

Politecnico di Torino

Facoltà di Ingegneria

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Biomedica

Tesi di Laurea Magistrale

Sviluppo di una metodologia sperimentale per la valutazione della protezione dei componenti ad alto voltaggio nei veicoli elettrici a seguito di un crash test



Relatore:

Prof.ssa Cristina BIGNARDI

Candidato:

Federica SPECA

Supervisore Aziendale:



Ing. Matteo GIUNTI

Anno Accademico 2017-2018

*Alla mia famiglia ed
ai miei nonni*

INDICE

1. INTRODUZIONE	10
1.1 SCENARIO ATTUALE	10
1.2 OBIETTIVO.....	13
2. TIPOLOGIE VEICOLI ELETTRICI	14
2.1 VEICOLI MILD HYBRID (MHEV).....	16
2.2 VEICOLI IBRIDI.....	17
2.3 VEICOLI IBRIDI PLUG-IN	21
2.4 VEICOLI COMPLETAMENTE ELETTRICI	23
3. ANALISI COMPONENTI DEI VEICOLI ELETTRICI	25
3.1. ANALISI TIPOLOGIE BATTERIE.....	25
3.1.1 BMS.....	30
3.1.2 TELERUTTORI	32
3.1.3 FUSIBILI.....	32
3.1.4 RICARICA BATTERIE	35
3.1.4.1 MODI DI RICARICA.....	35
3.1.4.2 PRESE.....	41
3.1.4.3 STANDARD di ricarica rapida con corrente continua	43
3.2 L'INVERTER.....	43
3.4 MOTORE ELETTRICO	44
4. CRASH TEST E REGOLAMENTAZIONI	48
4.1 TEST EUROPA	49
4.1.1 REQUISITI ELETTRICI EUROPA	60
4.1.2 REQUISITI ELETTRICI EURONCAP	75
4.2 TEST USA	76
4.2.1 REQUISITI ELETTRICI USA	79
5. PERICOLI ASSOCIATI ALL'USO DEI VEICOLI ELETTRICI	81

5.1 PERDITA DI ISOLAMENTO	81
5.1.1 PERICOLO INCENDIO	81
5.1.2 MACROSHOCK DA CONTATTO DIRETTO ED INDIRETTO	82
5.2 DANNEGGIAMENTO DELLA BATTERIA:.....	104
5.3 SINTESI PERICOLI VEICOLI ELETTRICI	111
5.3.1 IDROGENO	112
6. PROCEDURA PER LA MESSA IN SICUREZZA DI UN VEICOLO ELETTRICO.....	115
6.1 QUADERNO DI BORDO STANDARD.....	115
6.2 QUADERNO DI BORDO PER I VEICOLI ELETTRICI	116
6.2.1 DESCRIZIONE LAYOUT VEICOLO ELETTRICO.....	120
6.2.2 SISTEMA ELETTRICO PRESENTE IN VETTURA	141
6.2.3 STRUMENTAZIONE PER LA MISURA DEI PARAMETRI ELETTRICI.....	142
6.2.4 VERIFICA DEI DPI DEGLI OPERATORI	144
6.2.5 VERIFICA ISOLAMENTO STRUMENTI PER GLI ALLESTIMENTI.....	149
6.2.6 CONTROLLO TARATURA STRUMENTAZIONE ELETTRICA	150
6.2.8 TRASPOROTO VEICOLO	151
6.2.9 PRIMO CONTROLLO ISOLAMENTO.....	152
6.2.10 ALLESTIMENTO SISTEMA AUSILIARIO DISINSERIMENTO ALTO VOLTAGGIO	154
6.2.11 DISINSERIMENTO ALTO VOLTAGGIO.....	155
6.2.12 COLLOCARE IL VEICOLO NELLA OPPORTUNE ZONE DI QUARANTENA	156
6.2.13 PIANO DI MISURAGGIO	156
6.2.14 ANALISI CARICA BATTERIA	157
6.2.15 TRASFERIMENTO VEICOLO CIMITERO.....	157
7. SVOLGIMENTO DELLA PROVA	158
7.1 PROCEDURE PRE-PROVA	158
7.2 SISTEMI DI PROTEZIONE ADOTTATI.....	160
7.3 PROCEDURE POST-PROVA	167
7.4 PROCEDURE GIORNI SEGUENTI LA PROVA	169
8. CONCLUSIONI	172
RINGRAZIAMENTI.....	173
BIBLIOGRAFIA	174
SITOGRAFIA	174

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.-Emissioni di CO2 nel 2020 per i vari Stati	11
Figura 2.-Veicolo puro termico vs veicolo puro elettrico.....	15
Figura 3.-Veicolo ibrido.....	15
Figura 4.-Confronto tra veicolo Mild Hybrid (a sinistra) e ibrido (a destra).....	16
Figura 5.-FIAT Multipla ibrida	18
Figura 6.-Veicolo ibrido serie	18
Figura 7.-Schema di un veicolo ibrido serie.....	19
Figura 8.- Veicolo ibrido parallelo	20
Figura 9.-Schema di un veicolo ibrido parallelo.....	20
Figura 10.-Veicolo ibrido misto.	21
Figura 11.-Esempio veicolo ibrido	21
Figura 12.-500 elettrica.	23
Figura 13.-Veicolo puramente elettrico	23
Figura 14.-Schema veicolo elettrico.....	25
Figura 15.-Elementi principali batteria ioni Li.....	26
Figura 16.-Carica/scarica batterie al litio	28
Figura 17.-Collegamento serie e parallelo delle celle	29
Figura 18.-Struttura batteria	30
Figura 19.-Fusibili automobile	33
Figura 20.-Curva tempo-corrente fusibili.....	34
Figura 21.-Fusibili per autoveicoli.....	34
Figura 22.-Mega-fuse	35
Figura 23.-Modo 2	37
Figura 24.-Modo 3	38
Figura 25.-Schema elettrico colonnina.	40
Figura 26.-Interruttore differenziale.....	41
Figura 27.-Tipo 1.....	41
Figura 28.-Tipo 2.....	42
Figura 29.-Tipo 3.....	42
Figura 30.-Inverter tradizionale	43
Figura 31.- Inverter trifase (stati).....	44
Figura 32.- Motore Elettrico.	45
Figura 33.-Schema motore asincrono trifase.....	46
Figura 34.-.- Schematizzazione motore.	47
Figura 35.-Schema prove rating.....	48
Figura 36.-Assegnazione stelle euroNCAP	53
Figura 37.-Barriera deformabile.	54
Figura 38.-Barriera rigida	56
Figura 39.-Barriera deformabile.	57
Figura 40.-Palo.....	58
Figura 41.-Confronto prove euroNCAP attuali e prove 2020	59
Figura 42.-manichino Thor.....	59
Figura 43.-Circuito misura isolamento.....	60
Figura 44.-Protezioni IPXXB.	62
Figura 45.-Circuito misura isolamento.....	63

Figura 46.- Dimostrazione valori normati.....	66
Figura 47.-Posizioni batteria.....	69
Figura 48.-Posizioni batteria proibite	69
Figura 49.- Impattore (Mechanical Integrity)	69
Figura 50.-Andamento carico in funzione del tempo.....	70
Figura 51.Pre-heating (fase A).....	71
Figura 52. Esposizione diretta alla fiamma (fase B).....	72
Figura 53.Esposizione indiretta alla fiamma (fase C).....	72
Figura 54.-Fine del test.	72
Figura 55.-Confronto test.....	78
Figura 56.-Esempio di macroshock	83
Figura 57.-Modellizzazione infortunato.....	84
Figura 58.-Schematizzazione veicolo isolato e non.....	84
Figura 59.-contatto con una sola fase. Occupante isolato all'interno del veicolo.	86
Figura 60.-Contatto con una sola fase. Occupante all'esterno del veicolo.	86
Figura 61.-Contatto con una entrambe le fasi. Occupante all'interno del veicolo.	87
Figura 62.-Contatto con una entrambe le fasi. Occupante esterno al veicolo.	88
Figura 63.-Contatto INDIRETTO occupante interno.	89
Figura 64.-Contatto INDIRETTO occupante esterno.	90
Figura 65.-Contatto INDIRETTO occupante interno.	91
Figura 66.-Contatto INDIRETTO occupante esterno.	91
Figura 67.-Occupante non isolato da terra	92
Figura 68.-Occupante esterno a contatto diretto con una fase e a contatto indiretto con l'altra.....	93
Figura 69.-Occupante esterno a contatto diretto con una fase e a contatto indiretto con l'altra.....	94
Figura 70.-Casi di ustioni.....	97
Figura 71.-Effetti fisiologici della corrente alternata alla frequenza di 50-60 Hz in funzione dell'intensità e del tempo di esposizione.....	98
Figura 72.-Effetti fisiologici della corrente continua in funzione dell'intensità e del tempo di esposizione.....	99
Figura 73.-Grafico tensione- resistenza corpo umano	103
Figura 74.- Thermal Runaway.....	105
Figura 75.-Esempio penetrazione pacco	106
Figura 76.-Finestra Operativa (SOC)	107
Figura 77.-Lithium Plating.	107
Figura 78.-Over-discharged.	108
Figura 79.-Corto circuito interno.....	109
Figura 80.-QDB standard.	116
Figura 81.-QDB veicolo elettrico.	119
Figura 82.-Segnali per identificare un veicolo elettrico.	120
Figura 83.-Figure veicolo elettrico.	121
Figura 84.-Cablaggi HV	122
Figura 85.-zone NO taglio.	123
Figura 86.-Posizione Service Disconnect.	123
Figura 87.-Veicolo identificato.....	124
Figura 88.-Key-off	125
Figura 89.-Disconnessione Service Disconnect.....	125
Figura 90.-Misure per evitare il reinserimento della batteria.....	126
Figura 91.-Controllo assenza alta tensione.....	127
Figura 92.-Semaforo di emergenza.....	128
Figura 93.-Schema semaforo tensione	129
Figura 94.-Pulsante di emergenza	130

Figura 95.-HVIL	133
Figura 96.-Pirotecnico sulla batteria HV	133
Figura 97.- Idrogeno: asfissia H ₂ >17%, incendio/esplosione è H ₂ >4%.....	135
Figura 98.-Etichetta disconnessione e taglio morsetti 12 V.....	136
Figura 99. Taglio HVIL.....	136
Figura 100.-Schema riassuntivo procedure post-prova.	137
Figura 101.-Schema di riferimento per la verifica dell'isolamento.	138
Figura 102.-Multimetro per la misura dell'isolamento.....	142
Figura 103.-Misura Voltaggio.....	143
Figura 104.-Guanti utilizzabili per veicoli ibridi o elettrici.....	145
Figura 105.-Casco protettivo.	146
Figura 106.-Abbigliamento protettivo.	146
Figura 107.-Esempi di calzature di sicurezza.	147
Figura 108.- Fioretto di manovra.....	147
Figura 109.- tappeto isolante	148
Figura 110.-Marcatura DPI.	148
Figura 111.-Strumenti da lavoro.....	150
Figura 112.-Muletto.....	159
Figura 113.-Sistemi di protezione adottati in prova	160
Figura 114.-Primo sistema di sicurezza.....	160
Figura 115.- Sistema 1	162
Figura 116.-Misurazione Ri dai cavi HV	163
Figura 117.-Ri dai cavi HV.....	163
Figura 118.-Misurazione Ri dal pozzetto	164
Figura 119.-Ri dal pozzetto	164
Figura 120.-Pulsante emergenza.	165
Figura 121.-Relè bistabile.	165
Figura 122.-Attivazione relè.....	166
Figura 123.- Metodologia adottata	166
Figura 124.-Finger test.....	170

INDICE TABELLE

Tabella 1.- Categorie veicoli elettrici.....	14
Tabella 2.-Caratteristiche veicolo elettrico.	24
Tabella 3.-Modalità ricarica elettrica	36
Tabella 4.-Test omologativi Europa	49
Tabella 5.-test euroNCAP.....	54
Tabella 6.-Test euroNCAP a partire dal 2020.....	58
Tabella 7.-Tabella per i veicoli M1 e N1.....	68
Tabella 8.-Test omologativi USA.....	76
Tabella 9.-Test U.S.NCAP	77
Tabella 10.-Test IIHS	79
Tabella 11.-Tabella di sintesi casi di macroshock.	95
Tabella 12.-Valori correnti ed effetti.....	101
Tabella 13.-Valori indicativi della resistenza corporea.	103
Tabella 14.-Danneggiamenti batteria.	112

<i>Tabella 15.-Alimentazione dispositivi di sicurezza.....</i>	<i>127</i>
<i>Tabella 16.-Esempio tabella QDB.....</i>	<i>139</i>
<i>Tabella 17.-Sezione QDB sui sistemi elettrici presenti in vettura.....</i>	<i>141</i>
<i>Tabella 18.-Classi guanti di isolamento.....</i>	<i>145</i>
<i>Tabella 19.-Sezione DPI nel QDB.....</i>	<i>149</i>
<i>Tabella 20.-Sezione strumenti nel QDB.....</i>	<i>150</i>
<i>Tabella 21.-Sezione taratura strumenti nel QDB.....</i>	<i>150</i>
<i>Tabella 22.-Tabelle per la verifica della sicurezza del veicolo.....</i>	<i>152</i>
<i>Tabella 23.-Sezione taratura strumenti nel QDB.....</i>	<i>152</i>
<i>Tabella 24.-Tabella sul sistema ausiliario nel QDB.....</i>	<i>154</i>
<i>Tabella 25.-Tabelle per la verifica del disinserimento AT.....</i>	<i>155</i>
<i>Tabella 26.-Tabella misurazioni veicolo.....</i>	<i>156</i>
<i>Tabella 27.-Analisi carica batteria.....</i>	<i>157</i>
<i>Tabella 28.-Tabella trasferimento veicolo.....</i>	<i>157</i>
<i>Tabella 29.-Divisione mansioni.....</i>	<i>168</i>

1. INTRODUZIONE

1.1 SCENARIO ATTUALE

Oggi giorno le tecnologie avanzate possono convertire il nucleare, il vento e l'energia solare in energia elettrica con processi più "puliti" e ad elevata efficienza.

L'utilizzo dell'energia elettrica sta cambiando i sistemi di immagazzinamento di energia di un veicolo, passando da combustibili fossili a sistemi di accumulo di energia elettrochimica.

Tale cambiamento sta portando ad una vera e propria rivoluzione nell'industria automobilistica. L'obiettivo, infatti, è quello di sviluppare un nuovo veicolo energetico con un sistema di trasmissione più elettrificato.

L'impiego dei veicoli elettrici, in sostituzione a quelli attuali è, quindi, oggetto di molti studi e ricerche. Vari sono i fattori che spingono la ricerca verso lo studio di tali mezzi.

In primis vi è l'inquinamento atmosferico e la necessità di uno sviluppo sostenibile.

I prezzi elevati dei combustibili fossili, ad oggi, hanno un impatto negativo sulla ripresa economica e sulla sicurezza energetica nell'Unione. E' pertanto una priorità aumentare l'efficienza e la sostenibilità delle nuove autovetture e dei nuovi veicoli commerciali leggeri, riducendo, in tal modo, la dipendenza dal petrolio le cui riserve vanno via via esaurendosi.

Per questi motivi sono state intraprese delle azioni politiche per orientare i costruttori affinché adottino soluzioni ottimali, che tengano conto, in particolare, delle emissioni di gas a effetto serra derivanti dai veicoli. Esempi di soluzione sono l'elettricità e i combustibili alternativi.

Per questo motivo, i veicoli elettrici, con zero emissioni inquinanti, sono una soluzione ideale per risolvere, almeno in parte, il problema dell'inquinamento atmosferico dovuto al trasporto su strada.

I governi giocano un ruolo importante nell'incoraggiamento e nella promozione di tali mezzi.

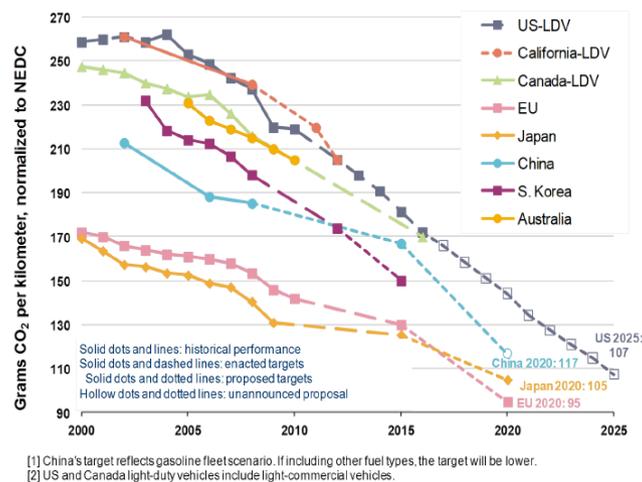


Figura 1.-Emissioni di CO2 nel 2020 per i vari Stati

A tal proposito il Parlamento Europeo e il Consiglio dell'Unione Europea si sono riuniti il 25 febbraio 2014 al fine di definire le modalità di conseguimento dell'obiettivo 2020 per ridurre le emissioni inquinanti.

In particolar modo l'obiettivo è quello di ridurre:

- Le emissioni di CO₂ delle autovetture nuove;
- Le emissioni acustiche;
- Le emissioni nocive come monossido di carbonio, idrocarburi, ossido di azoto e particelle.

