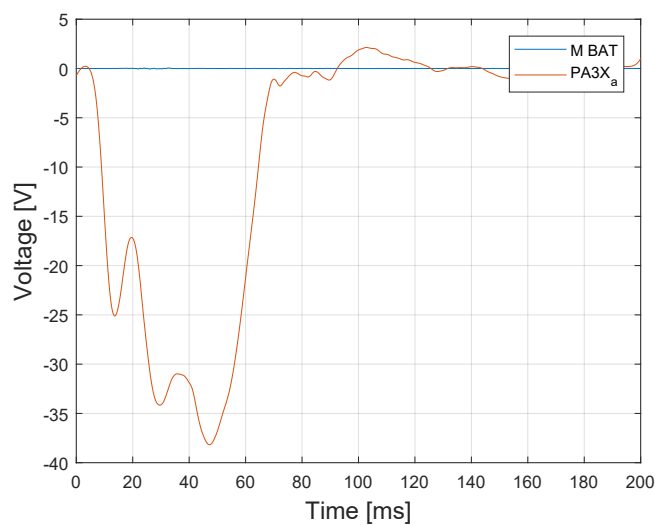


Figura 5.13: Sovrapposizione segnale monitor di tensione e pulse per prova di urto posteriore.

Dallo studio della fig. 5.13 risulta evidente come anche in questa prova non ci sia contatto alcuno tra i contatti del teleruttore, infatti il valore della tensione risulta praticamente costante durante tutta la prova e rimane pari al valore iniziale di tensione, 12.9296[V].

Capitolo 6

Progettazione prova in slitta HV

Uno dei punti fondamentali quando si decide di eseguire una nuova tipologia di prova è quello di definire la *procedura di sicurezza*, necessaria per esseri sicuri che la prova venga svolta il più possibile in condizioni di sicurezza sia per gli operatori sia per gli oggetti che si trovano in prossimità della zona di prova. Nel momento in cui si stila questa procedura bisogna individuare:

- le **criticità** della prova
- le condizioni di **massima severità**
- le situazioni che possono portare a **pericoli**

Per lo svolgimento di questo lavoro di tesi si è progettata una prova su slitta per testare i componenti ad alto voltaggio di una vettura ibrida (test mai effettuato prima). Con questa tipologia di prova si va a valutare la resistenza dei componenti HV alle forze inerziali causate da una forte decelerazione. Il componente di maggiore importanza è sicuramente la batteria in quanto è l'unico che possiede intrinsecamente l'alto voltaggio (400 [V]) e presenta il peso maggiore, inoltre alimenta gli altri componenti e il cui danneggiamento potrebbe causare condizioni di criticità. Le situazioni di maggior pericolo quando si eseguono test su batterie agli ioni di litio sono:

- **Incendio**
- **Esplosione**
- **Esposizione a sostanze tossiche**

6.1 Condizioni di prova

Il primo passo da fare dopo aver definito la finalità della prova, è quello di andare a impostare le condizioni di prova per sollecitare in maniera adeguata il provino e nel caso di una prova su slitta ciò vuol dire andare a decidere quale deve essere la curva di decelerazione (*pulse*) da dare alla slitta. Poi a seconda della decelerazione massima che si desidera e del peso complessivo della struttura da testare si calcola quale deve essere la forza che i pistoni devono imprimere alla slitta.

Punto	Tempo [ms]	Accelerazione/decelerazione [g]
A	10	0
B	34	65
C	38	65
D	46	0
E	0	16
F	25	77
G	48	77
H	60	0

Tabella 6.1: Valori accelerazione/decelerazione curva minima e massima impulso di prova.

Per questa prova dunque si è deciso di utilizzare un *pulse* molto severo (Fig. 6.1) per sollecitare la componentistica ad alto voltaggio, infatti, come si vede dal grafico precedente, si raggiungono valori massimi di accelerazione pari a 77g ($= 755.37 \left[\frac{m}{s^2}\right]$).

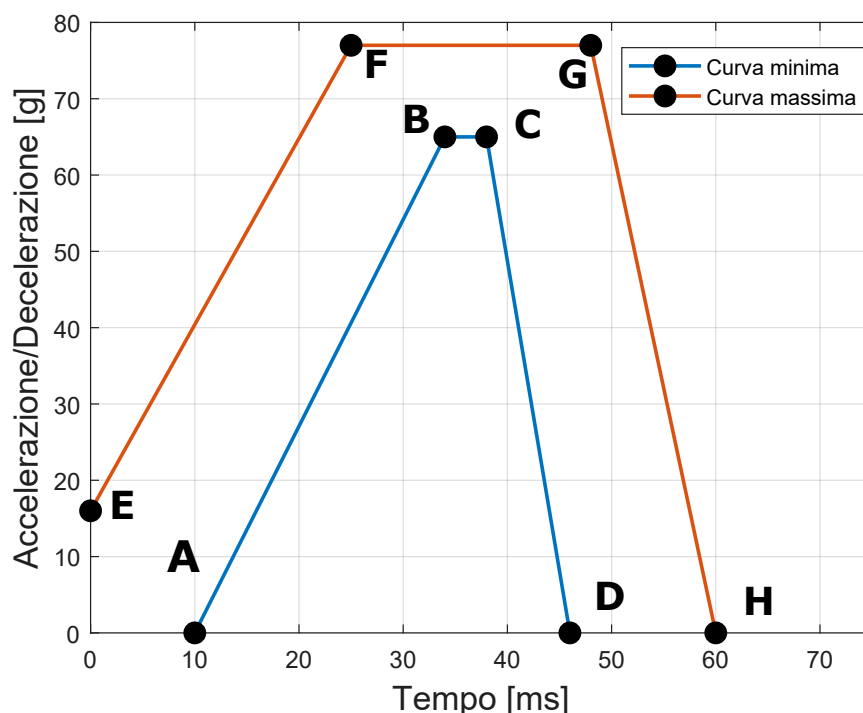


Figura 6.1: Curva minima e massima dell'impulso di prova.

6.2 Progettazione telaio di supporto

Proprio a causa di questi elevati valori di decelerazione è stato necessario progettare una struttura per supportare i componenti robusta e con sistemi di sgancio rapido in caso di incendio o di qualche altra situazione di pericolo.

Si è preferito creare un telaio ad hoc piuttosto che utilizzare la scocca della vettura stessa, tale decisione è stata presa a causa delle difficoltà che si sarebbero riscontrate nel realizzare una scocca rinforzata da fissare alla slitta capace di resistere a forze d'inerzia così importanti considerando che in questo test il peso dei componenti è superiore rispetto a quelli che sono i normali componenti testati in slitta. Per la realizzazione del concept di questo telaio è stato utilizzato il software di modellazione 3D "*SolidWorks*".

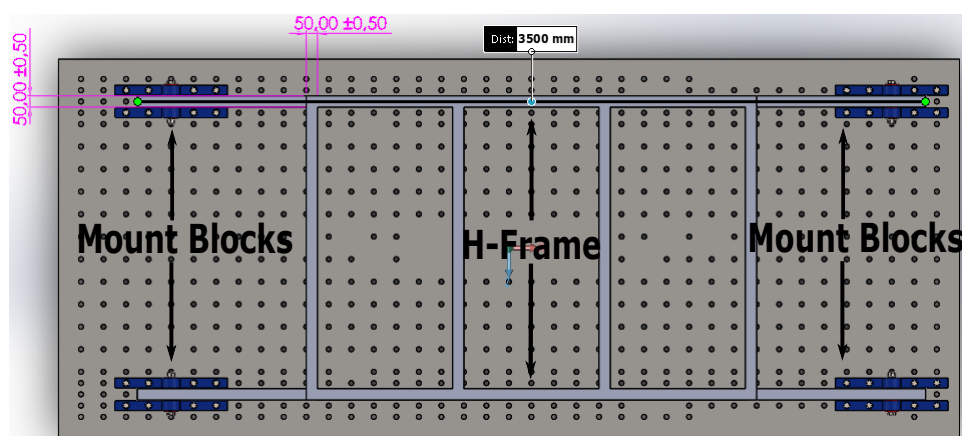


Figura 6.2: Riproduzione piatto slitta con telaio di base.

Il primo passo è stato quello di riprodurre il piatto della base della slitta così da poter progettare al meglio i fissaggi e le misure del telaio da realizzare.

Componente	Peso [kg]
Batteria HV	145
P1f	12
P4	78
PIM	10
IDCM	11
Batteria 12 V	14

Tabella 6.2: Pesi componenti da testare.

Il fissaggio del telaio al piatto della slitta è stato effettuato sfruttando i *mount blocks* descritti precedentemente tra i *Quick Change System*, ne sono stati utilizzati due per ogni angolo, e, invece, per la base del telaio ho preso ispirazione dal *H-frame* fornito sempre dalla casa costruttrice della slitta.

Su questo telaio di base, con dimensioni 3500 [mm] di lunghezza e 1350 [mm] di larghezza, si sono sviluppate varie versioni della struttura, frutto di un processo volto ad identificare e risolvere i problemi che si sono presentati in fase di progettazione.

6.2.1 Prima versione telaio di supporto

Prima versione della struttura prevedeva una struttura di 50 [mm] di spessore posizionato al centro del telaio di base, questa incastellatura ha dimensioni: 2000 [mm] di lunghezza, 1350 [mm] di larghezza e altezza massima di 300 [mm].