Sono state esaminate soprattutto le modalità per conseguire l'obiettivo di **95 gCO₂/km** entro il 2020 sotto il profilo dei costi (vedere figura n 1).

Per diminuire le emissioni di anidride carbonica bisogna:

- 1) ridurre l'energia necessaria al veicolo durante il funzionamento;
- 2) aumentare l'efficienza del motore a combustione interna, dell'ibridazione e dell'elettrificazione;
- 3) passaggio a nuovi combustibili provenienti da nuove fonti energetiche non fossili.

Per determinare le emissioni medie di CO₂ di ogni costruttore e per raggiungere l'obiettivo dei 95 g/km si tiene conto delle percentuali di autovetture nuove del costruttore, immatricolate durante l'anno in questione:

- 65% nel 2012;
- 75% nel 2013;

- 80% nel 2014;
- 100% dal 2015 al 2019;
- 95% nel 2020;
- 100% dalla fine del 2020 in poi.

Inoltre nel computo delle emissioni medie di CO₂, ogni nuova autovettura con emissioni inferiori a 50 g/km conterà come:

- 2 autovetture nel 2020;
- 1.67 autovetture nel 2021;
- 1.33 autovetture nel 2022;
- 1 autovetture dal 2023.

Da ciò si evince che a partire dal 2023 la produzione di veicoli elettrici sarà preponderante al fine di rispettare tali normative.

I veicoli elettrici, quindi, se, realizzati con una corretta fonte di energia elettrica di bordo, sono capaci di garantire allo stesso tempo:

- No emissioni nocive;
- No emissione di diossido di carbonio;
- Forte riduzione delle emissioni acustiche.

Almeno quattro sono i punti chiave da risolvere e affrontare per poter avere una diffusione capillare delle auto elettriche.

Il primo riguarda appunto l'infrastruttura di ricarica e l'adeguamento della rete elettrica.

Il secondo e il terzo concernono rispettivamente la durata delle batterie e l'aspetto economico.

Infine l'ultimo e più delicato punto riguarda la sicurezza. Ciò è dovuto al fatto che le auto elettriche, avendo componenti ad alta tensione, possono essere pericolose, se soggette ad un guasto, per gli occupanti e per gli operatori.

1.2 OBIETTIVO

L'obiettivo di questa tesi è quello di sviluppare, quindi, una procedura per la messa in sicurezza dei veicoli elettrici.

Innanzitutto si indagherà sulle diverse tipologie di veicoli elettrici, sul loro layout e sulle batterie presenti in commercio.

La tesi, dopodiché, si focalizzerà sui pericoli associati all'utilizzo di tali mezzi e sulla messa in sicurezza di questi in una situazione di pre- e post crash.

La sicurezza pre- e post urto è l'aspetto principale di tale tesi e verrà analizzata nel dettaglio mediante la stesura di un **Quaderno di Borso (QDB)**.

Infine si effettueranno le prove di delibera sul primo veicolo commerciale totalmente elettrico

2. TIPOLOGIE VEICOLI ELETTRICI

Oltre al tema ambientale e ai benefici in termini di riduzione di CO₂, i veicoli elettrici hanno diversi aspetti positivi. Tra questi la riduzione dell'inquinamento acustico, soprattutto nelle grandi città, e la manutenzione ridotta.

L'obiettivo di passare a una mobilità elettrica o, almeno, ibrida è dunque un'esigenza ambientale, ma anche di contesto energetico e produttivo. Il petrolio, infatti, è una risorsa fossile destinata a esaurirsi.

I motori elettrici sono, invece, più efficienti e necessitano di minore manutenzione rispetto a quelli termici a benzina o diesel. A tal proposito la diffusione dei sistemi di ricarica giocherà un ruolo preponderante.

Semplificando, dal punto di vista evolutivo, si possono suddividere le vetture "green" (vetture meno inquinanti) in quattro categorie:

CATEGORIA	
	MHEV (Mild Hybrid)
	HEV (Hybrid Electric Vehicle): Ibrida (serie, parallelo)
	PHEV (Plug-In Electric Vehicle): Ibrida Plug-In
	BEV (Battery Electric Vehicle): Completamente elettrica

Tabella 1.- Categorie veicoli elettrici

Rispetto ai veicoli tradizionali tali veicoli presentano delle differenze dal punto di vista del layout:

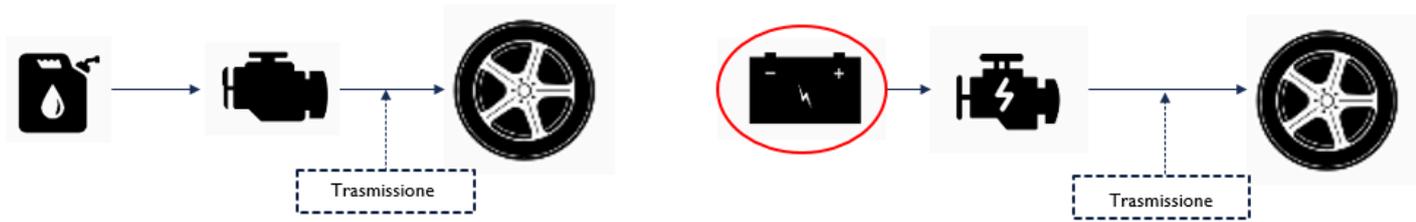


Figura 2.-Veicolo puro termico vs veicolo puro elettrico

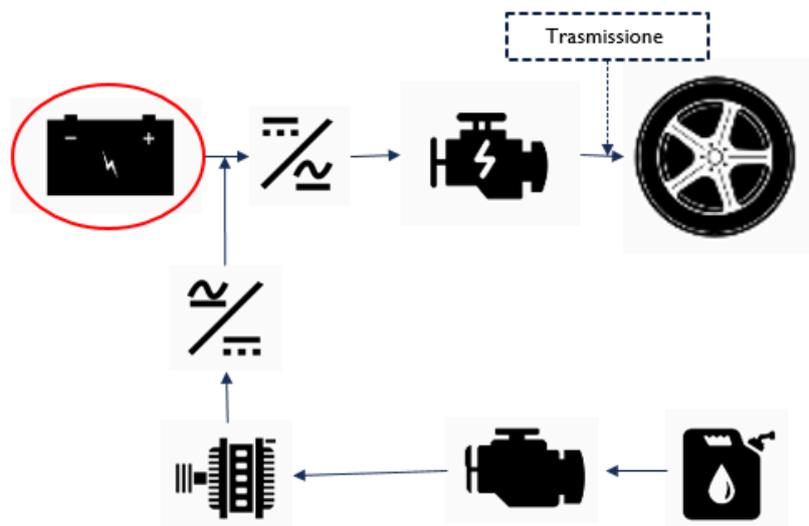


Figura 3.-Veicolo ibrido

Dalle figure precedenti è evidente come i veicoli ibridi o i veicoli puramente elettrici presentino, in più, una batteria ad alta tensione collegata ad un motore elettrico.

2.1 VEICOLI MILD HYBRID (MHEV)

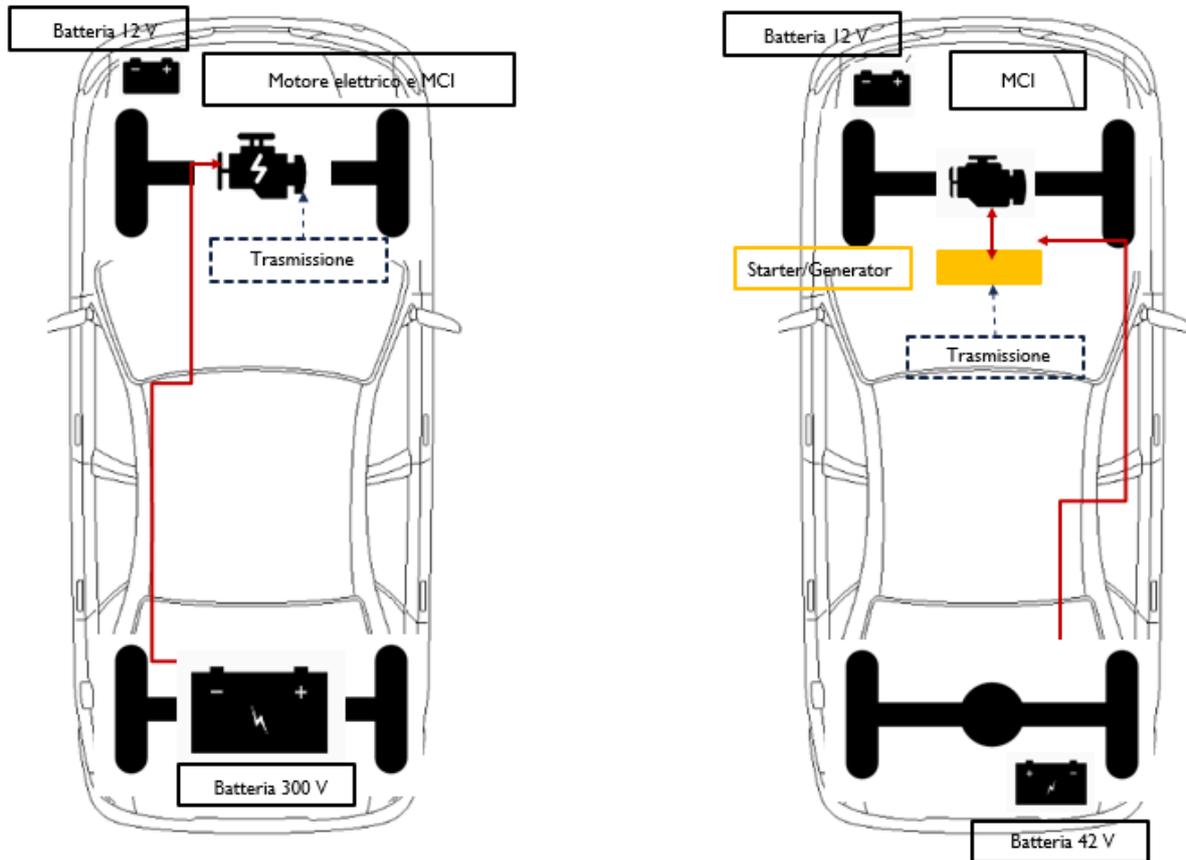


Figura 4.-Confronto tra veicolo Mild Hybrid (a sinistra) e ibrido (a destra)

Il primo passo verso i veicoli elettrici si ha con i veicoli **Mild Hybrid** (MHEV).

Essi presentano un motore a combustione interna affiancato da un generatore/motore elettrico (in arancione nella figura precedente).

Il comparto elettrico (motore più batteria) è però di dimensione e complessità più contenuto rispetto alle ibride e, quindi, a differenza di quest'ultime, non permette di guidare le auto per svariati km in modalità puramente elettrica.

Dal punto di vista del layout sono come le ibride in configurazione parallelo (paragrafo 2.2) e dunque godono degli stessi vantaggi, eccetto la guida elettrica per lunghe tratte.

Il motore elettrico svolge due ruoli: ricarica la batteria durante la fase di frenata e **supporta il MCI (motore a combustione interna)** durante la fase di partenza del mezzo.

A causa della piccola potenza i veicoli Mild permettono un risparmio del carburante inferiore rispetto agli ibridi tradizionali e, per questo, necessitano di batterie meno potenti. Il vantaggio è però il minor peso fisico aggiuntivo.

2.2 VEICOLI IBRIDI

Un veicolo ibrido è un veicolo dotato di un sistema di propulsione a due o più componenti ovvero ha un motore elettrico e un motore termico che lavorano in sinergia tra loro.

I veicoli ibridi termoelettrici (HEV) sono costituiti da:

- *Motore a combustione interna (MCI);*
- *Serbatoio del combustibile:* fonte primaria del veicolo;
- *Macchine elettriche:* uno o più macchine elettriche che funzionano sia come motori che come generatori per il recupero di energia. I motori elettrici sono di potenza inferiore rispetto a quelli MCI ma sono dotati di sistemi atti a ridurre le emissioni inquinanti ed a aumentare l'efficienza;
- *Batteria:* sistema di accumulo di energia secondaria a bordo veicolo;
- *Trasmissione:* cambio e frizione.

Le caratteristiche principali di un veicolo ibrido sono sostanzialmente tre:

1) **Frenata rigenerativa:**

Quando un veicolo frena o decelera l'energia cinetica viene recuperata da un generatore e immagazzinata a bordo veicolo;

2) **Ridotto tempo di funzionamento al minimo:**

Il MCI può essere spento ad ogni arresto del veicolo o alle basse velocità di avanzamento riducendo le perdite;

3) **Aumento dell'efficienza del MCI:**

Il motore elettrico può assistere l'MCI fornendo potenza meccanica alle ruote.

Tra i vantaggi della tecnologia ibrida vi è anche l'abbattimento dell'inquinamento acustico. Infatti le emissioni sonore sono decisamente più basse di quelle di un veicolo tradizionale.

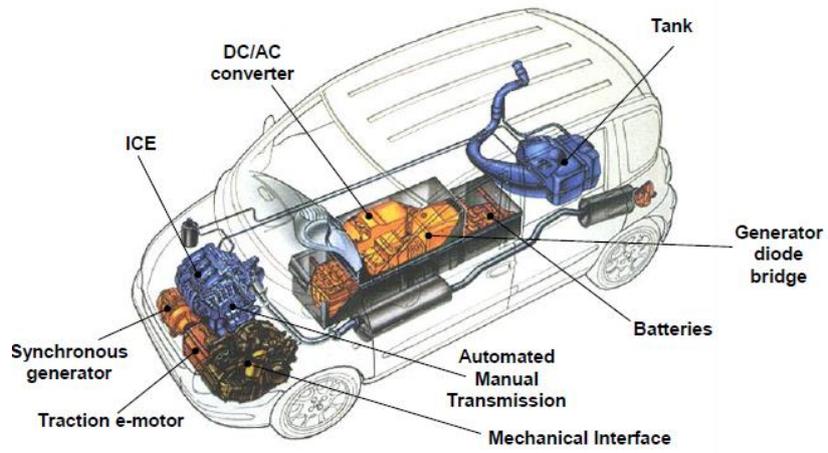


Figura 5.-FIAT Multipla ibrida

Riguardo alle architetture è possibile individuare tre famiglie distinte:

a) Ibridi serie:

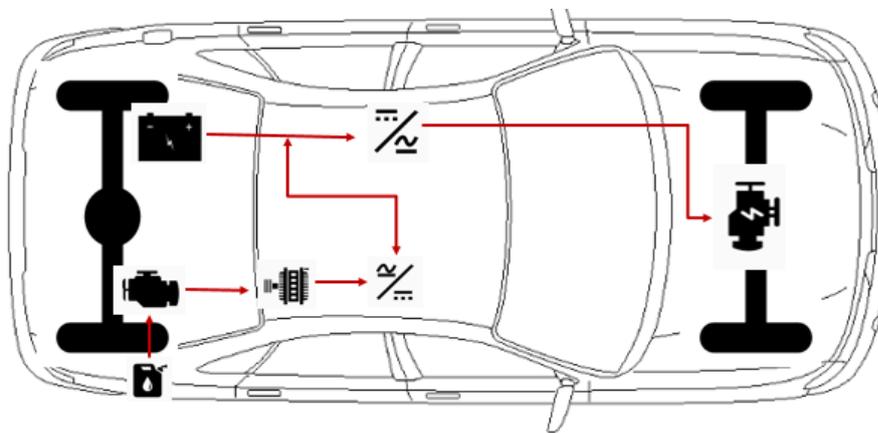


Figura 6.-Veicolo ibrido serie

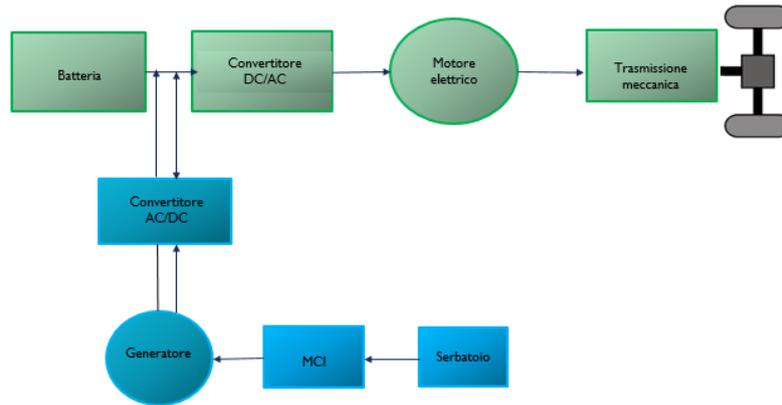


Figura 7.-Schema di un veicolo ibrido serie

Come è possibile evincere dallo schema, gli ibridi serie sono privi di un collegamento meccanico tra le ruote e il motore termico.

A quest'ultimo viene affidata la funzione di fornire potenza al generatore, che trasforma l'energia meccanica proveniente dal motore in corrente alternata, e di caricare le batterie.

Quindi il motore a combustione interna (MCI) aziona il generatore elettrico invece di azionare direttamente le ruote. Quest'ultimo fornisce potenza per l'azionamento del motore elettrico.