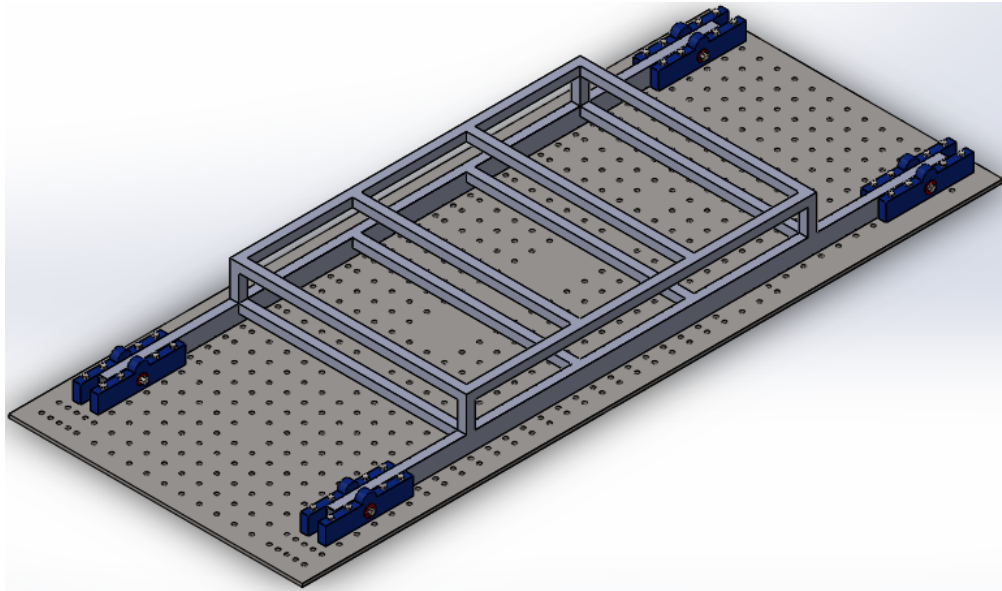


Figura 6.3: Versione 1.0 struttura.

Successivamente, per conferire maggior rigidezza alla struttura nella direzione di maggior sforzo, sono state inserite delle travi inclinate a 45° saldate ai quattro angoli del telaio e, per avere la possibilità di portar via l'intero sistema in caso di pericolo, sono stati inserite delle travi cave in acciaio dove inserire le benne del muletto una volta svitati i fissaggi che tengono la struttura solidale al piatto della slitta (Fig. 6.4).

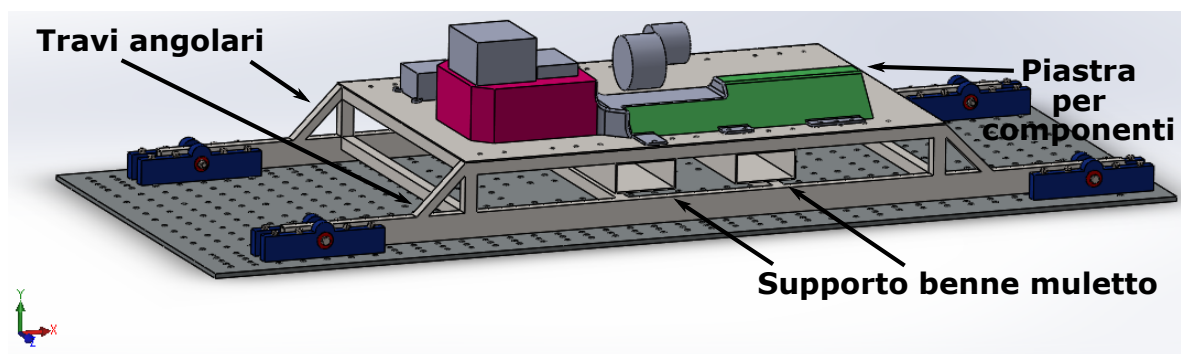


Figura 6.4: Versione 1.1 struttura.

Inoltre è presente anche una piastra d'acciaio sulla quale verranno fissati tutti i componenti da testare di dimensioni: 2000 [mm] di lunghezza, 1350 [mm] di larghezza e 5 [mm] di spessore.

Come detto precedentemente, la cosa più importante quando si svolge una prova è che questa sia fatta in sicurezza sia per gli operatori sia per gli oggetti nelle vicinanze e dato

che, per poter svitare i quattro *Mount Blocks*, è necessario che gli operatori si avvicinino alla struttura, potenzialmente in condizione di non sicurezza, ulteriore evoluzione della struttura è stata quella di coprire la parte centrale della struttura con una cover metallica (Fig. 6.5) così da contenere il pericolo e permettere agli operatori di effettuare il loro lavoro in sicurezza.

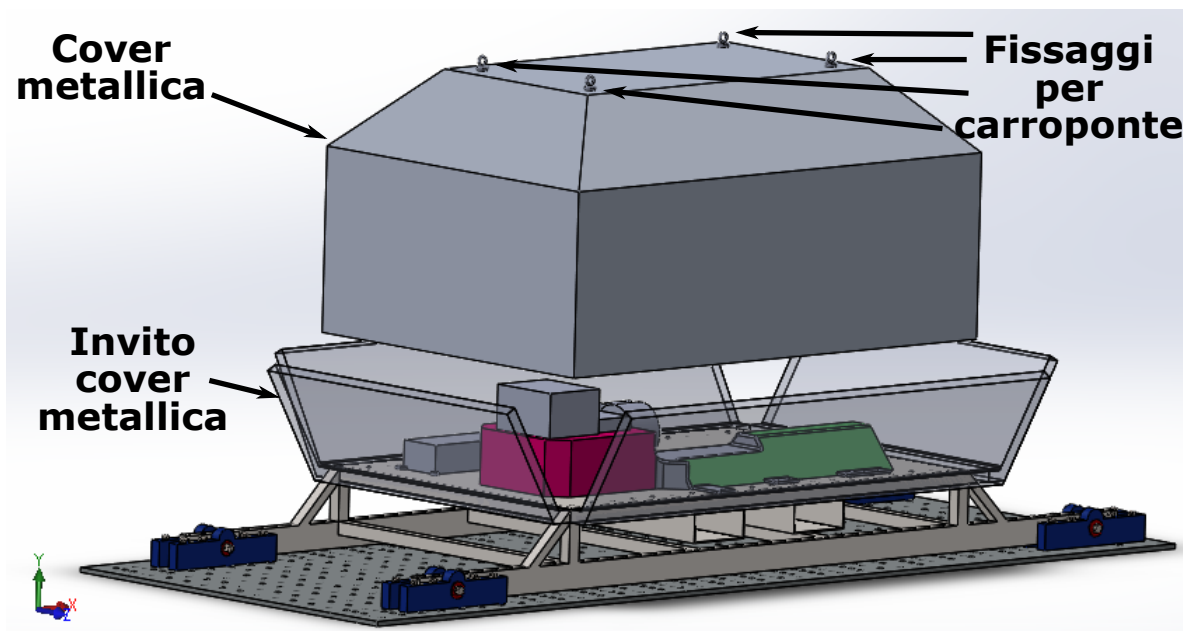


Figura 6.5: Versione 1.2 struttura.

Tale cover metallica viene posizionata al di sopra della struttura durante la prova e in caso di eventuale pericolo viene calata tramite l'utilizzo del carro ponte. Per essere sicuri che il centraggio avvenga nella maniera giusta si è pensato di aggiungere quattro piastre metalliche piegate, le quali fungono da invito per la cover (Fig. 6.5) e assicurano che essa assuma la giusta posizione.

6.2.2 Seconda versione telaio di supporto

In un secondo momento considerando sempre la necessità di dover portar via l'intera struttura nel minor tempo possibile, si è deciso di cercare un modo per avere una seconda modalità di sgancio rapido oltre quella rappresentata dai *Mounts Blocks* già presenti sulla slitta. Tale necessità nasce dal principio che più sono i sistemi di sicurezza (ridondanza) minore diventa la possibilità di mettere in pericolo le persone e gli oggetti nella prossimità della zona di test.

Per realizzare ciò, il concept si è spostato verso una struttura modulare (Fig. 6.6), cioè formata da due parti:

- **parte inferiore:** fissata al piatto della slitta con i *Mounts Blocks* (prima modalità di sgancio rapido)
- **parte superiore:** fissata alla parte inferiore tramite dei fissaggi (seconda modalità di sgancio rapido)

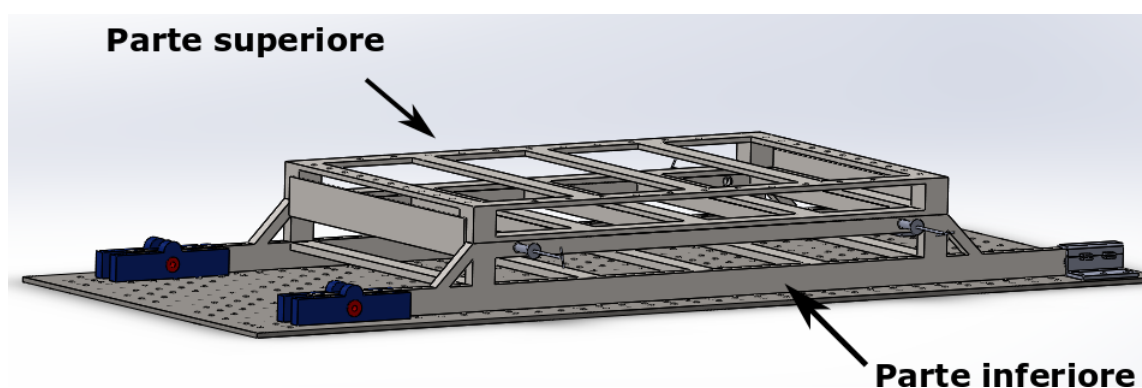


Figura 6.6: Versione 2.0 struttura

Ambedue le parti hanno lunghezza e larghezza pari alla versione precedente e altezza pari a 140 [mm] per la parte superiore e di 260 [mm] per un totale di 400 [mm]. In questa nuova versione del concept si sono presentati dei nuovi problemi non presenti nella vecchia versione, primo tra tutti quello di trovare un modo di fissare la parte superiore a quella inferiore che sia allo stesso tempo efficace, resista agli sforzi a cui è sottoposta la struttura, e rapido da smontare, ciò vuol dire non dover fare azioni di svitamento ma preferibilmente dover semplicemente sfilare dei perni. Tali perni si dovranno trovare per forza sui lati della struttura perché in caso contrario per gli operatori non sarebbe agevole dover salire sulla slitta per poter sfilarli e inoltre non possono essere inseriti lungo la direzione verticale, in quanto il telaio dovrebbe avere un'altezza superiore a quella progettata e ciò è sconsigliato in quanto maggiore è l'altezza dell'intera struttura maggiore sarà il suo peso ed inoltre aumenterebbe anche il rischio di beccheggio rispetto all'asse verticale.