In sostanza, il veicolo è trascinato soltanto per mezzo di un motore elettrico di trazione con un gruppo motogeneratore che fornisce la potenza elettrica **mediamente** richiesta per l'avanzamento del veicolo.

L'energia meccanica prodotta dal motore è convertita, quindi, due volte: da meccanica in elettrica nel generatore e da elettrica in meccanica dal motore elettrico. Le perdite in questi processi si sommano producendo un effetto di riduzione dell'efficienza del sistema.

b) Ibridi paralleli:

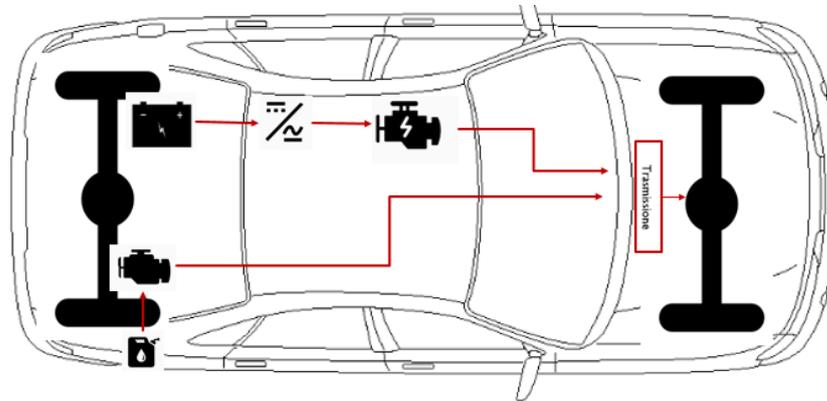


Figura 8.- Veicolo ibrido parallelo.

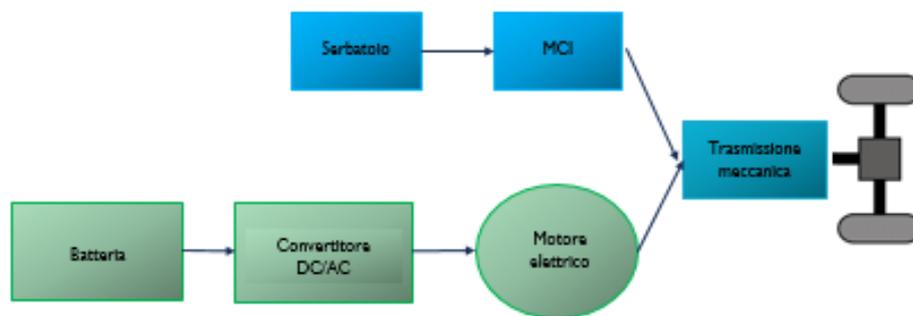


Figura 9.-Schema di un veicolo ibrido parallelo

Il sistema ibrido parallelo comprende un motore a combustione interna al quale si aggiunge un motore elettrico, con potenza variabile, avente la funzione di incrementare la coppia motrice usata per la trazione del veicolo. Esso può anche utilizzare il motore termico per caricare le batterie durante la percorrenza.

In tale sistema, sia il motore elettrico che quello termico sono connessi alle ruote. Quindi questa architettura consente l'utilizzo congiunto dei due sistemi aumentando così le prestazioni.

c) Ibridi misti.

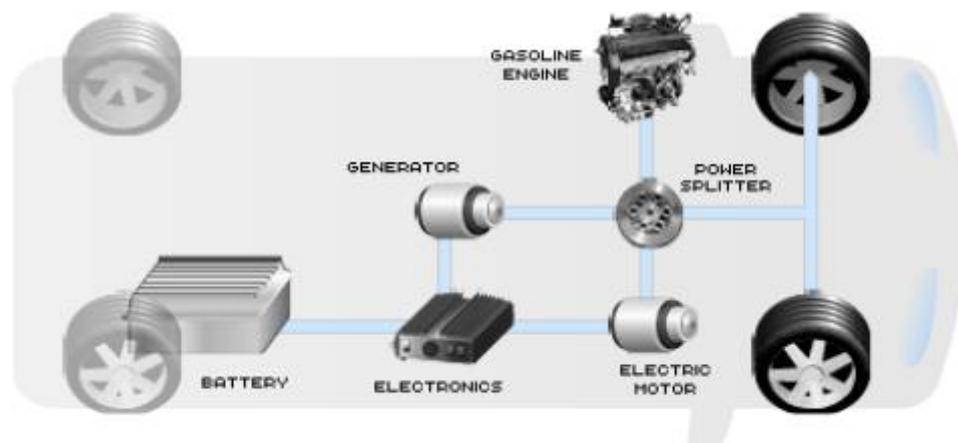


Figura 10.-Veicolo ibrido misto.

E' un sistema molto versatile che permette di passare dal sistema serie a quello parallelo e viceversa. E' previsto l'utilizzo combinato del motore termico ed elettrico nelle condizioni di cariche.

Quindi, la terza famiglia di sistemi ibridi, è in grado di unire i vantaggi di entrambe le tecnologie, pagando il prezzo di una maggior complicazione meccanica e di maggiori costi di realizzazione.

2.3 VEICOLI IBRIDI PLUG-IN



Figura 11.-Esempio veicolo ibrido.

L'auto ibrida plug-in (PHEV) è un tipo di veicolo in cui le batterie possono essere caricate senza l'ausilio del motore a combustione interna, utilizzando una fonte di energia elettrica esterna collegata attraverso cavi.

Tali autovetture hanno le stesse caratteristiche di quelle ibride classiche e possono essere sia in serie che in parallelo.

Attualmente la tecnologia ibrida plug-in è la più performante poiché consente di aggirare uno dei limiti delle auto completamente ibride. Infatti grazie ad esse è possibile percorrere vari chilometri senza essere costretti ad usare benzina (o gasolio).

Ciò è fattibile grazie alla presenza di accumulatori che, rispetto ai classici, sono più potenti.

La batteria maggiorata permette di percorrere 50/60 km utilizzando il solo motore elettrico.

Questi veicoli sono ricaricabili non solo nelle fasi di decelerazione ma anche ricorrendo alle colonnine pubbliche o alla rete domestica.

I vantaggi sono quindi:

- Percorrenza di alcune decine di km usando solo il motore elettrico;
- Zero emissioni quando non viene usato il motore termico;
- Assenza di problemi legati all'autonomia;
- Nessuna manutenzione specifica;
- Maggiori opzioni di ricarica per il motore elettrico;

2.4 VEICOLI COMPLETAMENTE ELETTRICI



Figura 12.-500 elettrica.

La vera auto ad emissioni zero è l'auto elettrica spinta **esclusivamente** da un motore elettrico ricaricato mediante una batteria ad alto voltaggio.

Nel dettaglio lo schema di un veicolo elettrico è il seguente:

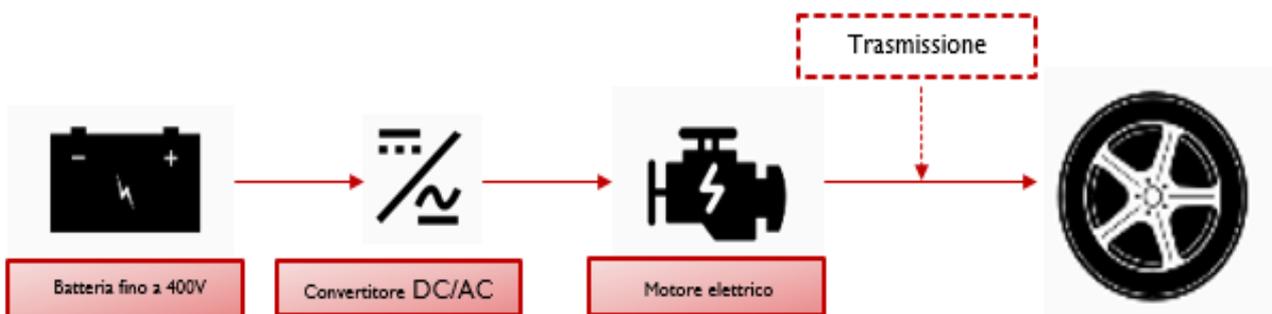


Figura 13.-Veicolo puramente elettrico

L'elemento chiave di tale veicolo è la batteria che non è altro che un "serbatoio" di energia per far funzionare il motore.

Questa, analizzata nel dettaglio nel capitolo 3, fornisce corrente continua ma, generalmente si lavora con motori a corrente alternata e per questo motivo si inserisce, tra i due sistemi, un convertitore DC/AC.

Il motore elettrico è solitamente a presa diretta evitando così i sistemi di cambio e frizione.

Questo può fungere da generatore e, perciò, è possibile il recupero di parte dell'energia cinetica del veicolo durante le fasi di frenata e dell'energia potenziale durante le discese.

I vantaggi offerti da tali mezzi sono vari:

- Zero emissioni al tubo di scarico;
- Recupero parziale di energia cinetica in frenata e potenziale in discesa;
- Scarsa manutenzione del veicolo grazie all'affidabilità dei componenti;
- Elevata efficienza;
- Assenza di rumore a basse velocità;
- Possibilità di ricaricare le batterie a casa propria o utilizzando le colonnine esterne.

Gli svantaggi sono:

- Autonomia limitata;
- Peso batterie;
- Tempi lunghi per la ricarica;
- Velocità massima limitata;
- Mancanza di infrastrutture;
- Costo.

Generalmente le caratteristiche di un veicolo elettrico sono le seguenti:

Autonomia	120/140 Km
Velocità massima	110/120 Km
Peso batterie	120-180 Kg
Durata batterie	120000 Km
Tipologia batterie	Litio
Voltaggio batterie	400 V

Tabella 2.-Caratteristiche veicolo elettrico.

3. ANALISI COMPONENTI DEI VEICOLI ELETTRICI

Il veicolo elettrico, chiamato anche EV dall'inglese *electric vehicle*, come detto nel capitolo precedente, è un veicolo che utilizza propriamente energia elettrica accumulata in apposite batterie per movimentare il mezzo.

Gli elementi principali di cui è composto un veicolo elettrico sono la batteria (*paragrafo 3.1*) con il BMS (*paragrafo 3.1.1*), i super capacitori (*paragrafo 3.2*), l'inverter (*paragrafo 3.3*) e il motore elettrico (*paragrafo 3.4*):

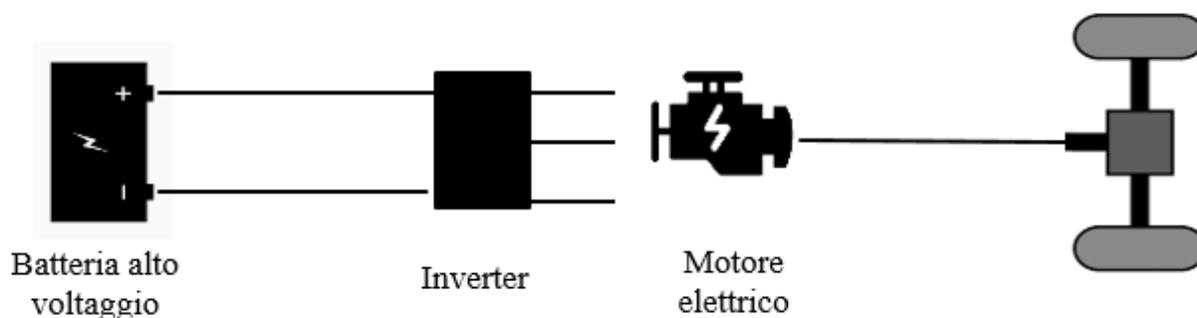


Figura 14.-Schema veicolo elettrico

3.1. ANALISI TIPOLOGIE BATTERIE

Le batterie utilizzate nelle auto elettriche utilizzano il medesimo principio della pila scoperto da Alessandro Volta (1799), cioè la conversione di energia chimica in energia elettrica.

Ciò avviene mediante una reazione di ossidoriduzione nella quale una sostanza si ossida perdendo elettroni. Questi transitano verso una seconda sostanza producendo, di conseguenza, un flusso di elettroni fra le due sostanze attraverso un elettrolita ovvero un flusso di corrente continua. Le due sostanze, per evitare il cortocircuito, sono tenute divise da un separatore.

I quattro componenti principali di tale batterie sono quindi: elettrodo negativo (anodo), elettrodo positivo (catodo), separatore ed elettrolita. Per aumentare la capacità di stoccaggio della batteria bisogna aumentare l'area degli elettrodi e aumentarne la porosità al fine di avere una maggiore area di reazione.

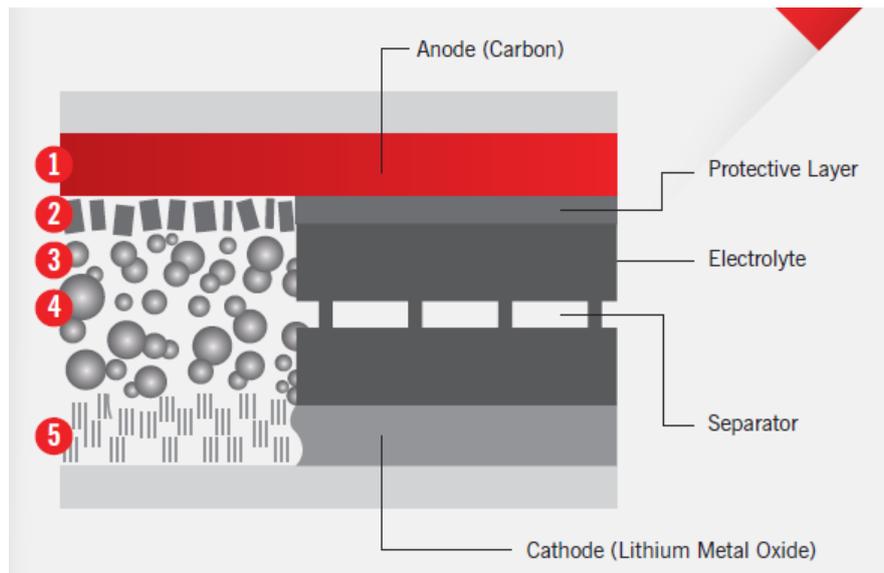


Figura 15.-Elementi principali batteria ioni Li

- **ANODO:**

L'anodo è l'elettrodo negativo composto da carbonio, generalmente grafite, in forma di polvere combinato con materiali leganti

- **CATODO:**

I materiali più utilizzati per il catodo sono Mn, Ni, Co i quali presentano una struttura cristallina piuttosto aperta con canali e spazi all'interno dei quali si inseriscono facilmente gli ioni Litio.

Dal momento che gli ioni si legano debolmente alla grafite rispetto agli ossidi metallici, il loro spostamento verso il catodo è energeticamente favorito.

- **ELETTROLITA:**

Nelle celle di ioni-litio, l'elettrolita è generalmente un mix di carbonati organici come carbonato di etilene o dietilcarbonato.

- **SEPARATORE:**

I separatori più comuni sono composti di polietilene e polipropilene. La loro funzione è quella di prevenire il contatto diretto tra anodo e catodo. I pori nel separatore permettono il trasferimento degli ioni Litio, per diffusione, durante la carica e la scarica.

Le batterie attualmente in uso nei veicoli a basse emissioni ad alimentazione elettrica sono costruite con tre tecnologie, da cui derivano caratteristiche e prestazioni differenti e sono: Nichel-metal-idrato, piombo-gel e batterie al litio.

Le prime due tipologie sono oramai state soppiantate dalla terza che si può trovare in varie declinazioni.

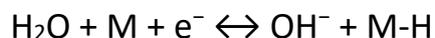
a) Nichel- metal-idrato:

È il primo tipo di batteria che è stato usato nelle prime automobili ibride, che hanno unito propulsori elettrici e benzina per aumentare la scarsa autonomia delle batterie. Queste batterie avevano limiti davvero molto bassi, solamente **3 o 4 chilometri**.

Questo accumulatore è molto simile a quello nichel-cadmio. In entrambi i casi il nichel funge da catodo ma l'anodo, che assorbe l'idrogeno, è una lega invece che il Cadmio.

Queste batterie hanno una "densità energetica" maggiore rispetto alle seconde.

La reazione che avviene nell'anodo è la seguente:



L'idrossido nicheloso invece si forma nel catodo:



Esse hanno una tensione di carica di 1.4-1.6 V/cella.

b) Piombo-gel:

Questo tipo di batteria è considerato sicuro e molto affidabile. La vita media della batteria si aggira attorno ai 400 cicli di scarica completi. Tuttavia le vecchie batterie al piombo necessitano di manutenzioni periodiche per l'aggiunta di acqua o acido. Il tempo di durata di questo tipo di batteria si aggira sui 20 chilometri circa, mentre quelle con piombo-gel arrivano a toccare punte di 80 km, un passo avanti rispetto a quelle al nickel-metal-idrato. I costi di questo tipo di batterie si aggirano attorno ai 600 euro.

c) Litio:

Le batterie agli ioni litio sono, ormai, quelle più utilizzate in molti ambiti compreso quello automobilistico.

Gli ioni litio si muovono dall'anodo (elettrodo negativo) al catodo (elettrodo positivo) durante la carica/scarica e sono intercalati dentro il primo elettrodo. In particolare, sono inseriti nei vuoti della struttura cristallografica dell'anodo.