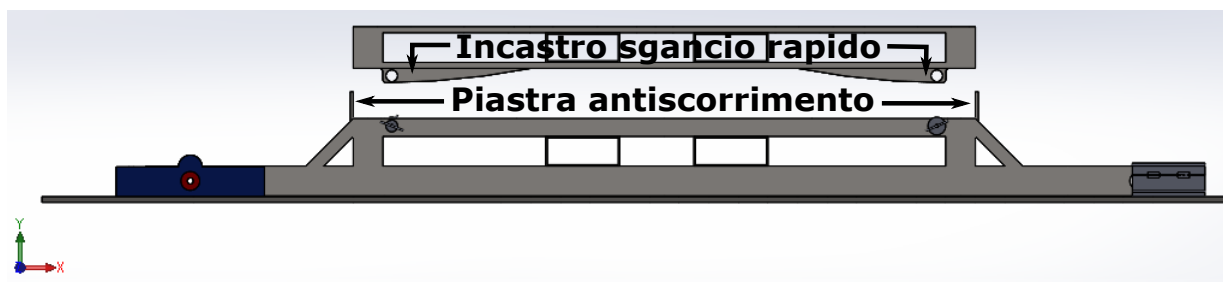


Figura 6.7: Vista laterale versione 2.0 struttura

Per evitare lo scorrimento lungo l'asse x (direzione di decelerazione), è stato realizzato un incastro tra la parte superiore e quella inferiore ed inoltre sono state saldato due piastre metalliche agli estremi della parte inferiore (Fig. 6.7). Gli incastri realizzati sono quattro, uno per ogni angolo della struttura e presentano una battuta lungo l'asse verticale e una lungo l'asse orizzontale così da assicurare la buona tenuta della struttura (linee rosse Fig. 6.8).

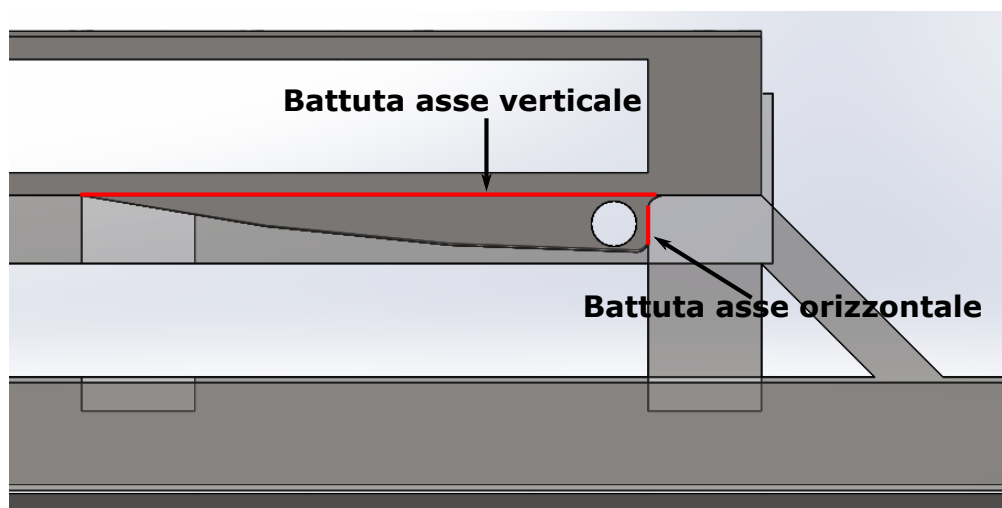


Figura 6.8: Vista laterale incastro versione 2.0 struttura

Come è possibile vedere dalla fig. 6.8, l'incastro della parte superiore non si inserisce perfettamente in quello della parte inferiore, questo è stato fatto per problemi di montaggio perché, in caso contrario, non sarebbe stato facile in fase di realizzazione garantire delle tolleranze tali da avere l'incastro perfetto. Infatti la parte superiore non appoggia completamente e invece lungo l'asse trasversale non c'è contatto e tra le due strutture è presente uno spazio di $2.5 [mm]$ per ogni lato (Fig. 6.9). Infine per ogni incastro è presente un foro con un perno passante che serve per evitare che le due parti della struttura si staccino l'una dall'altra lungo l'asse verticale.

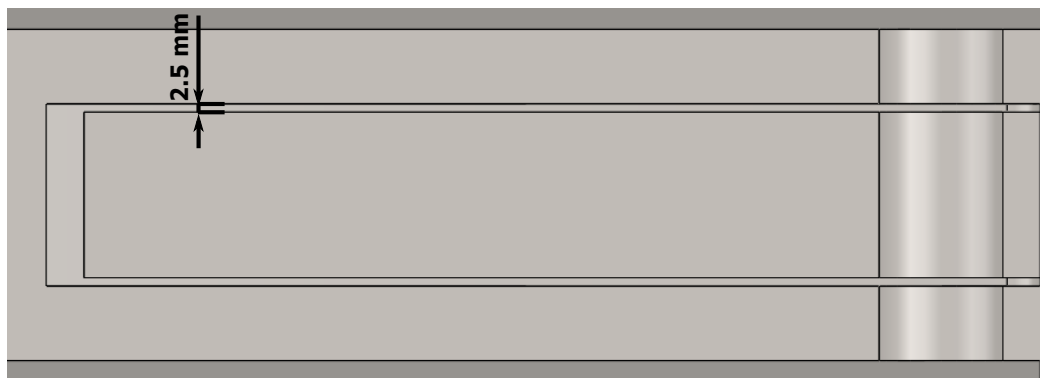


Figura 6.9: Vista dall'alto incastro versione 2.0 struttura

6.2.3 Dimensionamento sistema sgancio rapido

Parte fondamentale dell'intero progetto è stata quella di progettare e dimensionare al meglio il sistema di sgancio rapido e questo ha significato soprattutto dimensionare l'accoppiamento foro-perno di questo sistema. Come detto precedentemente per ogni incastro è presente un foro che serve ad evitare movimento lungo l'asse verticale, infatti tali perni non hanno il compito di sopportare le forze d'inerzia lungo l'asse principale di spinta della slitta (asse longitudinale) e quindi le forze in gioco sono sensibilmente inferiori rispetto a quelle che devono sopportare i quattro incastri.

Per ogni lato si hanno due fori e ciò introduce un nuovo problema da dover minimizzare: il beccheggio, rotazione lungo l'asse trasversale. Tale rotazione è introdotta dal fatto che per poter sfilare i perni in maniera agevole dopo la prova è necessario che il foro sia più grande del perno stesso così da minimizzare le possibilità che il perno si blocchi all'interno del foro (Fig. 6.10). Per tale ragione si è deciso di avere un foro di diametro 40 [mm] e un perno in acciaio altoresistenziale con un diametro di 35 [mm], acciaio con una resistenza superiore rispetto a quella dell'acciaio utilizzato per il resto della struttura. Questa scelta di materiale è stata fatta per ulteriore precauzione in caso di emergenza e di problemi durante la prova, infatti nel caso in cui qualcosa dovesse andar male e ci dovessero essere dei movimenti relativi tra le due parti della struttura a danneggiarsi sarebbe la struttura stessa e non il perno e in questo caso sarebbe ancora possibile sfilare il perno, in caso contrario, se dovesse essere il perno a danneggiarsi all'interno del foro probabilmente lo si riuscirebbe a togliere con maggiore difficoltà e questo potrebbe comportare ulteriori pericoli.

Per evitare che il perno durante la prova di sfilare, invece, si è pensato di praticare un piccolo foro di 5 [mm] nel quale far passare un cilindro di gomma di lunghezza 50 [mm], il quale nel momento in cui va a sfilare il perno si piega e permette all'operatore di sganciare la struttura in tempo breve.

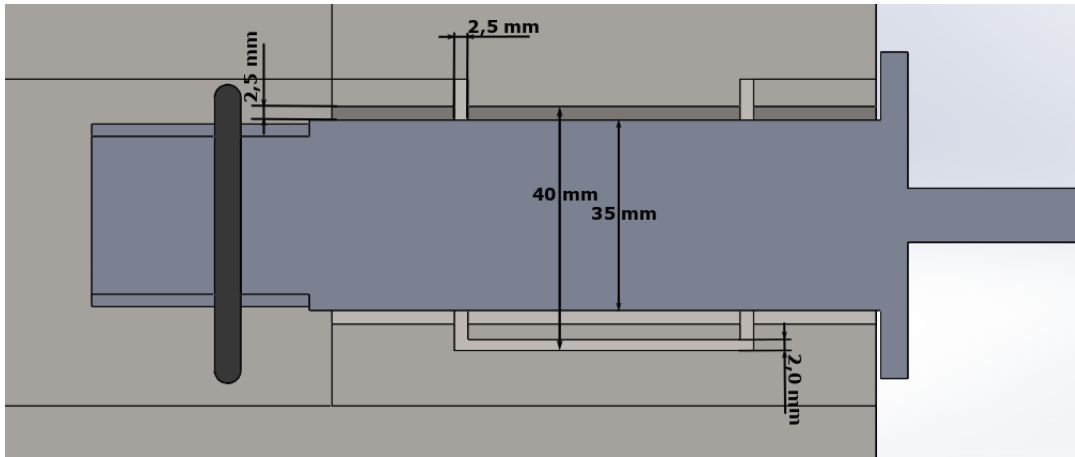


Figura 6.10: Sezione accoppiamento foro-perno

Il problema del beccheggio quindi è causato dai 5 [mm] di differenza che ci sono tra diametro del foro e diametro del perno ed è stata fatta anche una valutazione di massima di quella che è la parte di accelerazione che si trasferisce lungo l'asse verticale e quindi quale è la forza nel momento di massima decelerazione durante la prova.