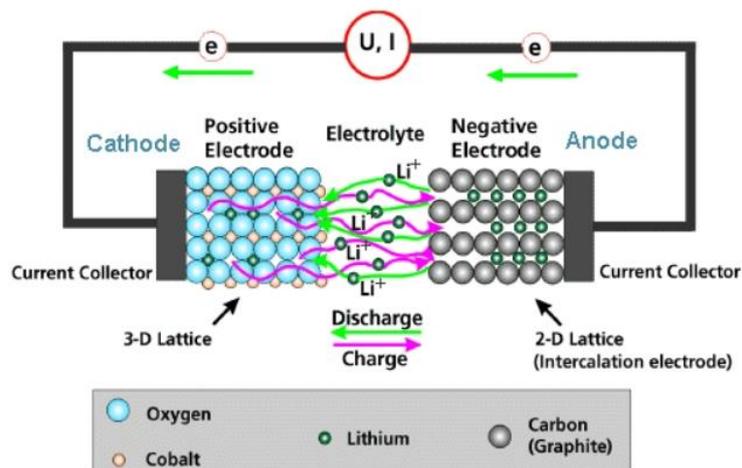


Figura 16.-Carica/scarica batterie al litio

Nelle celle di ioni-litio, i layers di anodo e catodo sono separati da un fil poroso (**separator**). Inoltre un elettrolita, composto da un solvente organico e dissolto nei Sali di litio, fornisce un mezzo di trasporto per gli ioni litio.

Le celle di ioni-litio hanno un range di voltaggio che va da 3.0 a 4.2 Volt ma, generalmente, il voltaggio è di 3.6/3.7 V.

Per molte celle, una scarica sotto i 3.0 V può causare la degradazione dell'elettrolita e, quindi, una scarica sotto le specifiche imposte dal fabbricante viene considerata come *over-discharge*.

Le celle possono essere connesse in serie o in parallelo. Nel primo caso si va ad aumentare il voltaggio mentre nel secondo caso la capacità:

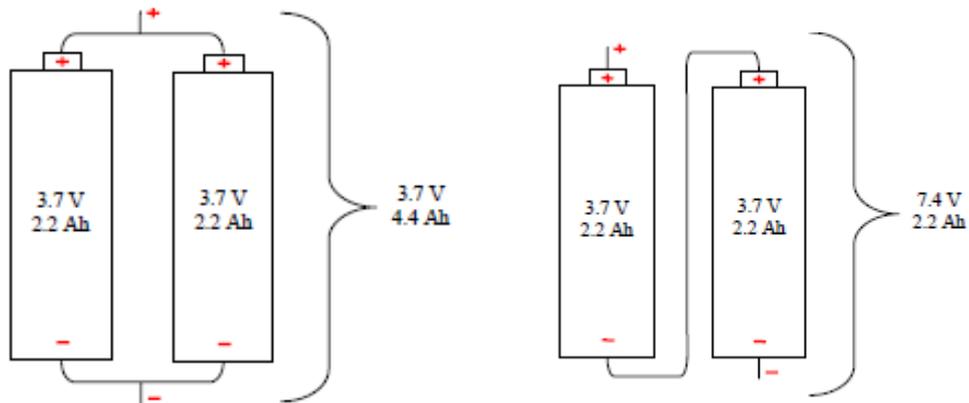


Figura 17.-Collegamento serie e parallelo delle celle

Normalmente si utilizza una sigla normata per descrivere la configurazione delle batterie. In particolar modo, tale sigla indica il numero di celle connesse in serie e il numero di pacchi connessi in parallelo. Ad esempio la sigla "4S3P" indica una batteria che ha 3 pacchi di celle collegati in parallelo e ognuno di questi è costituito da 4 celle connesse in serie.

Le celle elettrochimiche vengono comunemente caratterizzate utilizzando alcuni parametri:

- **Tensione nominale, V_n** - È la tensione che si misura ai terminali di una cella mediamente carica, quando in essa non scorre corrente. Essa può essere schematizzata come un generatore di tensione di valore pari alla sua tensione nominale.
- **Capacità nominale, C_n** - Indica la carica che può attraversare il terminale positivo di una cella carica prima che questa si scarichi completamente. Solitamente viene espressa in Ah o mAh.
- **Massima corrente di scarica/carica** - La massima corrente che può attraversare la cella senza che essa si danneggi e solitamente maggiore in scarica piuttosto che in carica.

- **Autoscarica-** L'energia che può essere estratta da una cella decresce nel tempo anche se nessuna corrente scorre attraverso i terminali. Solitamente viene indicata come riduzione percentuale della carica per unità di tempo (esempio %/mese).

3.1.1 BMS

Solitamente una batteria per veicoli elettrici è costituita da N celle collegate in serie al fine di ottenere una tensione ad alto voltaggio (420 V=100 celle). Dopodiché vengono collegate in parallelo più stringhe fino ad ottenere la potenza nominale voluta:

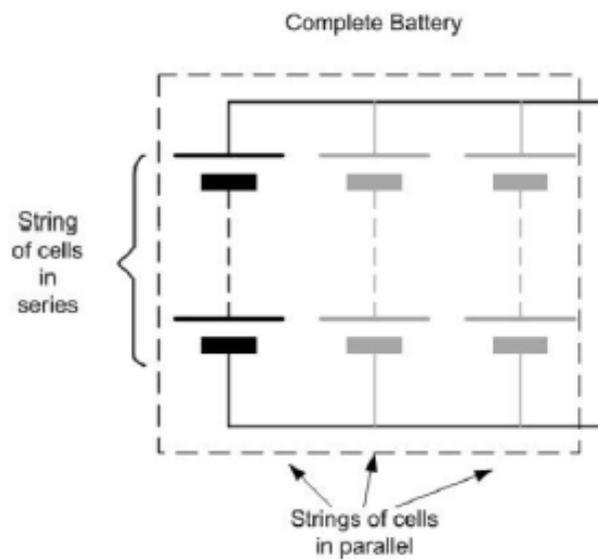


Figura 18.-Struttura batteria

Tutte le celle non si trovano allo stesso potenziale per problemi costruttivi. Due di queste si dicono bilanciate se hanno lo stesso SOC (State of Charge). Un indicatore di bilanciamento è la tensione ai capi della cella.

Naturalmente, se le celle sono sbilanciate si va incontro ad una serie di problemi come la perdita di capacità.

Per ottimizzare la vita utile delle batterie e per evitare di avere diverse problematiche è necessario il BMS (Battery Managing System). Esso è un sistema di bilanciamento e monitoraggio, in tempo reale, delle condizioni operative della batteria. Il suo obiettivo è quello di rendere la batteria più efficiente, longeva e sicura.

A tal proposito, il BMS si occupa di:

- Monitorare tutte le celle;
- Controllare se le celle si trovano nei propri range operativi di tensione, corrente e temperatura;
- Proteggere la batteria dal danneggiamento,
- Svolgere funzioni di interfaccia con applicazioni interne ed esterne al veicolo.

Inoltre il BMS ha una funzione fondamentale durante la carica e la scarica poiché durante queste due attività la batteria rischia di danneggiarsi a causa di una carica o scarica eccessiva.

Per svolgere tale mansione, esso va a svolgere diversi compiti come:

- *Controllo termico*: controlla la temperatura della cella provvedendo a raffreddarla o scaldarla nel caso si trovi in un range di temperature critiche;
- *Misura della tensione*;
- *Misura della capacità*: si occupa di contare/ monitorare i cicli di carica/scarica;
- *Controllo potenza erogata*;
- *Bilanciamento celle*.

Il BMS ha quindi una funzione di diagnostica poiché rileva i problemi di malfunzionamento della batteria permettendo di lavorare sempre in condizioni di sicurezza. Oltre ai compiti elencati tale sistema, infatti, svolge altre funzioni come:

- Rileva i gas di sfiato;
- Rileva i corti circuiti;
- Isola la batteria durante lo spegnimento;
- In condizioni di emergenza limita l'assorbimento di corrente;

Stima lo stato di carica della batteria (SOC)

In conclusione il BMS è un sistema necessario che svolge dei controlli permettendo di lavorare in condizioni di sicurezza durante la ricarica e la scarica.

Mentre le condizioni di scarica possono essere monitorate dal BMS, dal controllo centrale e dal guidatore stesso, quelle di carica, invece, vengono svolte in automatico.

Se quest'ultimo rileva una temperatura eccessiva, la colonnina di ricarica deve abbassare la corrente o fermare l'operazione. Allo stesso modo deve bloccare la carica se rileva un guasto dell'isolamento.

Per far ciò il BMS e la stazione di carica devono inviarsi reciprocamente informazioni.

Quindi, tale sistema svolge anche il ruolo di comunicare e trasmettere agli altri dispositivi i dati rilevati e le informazioni ottenute durante la diagnostica.

3.1.2 TELERUTTORI

I teleruttori sono dispositivi staccabatteria. Essi sono “sistemi di sicurezza” e il loro compito è quello di bloccare la corrente nell’impianto elettrico interrompendo il collegamento tra la batteria e gli utilizzatori.

Lo scopo è quello di:

- Protezione in caso di cortocircuito nell’impianto elettrico
- Effettuare la manutenzione o le riparazioni in sicurezza;
- Ridurre l’auto-scarica della batteria quando un mezzo non viene utilizzato per lungo tempo.

L’apertura o la chiusura dei contatti elettrici avviene tramite un elettromagnete.

L’azionamento avviene per mezzo della chiave d’avviamento del mezzo o di un apposito interruttore posto nell’abitacolo (*vedere capitolo 6.2.1*).

Essi possono interrompere la fase negativa (-), la fase positiva (+) oppure entrambe (bipolari).

3.1.3 FUSIBILI

Il fusibile è il mezzo più semplice e meno costoso di interruzione corrente. E’ un dispositivo elettrico in grado di proteggere un circuito dalle sovracorrenti causate dai cortocircuiti.

In particolar modo, i fusibili per i veicoli hanno dimensioni e forma che ne permettono una maggiore praticità e permettono di proteggere i circuiti dell’auto da cortocircuiti evitando, allo stesso tempo, di causare danni ad altri elementi presenti.



Figura 19.-Fusibili automobile

Tanto più è elevato il sovraccarico maggiore sarà la velocità di intervento dei fusibili.

Esso è costituito da un contenitore in vetro, ceramica o plastica che contiene un elemento conduttore. Quest'ultimo percorso da corrente si riscalda, per effetto Joule, e quando supera una certa temperatura si fonde interrompendo il flusso di corrente.

Solitamente l'elemento conduttore è riempito di sabbia per evitare la comparsa di archi elettrici.

Le grandezze principali, caratteristiche dei fusibili, sono:

- **Tensione nominale:**

E' il valore massimo della tensione a cui può essere sottoposto il fusibile;

- **Corrente nominale:**

E' la corrente che il fusibile può sopportare senza fondere e senza che si verifichino riscaldamenti anomali;

- **Potere di interruzione:**

E' il valore più elevato di corrente che il fusibile è in grado di interrompere ad una tensione determinata e in condizioni specifiche d'uso.

Il criterio chiave per valutare le prestazioni di un fusibile è la curva tempo-corrente. La curva viene utilizzata per dimensionare il dispositivo in relazione al sovraccarico di corrente previsto nell'applicazione.

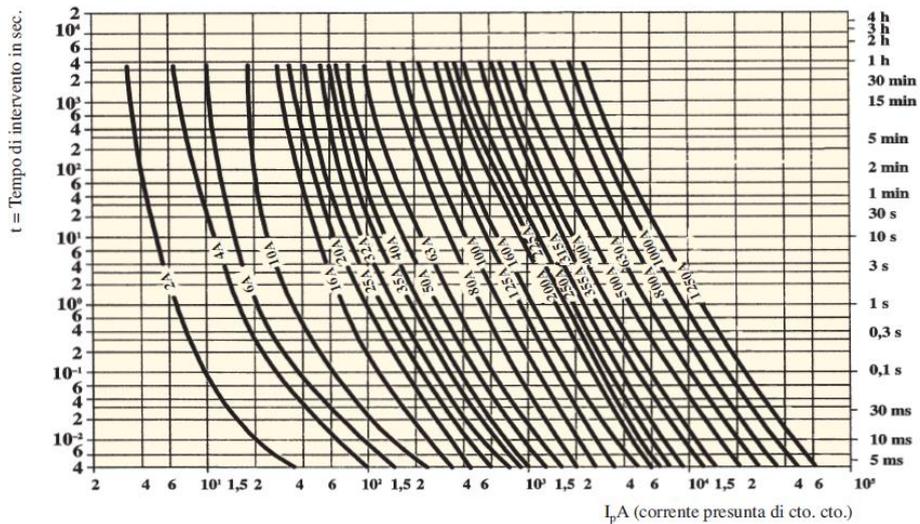


Figura 20.-Curva tempo-corrente fusibili

La figura precedente riporta le curve di intervento di alcuni fusibili commerciali aventi correnti nominali da 2 A a 16 A.

Si osservi che un fusibile, ad esempio, con corrente nominale di 2° è in grado di reggere per un'ora (3600s) una corrente pari a 2.6 A senza danneggiarsi, mentre se percorso da 3 A si danneggia dopo circa 10s.

Esistono 4 tipi differenti di fusibili per veicoli: mini low profile, mini standard, medium e maxi.

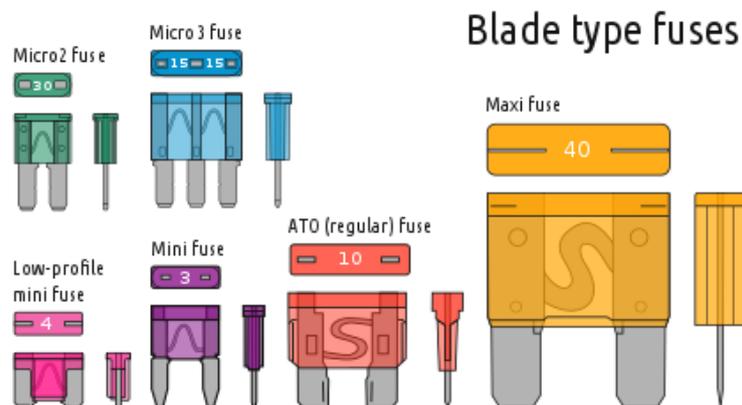


Figura 21.-Fusibili per autoveicoli

La tipologia dipende dalla portata (indicata in ampere). La quantità e il tipo di fusibili varia da veicolo a veicolo.



Figura 22.-Mega-fuse

3.1.4 RICARICA BATTERIE

Per poter ricaricare la batteria è necessario collegare l'auto stessa ad un sistema di ricarica che può essere anche una semplice presa di corrente.

La soluzione più adeguata è quella di utilizzare le colonnine di ricarica che permettono di ridurre i tempi e permettono di gestire potenze più elevate.

Per capire al meglio come avviene la ricarica, bisogna fare una distinzione tra **modi di ricarica**, **prese** e **standard** di ricarica.

3.1.4.1. MODI DI RICARICA

I modi di ricarica (IEC 61851-1) sono sostanzialmente 4 e sono riassunti nella seguente tabella:

MODO	TIPO DI CONNESSIONE	TIPO CORRENTE	TEMPI RICARICA	LINEE DI CONTROLLO
Modo 1	Collegamento diretto alla rete	Alternata monofase (max 250 V) o Alternata trifase (max 480 V)	Ricarica lenta 6-8 h a 16 A	NO

MODO	TIPO DI CONNESSIONE	TIPO CORRENTE	TEMPI RICARICA	LINEE DI CONTROLLO
Modo 2	Collegamento diretto alla rete	Alternata monofase (max 250 V) o Alternata trifase (max 480 V)	Ricarica lenta 6-8 h a 16 A	SI <i>Fra cavo e vettura.</i> Dispositivo chiamato Control Box (Sicurezza PWM)
Modo 3	Dispositivo di ricarica permanentemente connesso alla rete	Alternata	Ricarica lenta 6-8 h a 16 A O Ricarica veloce 30 m-1 h a 64 A	SI <i>Fra dispositivo di ricarica e vettura</i> Dispositivo chiamato Control Box (Sicurezza PWM)
Modo 4	Dispositivo di ricarica permanentemente connesso alla rete	Continua (Conversione AC-DC fatta dal dispositivo di ricarica)	Ricarica ultrarapida 5-10 Min.	NO

Tabella 3.-Modalità ricarica elettrica

- **Modo 1:**

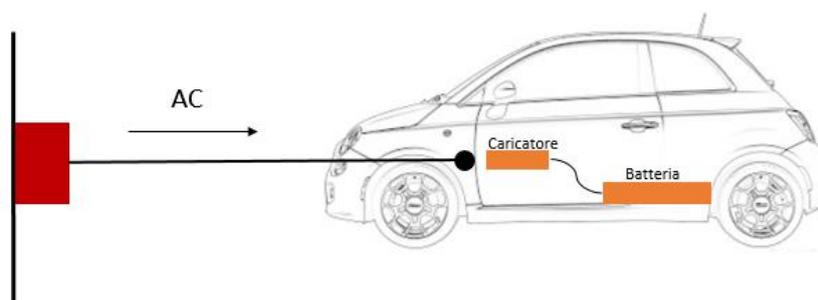


Figura 24. -Modo 1.

Il veicolo è collegato direttamente alla rete elettrica (rettangolo rosso) attraverso prese standard presenti nelle residenze che, a seconda del paese, sono di solito 10 A. Questa modalità è adatta a bici elettrico o scooter. NON è adatta per i veicoli elettrici.

La ricarica è lenta (6-8 h) a 16 A.

La prima limitazione è la potenza disponibile, per evitare rischi di:

- Riscaldamento della presa e dei cavi in seguito ad uso intensivo per diverse ore o in prossimità della potenza massima (che varia da 8h a 20h a seconda del paese).
- Rischi di incendio o di infortunio elettrico se l'impianto elettrico è obsoleto o se sono assenti alcuni dispositivi di protezione.

La seconda limitazione è legata alla gestione dell'alimentazione dell'impianto. Poiché la presa di ricarica condivide un alimentatore da quadro con altre prese (nessun circuito dedicato), se la somma dei consumi supera il limite di protezione (in generale 16 A), l'interruttore interromperà la ricarica.

- **Modo 2:**

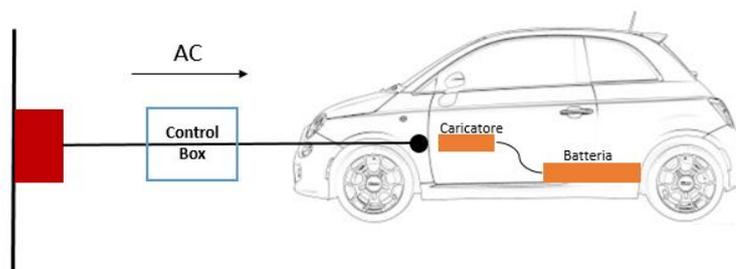
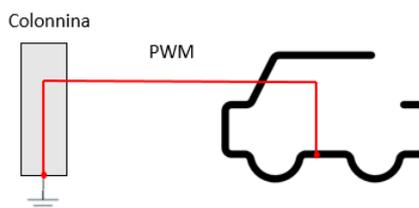


Figura 23.-Modo 2

Il veicolo è collegato alla rete elettrica principale (rettangolo rosso) tramite prese e spine conformi ad uno standard IEC, International Electrotechnical Commission ma con corrente nominale fino a 32 A. Nel modo di ricarica 2 c'è comunicazione tra sistema di alimentazione e veicolo. **Il sistema di alimentazione è racchiuso in una "Control Box" (Sistema di sicurezza PWM¹), integrata nella spina**

¹ La norma prevede un'elettronica di controllo che utilizza un sistema di comunicazione universale tra la stazione e il veicolo attraverso un circuito **PWM (Pulse Width Modulation)**, necessario per garantire la sicurezza del processo di ricarica per le persone.



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.

o sul cavo di collegamento e protetta da differenziale da 30 mA (vedere paragrafo a pag 40).

Questa soluzione è più costosa della modalità 1 a causa della specificità del cavo.

La ricarica è lenta (6-8 h) a 16 A.

- **Modo 3:**

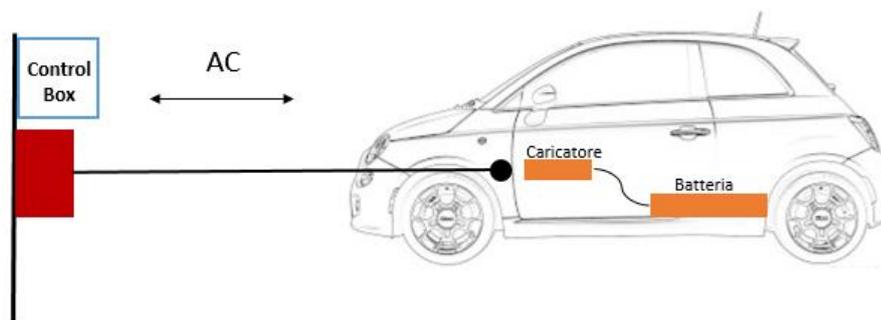


Figura 24.-Modo 3

Il veicolo è collegato direttamente alla rete elettrica, corrente alternata (rettangolo rosso), tramite presa e spina specifici e un circuito dedicato. Anche in questa modalità è presente un sistema di sicurezza **PWM**. Questa è l'unica modalità di ricarica che soddisfa gli standard applicabili che regolano gli impianti elettrici. Inoltre permette che gli elementi elettrici presenti possano essere funzionati durante la ricarica del veicolo o al contrario ottimizzi il tempo di ricarica del veicolo elettrico.

La ricarica può essere lenta (6-8 h) a 16 A o mediamente rapida (30 min-1h) a 63 A.

Il veicolo adegua la corrente prelevata all'indicazione del segnale della stazione di ricarica e comunica il proprio stato tramite un valore in tensione.

- **Modo 4:**

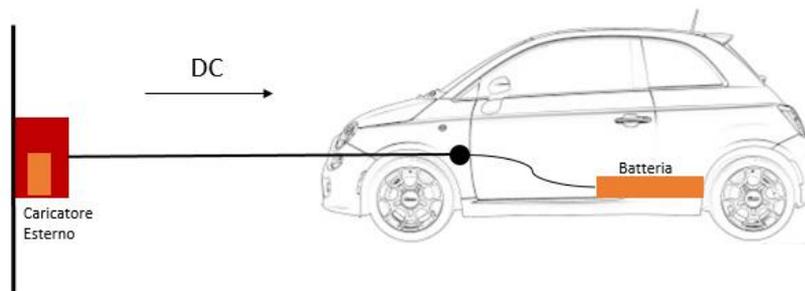


Figura 27. -Modo 4

Il veicolo elettrico è collegato alla rete elettrica principale tramite un caricatore esterno (rettangolo arancione). Le funzioni di controllo e protezione e il cavo di ricarica del veicolo sono installati permanentemente nell'impianto.

Si ricarica, quindi, direttamente la batteria del veicolo elettrico in corrente continua (DC); questa modalità permette di superare i vincoli imposti dal caricabatteria interno AC e rende possibile la ricarica ad alta potenza (quindi ultra veloce).

La ricarica avviene in corrente continua fino a 200 A, 400 V. Il carica batteria è esterno al veicolo (nella colonnina) ed esistono due standard (*paragrafo 3.1.4.3*).

INTERRUTTORE DIFFERENZIALE

Il macroshock da contatto indiretto si ha quando viene meno l'isolamento del cavo. Durante la ricarica in corrente alternata il veicolo è protetto da un interruttore differenziale che garantisce la protezione dalle scosse elettriche in caso di guasto all'isolamento.

Esso è un dispositivo che interviene interrompendo l'erogazione dell'energia elettrica quando rileva una corrente di dispersione verso terra superiore ad una soglia preimpostata.

Come indicato nella Norma Impianti CEI 64-8 art. 722.531.1, se la protezione contro i contatti indiretti delle stazioni di carica dei veicoli elettrici è affidata a un interruttore differenziale, deve essere previsto un dispositivo per punto di carica almeno di **Tipo A** se si tratta di un circuito monofase; deve essere invece installato un differenziale di **tipo B** nel caso in cui il circuito sia trifase (e cioè il caso più comune).

È, infatti, noto che le protezioni differenziali di tipo A non sono sensibili alle correnti differenziali prodotte da tensioni generate da raddrizzatori polifase. Comprensibilmente, il tipo AC non è mai ammesso.

Quelli di **tipo A** garantiscono la stessa protezione di quelli AC (intervengono in presenza di correnti di dispersione verso terra alternate sinusoidali ed applicate istantaneamente o in modo lentamente crescente), ma sono in grado di intervenire anche in presenza di correnti pulsanti unidirezionali.

Infine, si ha il tipo B. Essi rappresentano la massima protezione perché sono in grado di rilevare correnti differenziali di guasto di tipo continuo o ad alta frequenza, che non sono rilevate dai differenziali di Tipo AC o A.

Inoltre, nel modo 2, è possibile anche usare un interruttore differenziale con corrente di intervento pari a 30 mA. Tale valore è imposto dalla legge perché permette di rimanere nella regione 3 nonostante un passaggio di corrente nel corpo umano di durata infinita.

In caso di guasto del cavo si avrebbe:

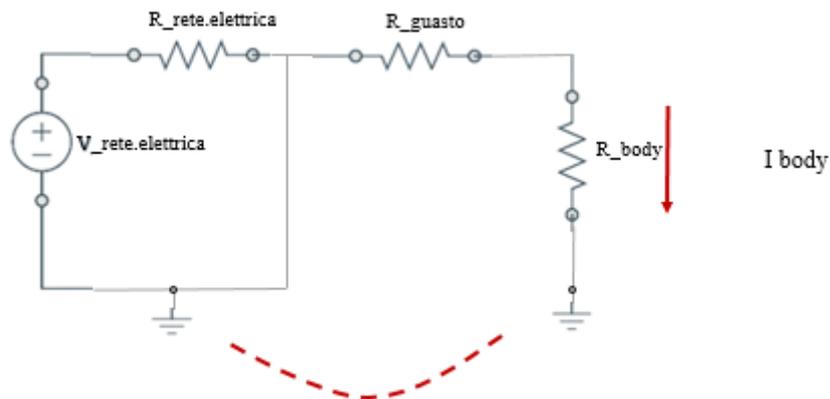


Figura 25.-Schema elettrico colonnina.

$$I_{body} = V_{colonnina} \frac{1}{R_{body} + R_{guasto} + R_{rete.elettrica}}$$

Il macroschock da contatto indiretto con un buon impianto di terra e con un differenziale è impossibile:

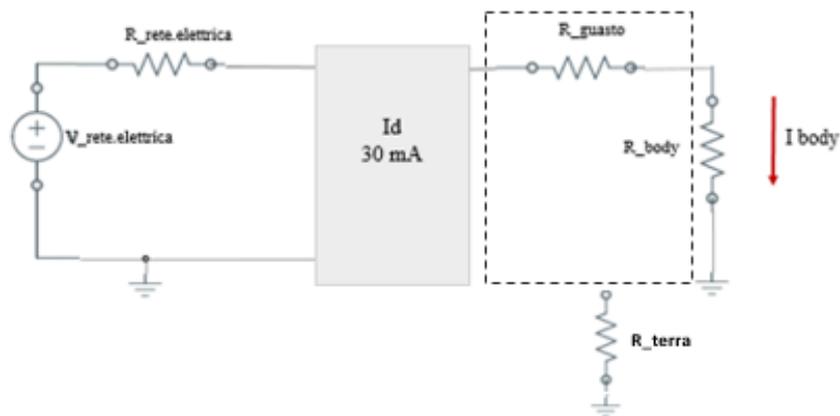


Figura 26.-Interruttore differenziale

3.1.4.2 PRESE

Per la ricarica dei veicoli elettrici in corrente **alternata AC** (Modo 2 e Modo 3) sono previste tre tipologie di connettori che sono Tipo1, Tipo 2 e Tipo 3. In base alla loro applicazione si possono trovare o sul lato colonnina e/o sul lato veicolo.

- **Tipo 1 (velocità di ricarica 7.4 kW):**



Figura 27.-Tipo 1.

Chiamato Yazaki è utilizzato sul lato veicolo e in particolare sulle auto giapponesi ed americane. Il connettore ha un diametro di 43 mm e 5 pin aventi tre dimensioni differenti: due per l'alimentazione elettrica, uno per la terra e due per il segnale di controllo.

- **Tipo 2 (velocità di ricarica 22 kW):**



Figura 28.-Tipo 2

Il tipo 2 è anche chiamato Mennekes e sopporta il mono e trifase. Questo tipo è la ricarica in corrente alternata più diffusa sulle automobili europee. Esso è utile per la ricarica a 3-120 KWatt e contiene sette pin: due piccoli e cinque più grandi.

La fila superiore è costituita da due piccoli contatti per il segnale, la fila centrale contiene tre perni. Il perno centrale viene utilizzato per la messa a terra mentre i due perni esterni utilizzati per l'alimentazione. Opzionali sono anche i due pin dell'ultima riga (fila 3) che servono per l'alimentazione.

- **Tipo 3 (velocità di ricarica 7.4 kW):**



Figura 29.-Tipo 3

La EV Plug Alliance ha proposto un connettore che può erogare corrente trifase fino a 32 A ed è stato utilizzato in alcuni test per la Formula E. Questo tipo è ormai in disuso.

3.1.4.3 STANDARD di ricarica rapida con corrente continua

Per la ricarica dei veicoli elettrici in corrente **continua DC** (Modo 4) sono previsti due standard: CHAdeMO e CCS COMBO2, oltre a quello TESLA utilizzabile solo nelle auto del costruttore californiano.

- **CHAdeMO (velocità di ricarica di 50 kW):**

Standard che si trova sui veicoli giapponesi ed è spesso accompagnato da una presa di tipo 1.

- **CCS COMBO2 (velocità di ricarica di 50 kW):**

Standard di ricarica rapida scelto in ambiente europeo. Supporta anche la corrente alternata in combinazione con il Tipo 1 e Tipo 2.

- **TESLA (velocità di ricarica di 120 kW):**

Utilizzabile solo nei supercharger Tesla.

3.2 L'INVERTER

L'inverter è un elemento essenziale nei veicoli elettrici ed ibridi perché si occupa di convertire la tensione di un bus in continua, proveniente dalla batteria elettrica, in alternata. Quest'ultima a sua volta viene usata per alimentare il motore elettrico.

In particolar modo l'inverter può regolare, sia nella tensione che nella corrente, l'ampiezza e la frequenza.

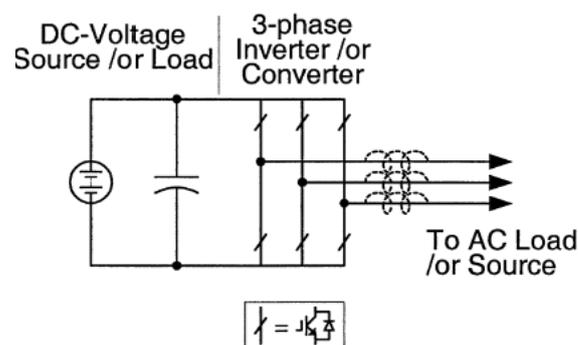


Figura 30.-Inverter tradizionale

La figura mostra la struttura di un inverter tradizionale: esso è costituito da tre rami (insiemi di due differenziali bidirezionali collegati in serie) alimentati in parallelo da una sorgente in continua (batteria). A ciascun ramo da capo un morsetto del carico trifase, alimentato dal centrale tra i due interruttori.

Dal punto di vista funzionale, esso è un convertitore DC/AC, in grado di trasformare, con opportuno comando degli interruttori di ramo, la continua in ingresso in un sistema trifase di tensione alternate in uscita.

Gli interruttori possono essere in ON o OFF ottenendo così 8 possibili configurazioni di tensione in uscita, delle quali 2 corrispondenti a tensione nulla (stati 0 e 7) e le altre a tensioni non nulla:

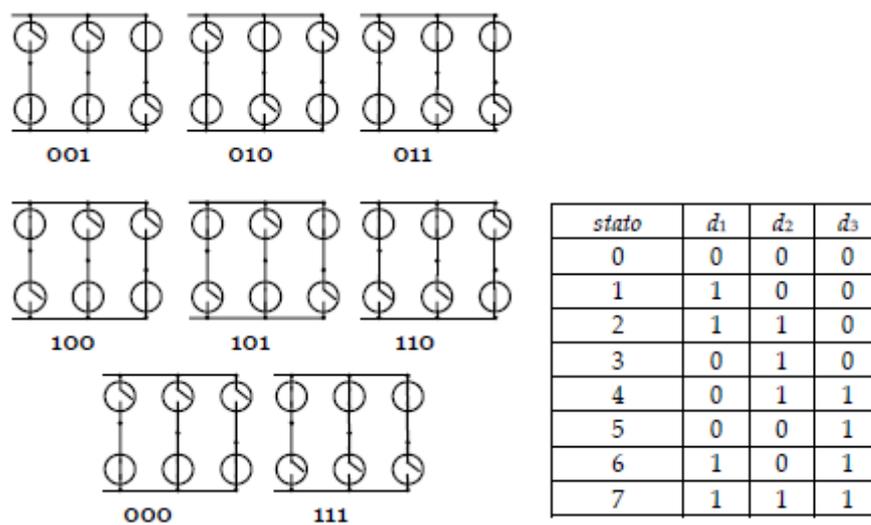


Figura 31.- Inverter trifase (stati)

3.4 MOTORE ELETTRICO

Durante la marcia del veicolo, la batteria cede l'energia al dispositivo inverter che converte la corrente continua in alternata e la invia al motore.

Quindi, il motore elettrico sfrutta l'energia elettrica accumulata in fase di ricarica e la trasforma in energia meccanica in modo da muovere il veicolo.



Figura 32.- Motore Elettrico.

Nelle fasi di decelerazione il motore diventa un *generatore* e ricarica la batteria.

Il motore per i veicoli elettrici è meno “complicato” tecnicamente rispetto al motore a scoppio in quanto è composto solo da due unità principali: lo **statore** e il **rotore**.

Lo statore è la parte fissa del motore di un’auto. Esso è composto da un conduttore (fili di rami) che generano campi magnetici variabili opposti a quelli generati dal rotore.

Il rotore è la parte mobile ed è dotato di campi magnetici permanenti.

La coppia (T) è generata dall’interazione tra i due campi magnetici di statore e rotore.