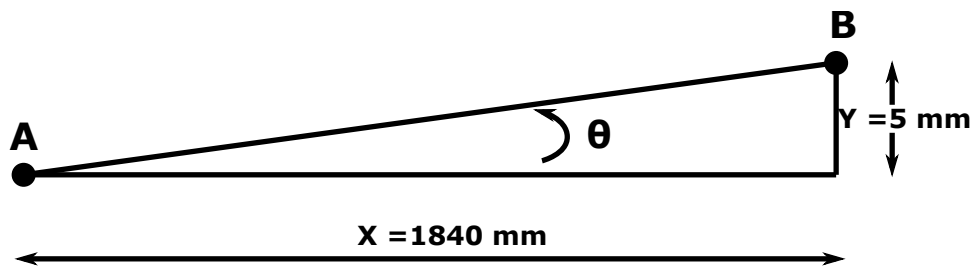


Figura 6.11: Schema valutazione forza componente verticale

Nella figura 6.11 con "A" e "B" identifichiamo i due perni che si trovano ad una distanza "X" pari a 1840 [mm], base del triangolo, e l'altezza del triangolo rappresenta il massimo dislivello che ci può essere tra i due perni, "Y" pari proprio a 5 [mm] e di conseguenza anche il massimo angolo di beccheggio, rappresentato dall'angolo θ .

Utilizzando delle semplici relazioni trigonometriche quindi si può risalire al valore dell'angolo:

$$\tan(\theta) = \frac{Y}{X} \quad (6.1)$$

$$\theta_{rad} = \arctan\left(\frac{Y}{X}\right) = 0,0027rad \quad (6.2)$$

$$\theta_{deg} = \frac{\theta_{rad} \cdot 180^\circ}{\pi} = 0,1557^\circ \quad (6.3)$$

Una volta calcolato l'angolo di beccheggio massimo si può andare a valutare quale è il valore di accelerazione lungo l'asse verticale considerando che il valore massimo di accelerazione (a_x) dettato dal pulse è di 77 g :

$$\tan(\theta) = \frac{a_z}{a_x} \quad (6.4)$$

$$a_z = a_x \cdot \tan(\theta) = 0,2079g \quad (6.5)$$

Ricordando la seconda legge della fisica:

$$F = m \cdot a \quad (6.6)$$

e considerando come massa la massa della parte superiore della struttura sommata a quella di tutti i componenti che si trovano al sopra abbiamo che $m \approx 700[kg]$, quindi:

$$F_z = m \cdot a_z \cdot g = 1427,65[N] \quad (6.7)$$

Tale valore di forza risulta sensibilmente inferiore ai valori a cui possono resistere perni del diametro di 35 $[mm]$, che sono dell'ordine dei MN .

Conclusioni

Il presente lavoro di tesi ha voluto illustrare i diversi componenti ad alto voltaggio presenti in un veicolo elettrico/ibrido e ha voluto porre l'accento soprattutto sull'aspetto della sicurezza che si deve garantire nell'utilizzo di questi veicoli. Da questo punto di vista con questo lavoro sono state gettate le basi per lo svolgimento di prove volte a monitorare il comportamento di questi componenti nel momento in cui sono sottoposti a forze d'inerzia importanti. Il primo passo è stato quello di testare componenti elettrici sulla slitta ad alte decelerazioni presente all'interno del Centro di Sicurezza Fiat, cosa che non era mai stata fatta prima, infatti la prima prova effettuata è stata quella su una batteria 12 [V] per servizi e il risultato ottenuto è stato ottimo, in quanto non si sono verificati eventi che avrebbero potuto portare eventuali pericoli.

Secondo step è stato quello di testare i teleruttori presenti nelle batterie ad alto voltaggio (400 [V]) e grazie a questi test si è giunti alla conclusione che tali teleruttori, normalmente aperti in caso di incidente, presentano dei parziali contatti e quindi cortocircuiti nel caso di urti che avvengono nella direzione assiale. Tali urti possono essere frontali, laterali o posteriori a seconda di come viene posizionato il teleruttore all'interno del pacco batteria. Nel caso invece di urti perpendicolari rispetto all'asse longitudinale del teleruttore i contatti non si sono chiusi e si è rimasti in condizione di assoluta sicurezza.

Infine dopo lo studio e i test preliminari effettuati, sono state poste le basi per la realizzazione di una prova più completa che testasse tutti i componenti ad alto voltaggio collegati tra di loro, per sviluppare questa prova, però, è stato necessario riflettere a lungo sulle modalità e condizioni di prova, ma soprattutto cercare di progettare una struttura adeguata da interfacciare sia con la slitta ad alte decelerazioni sia con tutti i componenti da testare che consenta in caso di pericolo di ridurre al minimo i rischi per operatori e oggetti. Questa necessità si è tramutata nella progettazione di una struttura modulare con due livelli di sgancio rapido, così da poter essere portata all'esterno il più rapidamente possibile. Per il sistema di sgancio rapido inoltre è stato fatto un primo dimensionamento che ha dato un feedback positivo in quanto rispecchia quelli che sono i parametri di resistenza considerati.

In conclusione quindi è possibile affermare che con questo lavoro di tesi è stato fatto un passo in avanti verso un aspetto della sicurezza dei veicoli elettrici non ancora standardizzato.