Per quanto riguarda questi due elementi vi sono diverse strutture:

1) Motore asincrono trifase:

Il motore asincrono è un tipo di motore elettrico in corrente alternata in cui la frequenza di rotazione non è uguale o un sottomultiplo della frequenza di rete, ovvero non è “sincrono” con essa; per questo si distingue dai motori sincroni.

Oggi, circa il 70% dei motori elettrici in esercizio è di questo tipo.

Il motore asincrono trifase viene alimentato da un sistema di tensioni trifasi cioè sfasate tra loro di 120° . La tensione di alimentazione è di 400 V in valore efficace, alla frequenza $f = 50$ Hz.

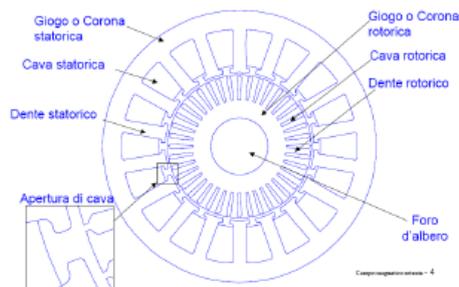
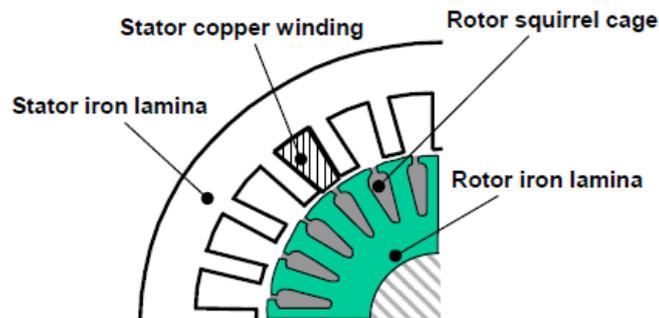


Fig. II-18

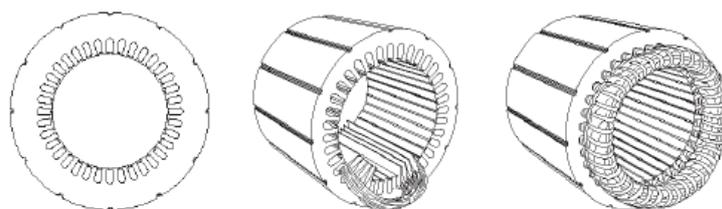


Figura 33.-Schema motore asincrono trifase.

In questo tipo di motore lo statore e il rotore sono due cilindri cavi coassiali separati da un traferro di spessore trascurabile. Entrambi sono in materiale ferromagnetico e sono isolati fra loro.

L'avvolgimento statorico o induttore è costituito da tre fasi identiche disposte nelle cave dello statore sfalsate di $120/p$ gradi meccanici fra loro (p coppie di poli); tali fasi possono essere collegate a stella o a triangolo permettendo, così, di alimentare lo stesso motore con due diversi valori di tensione.

Anche l'avvolgimento rotorico o indotto è costituito da tre fasi collegate come quelle dello statore e sono connesse ad un reostato trifase.

Oltre a questi due elementi sono importanti anche la *carcassa*, che svolge una importante funzione protettiva nei confronti sia delle parti elettriche e funzionali del motore sia degli utenti, e l'*asse meccanico* su cui spesso vi è un ventilatore per movimentare l'aria di raffreddamento.

Una corretta asportazione del calore è molto importante, perché il sovrariscaldamento, che può verificarsi a causa di sovraccarichi, eccessive temperature ambientali, scadente ventilazione, tensioni ai morsetti sbilanciate, rappresenta uno dei più pericolosi stress per il motore in quanto può provocare guasti prematuri dell'isolamento.

In conclusione, sullo statore (esterno) si genera un campo rotante mediante alimentazione trifase di tre avvolgimenti (uno per ciascuna fase). Si genera così spontaneamente un flusso statorico rotante (detto flusso induttore). Sul rotore (interno) 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 (da cui il termine asincrono) che dipende dal carico applicato. E' noto anche come motore a induzione.

2) Motore sincrono a magnete permanente (Brushless)

Il motore sincrono è un tipo di motore elettrico in corrente la cui rotazione è sincronizzata con la frequenza elettrica.

Sullo statore (esterno) si genera un campo rotante mediante alimentazione trifase di tre avvolgimenti (uno per ciascuna fase), esattamente come per il motore asincrono. Sul rotore (interno) ci sono magneti permanenti che generano il flusso rotorico che viene trascinato da quello statorico ad una velocità identica (da cui il termine sincrono) a quella del flusso statorico. I motori AC sincroni a magneti permanenti sono anche detti **Brushless** sinusoidali.

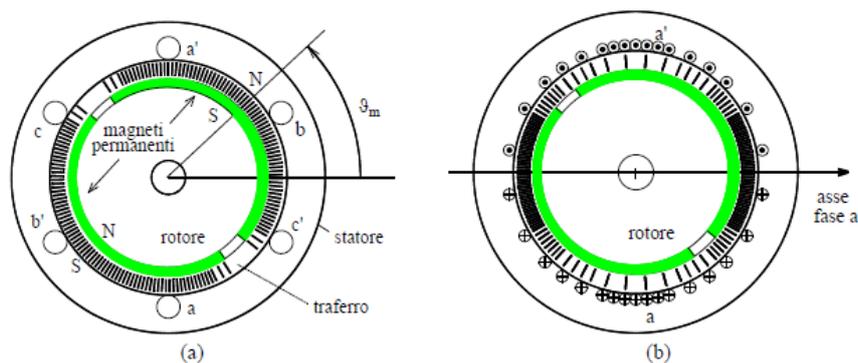


Figura 34.-.- Schematizzazione motore.

- (a) - Induzione al traferro prodotta dal magnete permanente di rotore (quasi quadrata)
- (b) - Induzione al traferro prodotta dall'avvolgimento statorico della fase a (sinusoidale)

4. CRASH TEST E REGOLAMENTAZIONI

La capacità di evitare danni al guidatore, ai passeggeri o ai pedoni negli ultimi vent'anni è diventata una delle priorità fondamentali dell'industria automobilistica.

La sicurezza si divide in attiva e passiva. La prima riguarda la capacità di un'auto di prevenire il verificarsi di un incidente, mentre la seconda si occupa di limitare i danni a seguito di un urto.

Nel considerare la sicurezza dei veicoli tutti i modelli in commercio devono rispettare le normative in vigore al momento della loro immissione nel mercato.

A tal proposito, a partire dagli anni Novanta, sono stati definiti una serie di "crash test" da effettuare. Tali crash, prescritti appunto dalle normative vigenti, vengono svolti insieme a un buon numero di altre prove in modo da riprodurre gli incidenti stradali più frequenti (urto frontale, urto laterale, urto palo, urto posteriore, roll-over, urto pedone etc.).

I test possono essere omologativi o di rating (test svolti da enti terzi attraverso i quali si ottiene una valutazione della sicurezza passiva, di solito in stelle, dei veicoli analizzati).

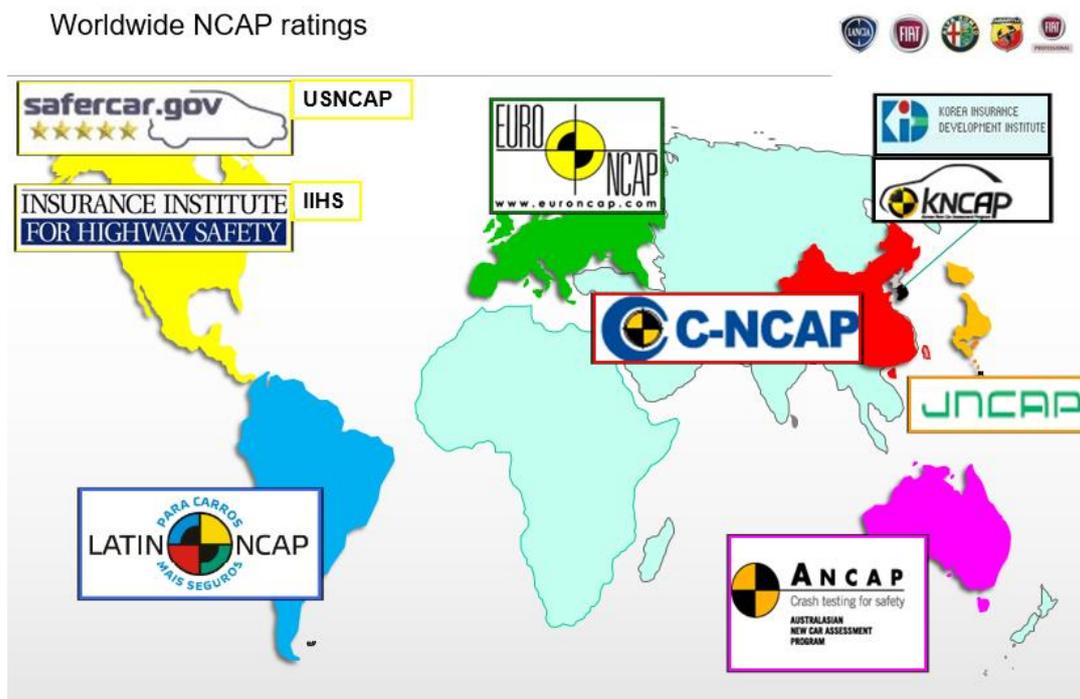


Figura 35.-Schema prove rating

4.1 TEST EUROPA

a) Test omologativi:

Quando si effettuano i test omologativi bisogna tener conto delle regolamentazioni **ECE** (Economic Commission for Europe). Tali norme descrivono un insieme di regole tecniche, internazionalmente riconosciute, per i veicoli elettrici e non e per i loro accessori che bisogna rispettare durante le varie prove.

Test omologativi Europa		
Tipologia urto	Specifiche test	Regolamentazione
Urto Frontale		
Barriera deformabile	Barriera a $\pm 1^\circ$ V= 56 -0/+1 km/h Overlap=40% \pm 20mm	ECE R94* ²
Barriera rigida	Barriera a 0° V=48.3 km/h	ECE R12*
Barriera rigida	Barriera a 0° V=50 \pm 1 km/h	ECE R137
Urto Laterale		
Barriera deformabile	V= 50 -0/+1 km/h	ECE R95*
Palo	V=33 \pm 1 km/h	ECE R135
Urto Posteriore		
Barriera rigida	V=50 \pm 1 km/h	ECE R34

Tabella 4.-Test omologativi Europa

² Al momento i veicoli elettrici sono soggetti solamente alle normative segnalate con l'asterisco, per completezza si elencano le norme di riferimento che presto verranno aggiornate con i criteri elettrici.

1) URTO FRONTALE

L'auto viene fatta urtare contro una barriera al fine di andare a verificare la capacità di assorbimento dell'urto del veicolo prima che venga intaccata la sicurezza del passeggero.

In questo tipo di prova si tiene conto delle regolamentazioni ECE 12, ECE 94 e ECE 100.

- **ECE R12**

ECE 12 indica regole da considerare in caso di urto frontale contro una **barriera rigida 0°**, alla velocità di **48.3 km/h**, **senza l'utilizzo dei manichini**. In particolare tale regolamento limita l'intrusione del volante e la sua aggressività verso il torace e la testa del guidatore. Nell'urto l'arretramento e l'innalzamento del volante non devono superare il valore di 127 mm.

Tale regolamentazione è valida per i veicoli della categoria M1 e N1 (categoria **M1**: veicoli destinati al trasporto di persone, aventi al massimo otto posti a sedere oltre al sedile del conducente con una massa massima ammissibile inferiore a 1500 Kg; categoria **N1**: veicoli destinati al trasporto di merci, aventi massa massima non superiore a 3,5 t).

La barriera deve essere costituita da un blocco di cemento armato non inferiore a 3m di larghezza e 1.5 di altezza

- **ECE R94**

Tale regolamento simula lo scontro frontale contro un altro veicolo che viaggia in direzione opposta e ha circa lo stesso peso. Entrato in vigore nel 1998, rappresenta un'evoluzione rispetto all'ECE12 in quanto introduce i manichini strumentati e limita i valori biomeccanici oltre a controllare le intrusioni in urto.

Esso si applica ai veicoli delle categorie M1 con una massa che non supera le 2.5 tonnellate. La barriera è **deformabile** e deve essere perpendicolare $\pm 1^\circ$ rispetto all'asse della pista di run-up e l'overlap è del **40%**. La velocità è di **56 km/h**, quindi simula un ipotetico urto in cui la velocità relativa dei due veicoli è di circa 100 km/h.

Tale urto prevede **l'uso dei manichini (due)** strumentati e, per tale motivo, vengono descritti tutti i parametri biomeccanici da tener in conto. Tali parametri vengono utilizzati per misurare il grado di lesione degli organi del corpo umano che vengono riprodotti dai manichini. Alcuni di questi parametri vengono misurati da specifici trasduttori mentre altri sono il risultato di un'elaborazione di una o più grandezze misurate dai trasduttori.

I principali parametri sono:

1) **HPC** (Head Performance Criterion):

Tale parametro è pienamente soddisfatto quando non c'è nessun contatto tra la testa e un qualsiasi componente del veicolo.

$$HPC = (t_2 - t_1) \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a dt \right]^{2.5}$$

Gli intervalli di tempo (t_2-t_1) superiori a 36 ms vengono ignorati.

2) **NIC** (Neck Injury Criteria):

I criteri al collo tengono conto delle forze di compressione, tensione, flessione, estensione e taglio espresse in kN all'interfaccia testa/collo.

3) **THCC** (Torax Compression) e **VC** (Viscous Criterion):

Il primo tiene conto della deformazione massima del torace mentre il secondo è definito come il prodotto tra la compressione e il grado di deflessione dello sterno.

4) **FFC** (Femur Force Criterion):

Tale criterio è determinato dai carichi di compressione, espressi in Kn, applicati su ogni femore.

5) **TCFC** (Tibia Compression Force Criterion):

Indica le forze di coompressione, in kN, applicate sulle tibie.

- **ECE R137**

Tale regolamentazione si applica ai veicoli di categoria M1 con un peso massimo di 3.5 tonnellate.

L'urto è più severo rispetto a ECE R12. Esso avviene alla velocità di **50 km/h** contro una barriera **rigida** e prevede l'utilizzo dei manichini.

2) URTO LATERALE

In questo tipo di prova si tiene conto delle regolamentazioni ECE 95 ed ECE 135.

- **ECE 95**

Tale regolamento si applica in caso di collisione laterale nell'abitacolo del passeggero che interessa l'abitacolo nei veicoli di categoria M1 e N1. In tali prove il punto R del sedile non è a più di 700 mm dal livello del suolo.

Il veicolo va ad impattare contro una barriera **deformabile** alla velocità di **50±1 km/h**.

- **ECE 135**

Si applica a:

- a) Veicoli di categoria M1 con una massa massima di 3,500 kg.
- b) Veicoli di categoria N1

La prova avviene a **32 ±1 km/h** e l'accelerazione del veicolo non deve superare gli 1.5 m/s². Tale test serve per verificare l'effetto di un urto concentrato (palo) quando colpisce la testa dell'occupante

3) URTO POSTERIORE

- **ECE R34**

Tale regolamento viene applicato ai veicoli di categoria M, N ed O.

Lo scopo di tale test è quello di andare a simulare un urto posteriore con un altro veicolo in moto.

La velocità di collisione deve essere tra i **48.3** e i **53.1** km/h. La massa della barriera deve essere 1,100±20 Kg.

b) Test euroNCAP:

Oltre ai test omologativi vi sono i test per l'euroNCAP (in italiano: *Programma europeo di valutazione dei nuovi modelli di automobili*), che si occupa di definire le modalità di valutazione della sicurezza passiva delle automobili nuove, tramite l'introduzione e l'uso di specifici protocolli di prova. Attualmente esso assegna un giudizio ai seguenti tre aspetti della sicurezza del veicolo:

- a) Protezione degli occupanti adulti sui sedili anteriori;
- b) Protezione dei bambini sui sedili posteriori;
- c) Protezione dei pedoni.

L'euroNCAP, oltre ad aver ideato una serie di test da eseguire (più severi rispetto agli standard omologativi), ha creato una valutazione della sicurezza espressa in stelle per aiutare i consumatori a scegliere il veicolo opportuno per le proprie esigenze.

Il numero delle stelle (massimo 5) dipende sia dalle prestazioni del veicolo che dall'equipaggiamento di sicurezza (esempio l'airbag) offerto dal fornitore.



Sicurezza 5 stelle: Buona protezione globale in caso di impatto. Veicolo equipaggiato con una robusta tecnologia anticollisione



Sicurezza 4 stelle: Buona protezione in caso di impatto; si incoraggiano miglioramenti della tecnologia anticollisione



Sicurezza 3 stelle: Media protezione degli occupanti, ma manca una tecnologia anticollisione



Sicurezza 2 stelle: Protezione nominale in caso di impatto, ma mancanza di una tecnologia anticollisione



Sicurezza 1 stella: Protezione da impatto scarsa.

Figura 36.-Assegnazione stelle euroNCAP

Vengono sottoposte a test tutte le nuove vetture immesse sul mercato o tutte le versioni di un modello offerto dal costruttore.

Test attuali euroNCAP	
Tipologia urto	Specifiche test
Urto Frontale	
Barriera deformabile	V= 64 km/h Overlap=40%
Barriera rigida	Barriera a 0° V=50 km/h
Urto Laterale	
Barriera deformabile	Barriera 1300 Kg V=50 km/h
Palo	V=32 km/h

Tabella 5.-test euroNCAP

1) URTO FRONTALE:

- **Barriera deformabile:**



Figura 37.-Barriera deformabile.

L'autovettura testata viene fatta impattare alla velocità di **64 +/- 1 km/h** contro una barriera deformabile disassata del 40%. Il test simula la collisione tra due vetture dello stesso peso, che viaggiano entrambe alla velocità di 50km/h. Esso utilizza due manichini Uomo adulto 50% seduti sui sedili anteriori e dei manichini Bambino collocati sui rispettivi sistemi di ritenuta montati sul sedile posteriore. Per evitare lesioni serie il movimento all'indietro del volante e dei pedali deve essere limitato.

I test ECE94 e EuroNCAP hanno molti punti in comune:

- a) Il set-up di prova è sostanzialmente lo stesso ma il rating ha una maggiore velocità di urto di 8 km/h;
- b) Si usano gli stessi manichini e gli stessi parametri biomeccanici per valutare le sollecitazioni sul corpo;
- c) I limiti della normativa coincidono con i valori che l'EuroNCAP sono il confine oltre il quale non si ottengono i punti.

Nell'EuroNCAP vi sono ulteriori criteri di valutazione: arretramento del montante A, rischio di abitacolo instabile, arretramento ed innalzamento dei pedali etc. pertanto il giudizio verte su un numero maggiore di parametri per valutare la sicurezza.

In conclusione si può dire che una vettura che supera al limite il test Omologativo ECE 94 otterrebbe una valutazione molto bassa, pari ad un punteggio quasi nullo nel test EuroNCAP .

- **Barriera rigida:**



Figura 38.-Barriera rigida

Le vettura viene impattata contro una barriera rigida a una velocità di **50km/h**. Due piccoli manichini 5% Donna vengono collocati rispettivamente sul sedile del conducente e sul sedile posteriore.

Questo test affianca il test frontale deformabile disassato al fine di verificare che il sistema di ritenuta sia equilibrato; ovvero il risultato di un compromesso tra la necessità della sufficiente rigidità di trattenimento di un manichino 50% Uomo nel test 64 km/h e la riduzione delle forze di decelerazione su un manichino 5% Donna nel test a 50 km/h.

URTO LATERALE:

- **Barriera deformabile:**



Figura 39.-Barriera deformabile.

La fiancata della vettura testata viene impattata perpendicolarmente da una barriera deformabile alla velocità di **50km/h**. Un manichino 50% Uomo viene posizionato sul sedile del conducente ed i manichini bambini vengono seduti nei rispettivi sistemi di ritenuta sul sedile posteriore.

Per superare con una buona valutazione il test, una grande attenzione si deve dedicare in fase di progetto alle strutture tra le portiere, sono stati adottati gli airbag laterali o a tendina e sono state sviluppate strutture di assorbimento energia più sofisticate nei sedili e nei pannelli porta. I tempi e l'intervento degli airbag devono essere attentamente controllati per garantire la migliore protezione possibile.

- **Palo:**



Figura 40.-Palo

Alcuni urti laterali su strada sono causati dallo spostamento laterale della vettura che si impatta contro pali o alberi sul bordo strada. Incidenti di questo tipo sono gravi e con una frequenza elevata di decessi o lesioni serie.

A tal proposito, si è introdotto l'impatto laterale di una vettura contro un palo rigido alla velocità di **32 km/h**. Un singolo manichino 50% Uomo viene collocato sul sedile conducente. Il test intende valutare la protezione per il segmento corporeo della testa del conducente. Gli airbag testa – spesso bag a tendina montati al di sopra dei finestrini, ma talvolta bag torace/testa montati nel sedile – sono diventati una soluzione comune, ma per garantire prestazioni ottimali di questi dispositivi è necessaria una grande cura nella messa a punto.

A partire dal 2020 varieranno alcune specifiche della prova di urto off-set prevista dall'EuroNcap (Figura 42):

Nuovi test euroNCAP a partire dal 2020	
Tipologia urto	Specifiche test
Urto Frontale	
Barriera deformabile	V= 50 km/h Overlap= 50%

Tabella 6.-Test euroNCAP a partire dal 2020

Nell'immagine seguente sono evidenziate le modifiche che verranno apportate durante il test. In blu sono riportate le specifiche attuali mentre in azzurre le specifiche che verranno rispettate a partire dal 2020:

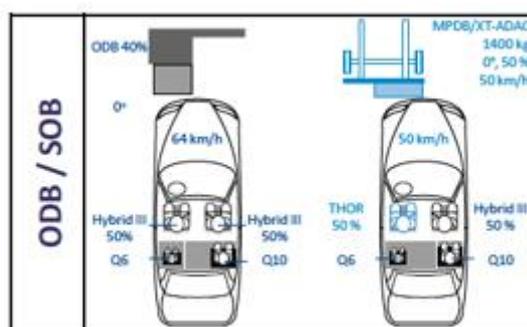


Figura 41.-Confronto prove euroNCAP attuali e prove 2020

Oltre all'introduzione del **carrello mobile** (sia veicolo che barriera in moto), nell'urto frontale con overlap, varierà il tipo di manichino. Si passerà da quello appartenente alla "famiglia degli Hybrid III" al Thor. **THOR** è un avanzato manichino 50% maschio con un numero maggiore di sensori in quantità e sensibilità rispetto agli Hybrid III. Inoltre ha una colonna vertebrale e un bacino più biofedeli ed il segmento corporeo della testa contiene un numero di sensori che consentono l'analisi dell'impatto del viso con un'accuratezza non ottenibile con gli altri manichini. Il numero di sensori di THOR è maggiore in quantità e sensibilità rispetto agli Hybrid III.



Figura 42.-manichino Thor.

4.1.1 REQUISITI ELETTRICI EUROPA

Nei veicoli elettrici, oltre ai parametri biomeccanici e strutturali, vengono valutati anche quelli elettrici, descritti, attualmente, nei regolamenti ECE 12, ECE R94, ECE95 e anche nel regolamento generico R100 per il veicolo non soggetto ad urto.

I parametri richiesti dalla legge sono di due tipi; alcuni sono riferiti alla vettura urtata e non mentre altri si riferiscono al componente batteria:

4.1.1.1 PARAMETRI VETTURE:

1) Assenza dell'alto voltaggio:

Tale verifica viene effettuata per verificare il corretto funzionamento dei telerruttori dopo un urto (*vedere paragrafo 3.1.2*).

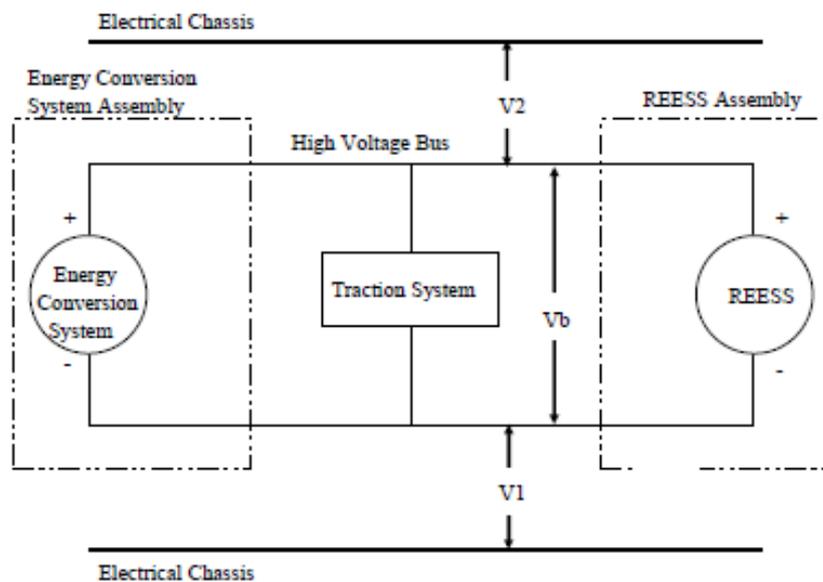


Figura 43.-Circuito misura isolamento.

Vengono misurate le tensioni V_b , V_1 e V_2 che sono, rispettivamente, la tensione del bus circuito ad alto voltaggio, la tensione tra il polo negativo e il telaio e la tensione tra il polo positivo del bus circuito e il telaio. Esse devono essere minori di 30V (AC) o 60V (DC)³.

Le misure vengono effettuate prima della prova ed immediatamente dopo l'urto. In particolar modo essa deve essere effettuata tra i 5 e i 60 secondi post-urto.

2) Energia elettrica:

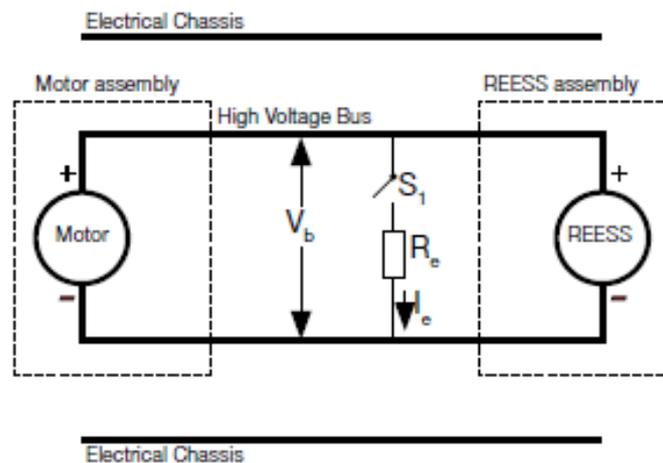


Figura 46. -Circuito misura isolamento.

La misurazione di energia elettrica viene effettuata immediatamente dopo l'urto in modo tale da verificare se, l'energia rimasta all'interno della batteria, è pericolosa per gli occupati. La norma prevede che l'energia totale nei bus circuiti ad alto voltaggio sia minore di 2.0 J.

	AC		DC
	V_{eff}	V_{peak}	V_{DC}
Bassa tensione	$\leq 30 V$	$\leq 42 V$	$\leq 60 V$
Alta tensione	$\leq 600 V$	$\leq 849 V$	$\leq 900 V$
Alta tensione	$\leq 1000 V$	$\leq 1414 V$	$\leq 1500V$

3

Tabella 7. - Classificazione tensioni.

La norma prevede che le tensioni siano inferiori a 30 V (AC) e 60 V (DC) perché in questo modo si è in bassa tensione. Il veicolo è in condizione di sicurezza e non ci sono rischi di fibrillazione per l'occupante/ operatore esterno.

Prima dell'impatto un interruttore S₁ e una resistenza di scarico R_e vengono collegate in parallelo alla batteria.

Tra i 5 e i 60 secondi dopo l'impatto, l'interruttore S₁ viene chiuso e si va a misurare la tensione V_b (che supera il valore soglia dell'alta tensione) e la corrente I_e. Il prodotto della tensione e della corrente, integrati in un certo intervallo di tempo, forniscono l'energia totale in Joule⁴.

$$TE = \int_{t_c}^{t_h} V_b \times I_e dt$$

T_c=momento in cui viene chiuso l'interruttore;

t_h= momento in cui V_b scende sotto la soglia di 60 V (DC).

3) Protezione fisica:

La protezione contro il contatto diretto con parti ad alto voltaggio, deve essere verificata mediante le protezioni IPXXB. Esse sono delle sonde normate che servono per verificare se l'occupante, dopo l'urto, viene a contatto con parti ad alta tensione.

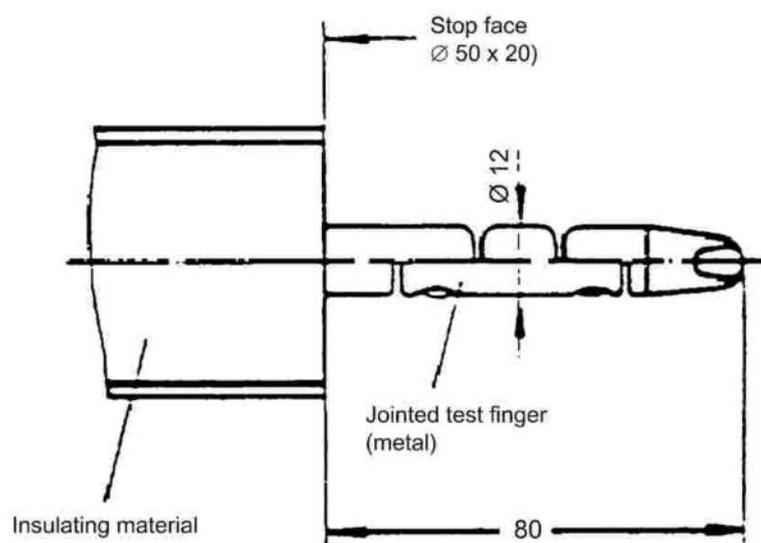


Figura 44.-Protezioni IPXXB.

⁴ E' stato dimostrato che l'energia, anche ad alto voltaggio, non provoca effetti nocivi a meno che non sia superiore ai 10 J. Quest'ultimo valore è quello di soglia per il rischio di fibrillazione ventricolare.

Mentre la protezione contro il contatto indiretto deve essere controllata andando a misurare la resistenza di isolamento tra le parti conduttive e il telaio. Questa deve essere minore di 0.1 ohm quando scorre una corrente di 0.2 ampere.

4) Resistenze di isolamento:

La resistenza di isolamento tra il bus ad alta tensione e il telaio può essere dimostrata attraverso delle misurazioni o attraverso una combinazione di misurazioni e calcoli:

- Si va a misurare la tensione V_b tra il polo positivo e il polo negativo dei bus;
- Si misura e registra la tensione V_1 ;
- Si misura e registra la tensione V_2 .

Se V_1 è maggiore di V_2 ⁵, si inserisce una resistenza nota R_0 tra il polo negativo e il telaio. Con R_0 si va a misurare la tensione V_1' e dopodiché si calcola la resistenza d'isolamento con la seguente formula:

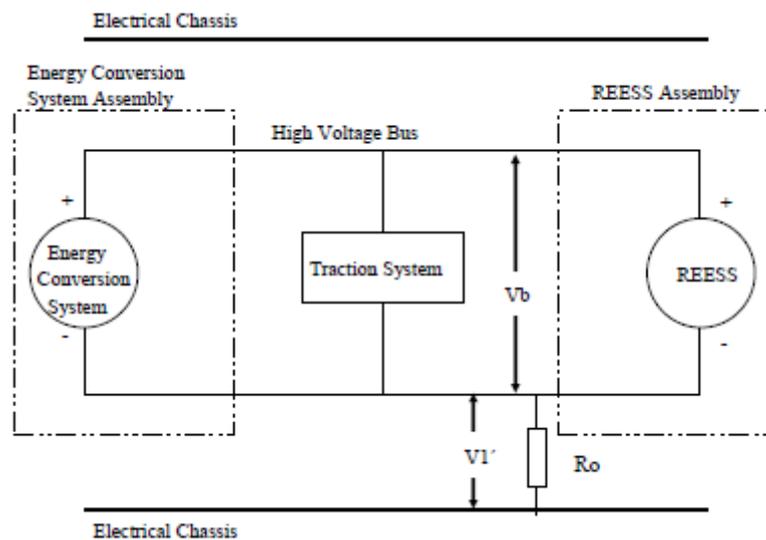


Figura 45.-Circuito misura isolamento.

$$R_i = R_0 \cdot (V_b / V_1' - V_b / V_1) \quad \text{or} \quad R_i = R_0 \cdot V_b \cdot (1 / V_1' - 1 / V_1)$$

⁵ Se V_1 è maggiore di V_2 vuol dire che, per la legge di Ohm e a parità di corrente, R_1 è maggiore di R_2 . Per questo motivo si inserisce una resistenza R_0 tra il negativo della batteria e scocca. In questo modo si ricava $R_i = R_2$. Viceversa quando V_2 è maggiore di V_1 .

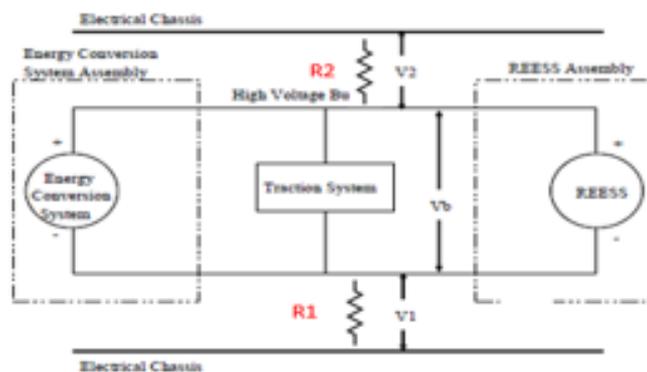
Dopodiché si divide la resistenza, espressa in Ohm, per la tensione di lavoro dei bus ad alto voltaggio (V):

$$R_i (\Omega/V) = R_i (\Omega) / \text{Working Voltage (V)}$$

Si procede in maniera analoga quando V_2 è maggiore di V_1 .

La resistenza deve avere un valore minimo di 100 Ω/V se si lavora con DC circuiti e un valore minimo di **500 Ω/V** per gli AC circuiti.