L'auspicio futuro è che, sulla base delle prove effettuate e della struttura progettata, lo studio continui e porti definizione completa di una prova che tenga in considerazione tutti i componenti ad alto voltaggio e che soprattutto questa procedura diventi uno standard per la sicurezza di questa tipologia di veicoli.

Bibliografia

- [1] José Miguel Branco Marques. "Battery management system (bms) for lithium-ion batteries". *Master Thesis of Science in Energy for Sustainability*, 2014.
- [2] Ing. Giovanni Pedè. Le batterie al litio. Technical report, ENEA, Unità Tecnica Tecnologie Avanzate per l'Energia e l'Industria.
- [3] ISO. Teleruttori. Available at <http://magistri.altervista.org/TDP/quarta/teleruttore.pdf>.
- [4] S. Chakraborty, H. Vu, M.M. Hasani, D. Trani, M. El Baghdadi, and O. Hegazy. "Dc-dc converter topologies for electric vehicles, plug-in hybrid electric vehicles and fast charging stations: State of the art and future trends". *Multidisciplinary Digital Publishing Institute, Energies*.
- [5] S. Chowdhury, L. Leitzel, and M. Zima. *Thermal System for Electric Vehicles with Coolant-based Heat Pump*. Mahle.
- [6] S. Chowdhury, L. Leitzel, and M. Zima. *Thermal System for Electric Vehicles with Coolant-based Heat Pump*. Mahle.
- [7] CQ Elettronica. Il can-bus.
- [8] Antonello Galanti. *Corso di reti e sistemi per l'automazione, Bosch's CAN*. Università dei Studi Roma Tre, 2005.
- [9] Francesco Benzi. *CAN Bus: Controller Area Network*. Università di Pavia.
- [10] Stefano Panzieri. *Corso di reti e sistemi per l'automazione, LIN*. Università dei Studi Roma Tre, 2000.
- [11] Microcontroller Division Applications. *LIN (LOCAL INTERCONNECT NETWORK) SOLUTIONS*. STMicroelectronics, 2002.
- [12] Technical Committee ISO/TC 22. *ISO 9141*. International Electrotechnical Commission (IEC), 1989.

-
- [13] Seattle Safety. Servo sled brochure datasheet. Available at <http://seattlesafety.com/products/servosled-catapult-sled-systems/>.
- [14] Seattle Safety. *3.1MN ServoSled Payload Quick Change System, User Manual*. Seattle Safety, 2015.

Ringraziamenti

Al termine di questo percorso sento di voler ringraziare tutte le persone che mi sono state vicine e che con il loro contributo mi hanno permesso di raggiungere questo traguardo.

In primo luogo vorrei ringraziare la professoressa Bignardi, la quale mi ha dato la possibilità di svolgere questo progetto e che si è mostrata sempre disponibile nei confronti dei suoi studenti sia durante la tesi sia durante i suoi corsi. Poi vorrei ringraziare l'ingegner Matteo Giunti, il mio tutor aziendale, che mi ha introdotto nel mondo del Centro di Sicurezza Fiat affidandomi questo progetto di ricerca tesi che ho cercato di portare avanti con passione ed impegno. Sento di dover ringraziare anche Marco, Gianpo, Andrea ed Eraldo per avermi accolto all'interno dell'ufficio con simpatia e benevolenza, sempre pronti ad alleggerire il lavoro con una battuta o una risata e che sono sempre stati disponibili ad aiutarmi quando ne ho avuto bisogno. Inoltre voglio ringraziare Alessio, Lorenzo, Danilo, Carlo e tutte le persone che all'interno del Centro di Sicurezza Fiat mi hanno aiutato a completare il mio progetto fornendomi aiuto e supporto.

Sicuramente meritano un enorme ringraziamento tutti i miei amici perché senza il loro sostegno e la loro presenza il mio percorso di studi sarebbe stato più difficile. A partire dai miei amici di Salerno, quelli di sempre, che ormai da anni mi supportano in ogni mia scelta e non mi fanno mancare mai il loro affetto. Voglio ringraziare anche le persone che ho incontrato durante il mio Erasmus in Francia che mi hanno trasferito un pizzico della loro cultura, ma soprattutto quelli che si sono dimostrati dei veri amici. Voglio ringraziare le persone che hanno condiviso con me quest'esperienza qui a Torino. Le voglio ringraziare per lo studio, per le cene a casa, per le serate, per le birre dal "Bangla", per i pomeriggi al parco o all'Imbarchino, per le passeggiate, per le lunghe chiacchierate o anche per un semplice caffè insieme. Tra tutte queste persone un ringraziamento particolare va alle mie coinquiline, per condividere con me la quotidianità.

Infine un ringraziamento speciale va alla mia famiglia che anche in questo percorso ancora una volta mi ha sostenuto giorno dopo giorno fornendomi gli strumenti materiali e morali di cui avevo bisogno.

Vorrei rivolgere un pensiero a tutte le persone che in questo momento difficile stanno lottando contro l'emergenza con l'auspicio che questo periodo faccia riflettere sulle priorità della vita.