DIMOSTRAZIONE FORMULA:



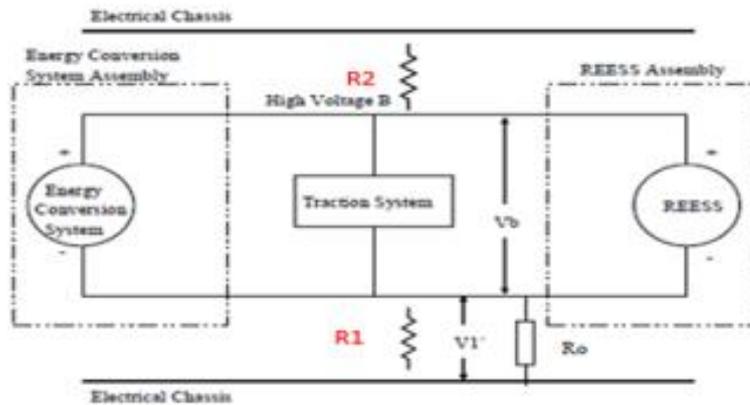
$$V_b = V_1 + V_2$$

$$\begin{cases} V_1 = R_1 \cdot I \\ V_2 = R_2 \cdot I \end{cases}$$

1

$$\begin{cases} V_1 = V_b \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} \\ V_2 = V_b \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \end{cases} \longrightarrow R_1 = \frac{V_1 \cdot R_2}{(V_b - V_1)}$$

Se $V_1 > V_2$ allora, per la legge di Ohm e a parità di corrente, $R_1 > R_2$. La resistenza di isolamento tra il positivo della batteria e la scocca è minore. Per tale motivo, si inserisce una resistenza nota R_0 tra il negativo della batteria e scocca per poter ricavare $R_i = R_2$



$$R0 // R1 = \frac{R0 \cdot R1}{R0 + R1} \quad 2$$

$$\begin{cases} V1' = Vb \cdot \frac{R1 // R0}{R1 // R0 + R2} \\ V2' = Vb \cdot \frac{R2}{R1 // R0 + R2} \end{cases} \longrightarrow \boxed{R2 = \frac{(Vb - V1') \cdot R0 // R1}{V1'}} \quad 3$$

Sostituendo l'equazione 1) nella 2) si ottiene:

$$R0 // R1 = \frac{R0 \cdot V1 \cdot R2}{R0 \cdot (Vb - V1) + V1 \cdot R2}$$

Infine si sostituisce tale equazione nella 3 ottenendo.

$$\begin{aligned} \cancel{R2} \cdot V1' \cdot (R0 \cdot Vb - R0 \cdot V1 + V1 \cdot R2) &= Vb \cdot R0 \cdot V1 \cdot \cancel{R2} - V1' \cdot R0 \cdot V1 \cdot \cancel{R2} \\ R0 \cdot Vb \cdot V1' - R0 \cdot V1 \cdot V1' + V1 \cdot V1' \cdot R2 &= Vb \cdot R0 \cdot V1 - V1' \cdot R0 \cdot V1 \end{aligned}$$

Effettuando le opportune semplificazioni si giunge a:

$$Ri = R2 = \frac{Vb \cdot V0 \cdot (V1 - V1')}{V1 \cdot V1'} = Vb \cdot R0 \cdot \frac{(V1 - V1')}{V1 \cdot V1'}$$

DIMOSTRAZIONE LIMITI NORMA:

Secondo la normativa il valore di resistenza di isolamento deve essere di 500 [Ω/V]. Ciò implica che per una tensione pari ad 1V la resistenza è di 500 Ω.

Tenendo conto della legge di Ohm, la corrente sarà di 0.002 A ovvero di 2 mA.

Tale valore di corrente (continua) corrisponde alla soglia di percezione umana.

Di conseguenza, resistenze minori di 500 Ω causano il passaggio di correnti maggiori di 2 mA le quali sono pericolose per la salute dell'occupante.

$$R_i = 500 \Omega/V$$

$$\text{Per } V=1V \quad R_i = 500 \Omega$$

Ohm: $V=R \cdot I$ allora:

$$I = \frac{V}{R_i} = \frac{1}{500} = 0.002 = 2 \text{ mA (soglia di percezione)}$$

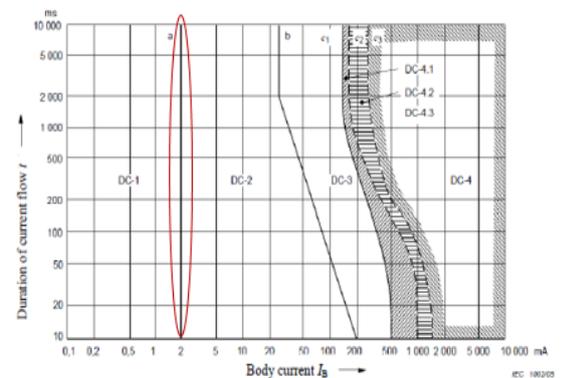


Figura 46.- Dimostrazione valori normati

4.1.1.2 PARAMETRI REES

Oltre a tali parametri, da verificare a seguito dell'urto, è necessario analizzare i requisiti di sicurezza relativi al REES (*Rechargeable Energy Storage System*) dei veicoli di categoria M e N equipaggiati con uno o più motori a trazione gestiti da energia elettrica. Tali requisiti, in caso di normale funzionamento del veicolo (pre-urto), sono descritti nel regolamento **ECE R100**.

Si verificano i seguenti parametri nei successivi test:

1) Vibrazioni:

Lo scopo di tale test è quello di verificare le prestazioni di sicurezza del REESS in condizione di normale funzionamento del veicolo. Il dispositivo testato deve essere connesso strettamente alla piattaforma.

Quest'ultimo viene sottoposto a delle vibrazioni aventi una forma d'onda sinusoidale che va da 7 a 50 Hz per poi tornare a 7 Hz in 15 minuti. Questo ciclo va ripetuto 12 volte per un totale di 3 ore.

Affinché il test sia superato, durante la prova non ci devono essere perdite di elettrolita, rotture, incendi ed esplosioni.

2) Thermal shock:

L'obiettivo è quello di verificare l'effetto dei cambiamenti di temperatura sul REESS. La batteria viene sottoposta a vari cambiamenti di temperatura.

Si parte dalla temperatura ambiente e poi il dispositivo testato deve essere sottoposto, per almeno 6 ore, ad una temperatura di 60 ± 2 °C e poi, per altre 6 ore, ad una temperatura di -40 ± 2 °C.

Tra un test e l'altro devono passare al massimo 30 minuti. Ciò deve essere ripetuto per almeno 5 cicli e dopo ciò la batteria deve essere conservata per 24 h a una temperatura ambiente di 20 ± 10 °C.

Il risultato del test dipende dal diverso livello di dilatazione dei costituenti infatti, questo può influenzare l'integrità della batteria.

Il test termina dopo aver osservato il comportamento della batteria, a temperatura ambientale, per 1 ora.

Affinché il test sia superato, durante la prova non ci devono essere perdite di elettrolita, rotture, incendi, esplosioni e la resistenza di isolamento non deve essere inferiore a 100 Ω/V .

3) Impatto meccanico:

a) Shock meccanico:

In tale test si va ad analizzare la resistenza della batteria quando è sottoposta a carichi inerziali che possono verificarsi durante un crash.

Il dispositivo deve essere accelerato o decelerato tenendo conto dei valori riportati nelle seguenti tabelle:

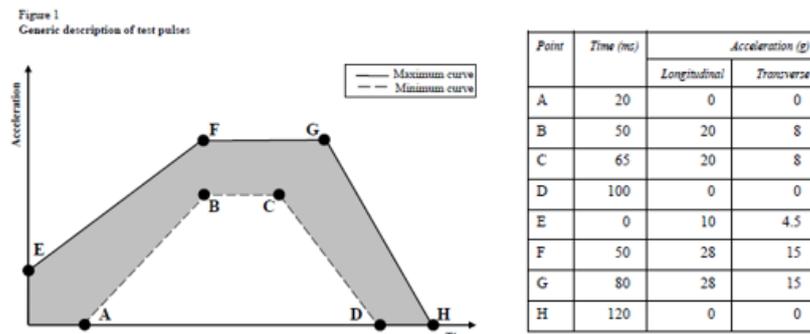


Tabella 7.-Tabella per i veicoli M1 e N1

Affinché il test sia superato non ci devono essere:

- Incendi;
- Esplosioni;
- Perdite di elettrolita:
 - i. Dopo 30 minuti dall'urto non ci devono essere perdite di elettrolita dal REES all'interno del compartimento passeggeri;
 - ii. Non ci devono essere perdite maggiori del 7% del volume di elettrolita all'esterno dell'abitacolo;
- La resistenza di isolamento deve essere almeno 100 Ω/V ;
- Il test IPXXB deve essere soddisfatto.

b) Integrità meccanica:

Si va a verificare l'integrità della batteria, installata in diversi posizioni, quando viene sottoposta a dei carichi di contatto che si possono verificare durante un crash:

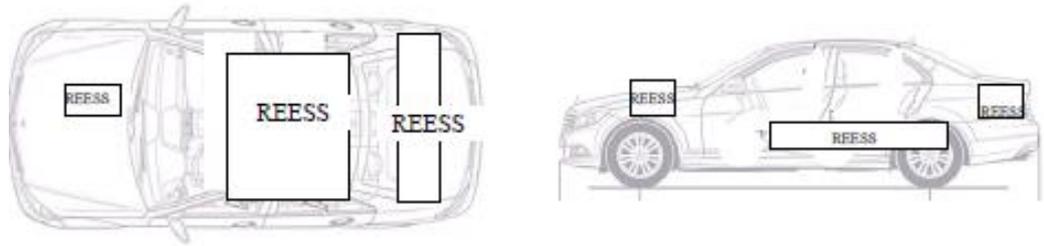


Figura 47.-Posizioni batteria

Secondo tale regolamentazione è sconsigliato installare la batteria ad una distanza inferiore a 420 mm dalla parte anteriore del veicolo e ad una distanza inferiore a 300 mm dalla posteriore in quanto potrebbe danneggiarsi eccessivamente:



Figura 48.-Posizioni batteria proibite

Tale prova può essere condotta in due modi differenti. Si può effettuare un crash, di breve durata, del veicolo oppure si può fare un'analisi del singolo componente. Viene applicata una forza compresa tra 100 e 105 kN con un impattore sagomato nelle due direzioni orizzontali:

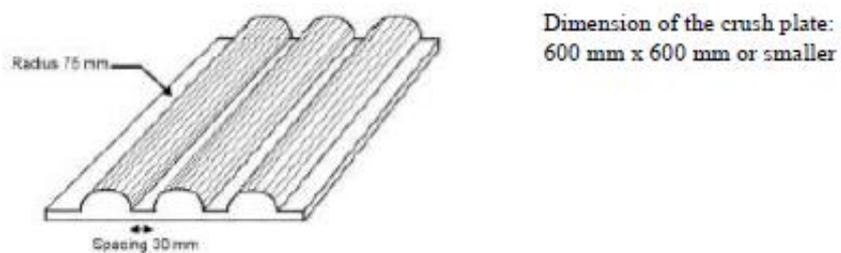


Figura 49.- Impattore (Mechanical Integrity)

Il carico massimo deve essere raggiunto in circa 3 minuti e mantenuto un periodo compreso tra 100 ms e 10 s:

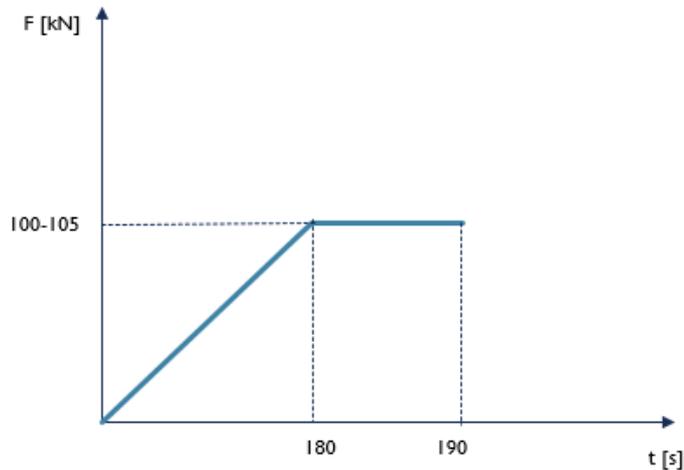


Figura 50.-Andamento carico in funzione del tempo.

Affinché il test sia superato non ci devono essere:

- Incendi;
- Esplosioni;
- Perdite di elettrolita:
 - iii. Dopo 30 minuti dall'urto non ci devono essere perdite di elettrolita dal REES all' interno del compartimento passeggeri;
 - iv. Non ci devono essere perdite maggiori del 7% del volume di elettrolita all'esterno dell'abitacolo;
- La resistenza di isolamento deve essere almeno $100 \Omega/V$;
- Il test IPXXB deve essere soddisfatto.

4) Resistenza al fuoco:

Lo scopo di questa prova è quello di verificare la resistenza della batteria quando viene sottoposta ad un fuoco che si genera esternamente al veicolo e che è causato, per esempio, da una fuoriuscita di carburante.

La prova viene svolta testando la batteria completa montata nel veicolo o indipendente.

Le condizioni da applicare sono:

- Il test deve essere condotto ad una temperatura di almeno 0 gradi;
- Prima del test la SOC deve essere aggiustata ad un valore superiore al 50% del normale range di funzionamento:

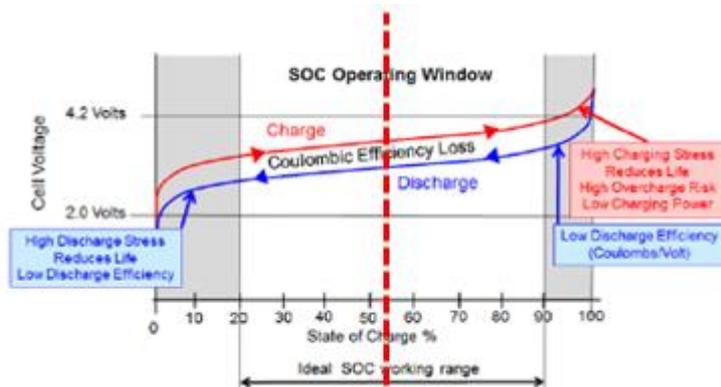


Figura 56. -Secondo requisito prova fuoco.

- Tutti i dispositivi di protezione (venting) devono essere funzionanti.

Il dispositivo testato deve essere montato in un apparecchio di prova in modo tale da simulare la sua installazione nel veicolo.

In particolar modo, il dispositivo testato deve essere posto su una grata formata da barre di acciaio del diametro di 6-10 mm distanti tra loro 4-5 mm.

Procedimento:

1. La fiamma usata per il test deve essere ottenuta bruciando un carburante (benzina) commerciale in una vasca ad una distanza di 3m dalla batteria per 60 secondi (**fase A-preHeating**).

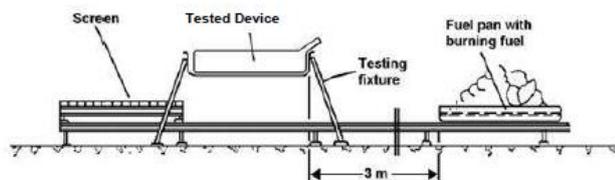


Figura 51.Pre-heating (fase A)

2. La vasca viene posta sotto alla batteria per un totale di 70 secondi (fase B).

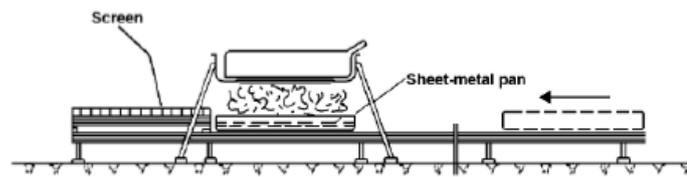


Figura 52. Esposizione diretta alla fiamma (fase B)

3. Finita la fase B, viene posto uno schermo tra il dispositivo da testare e la vasca. In questa situazione la batteria viene esposta ad una fiamma ridotta per 60 secondi.

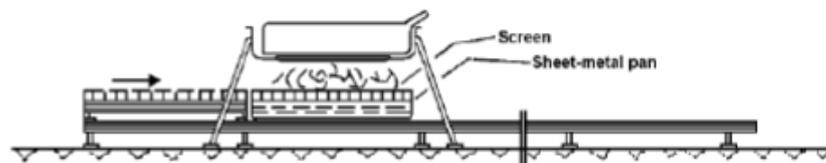


Figura 53. Esposizione indiretta alla fiamma (fase C)

4. Il test finisce portando la vasca coperta dallo schermo nella posizione iniziale (A).

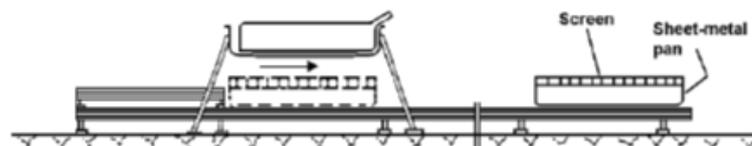


Figura 54. -Fine del test.

Una volta riportata la batteria nella posizione della fase A, viene monitorata o fino a quando la temperatura superficiale di questa non scende al valore della temperatura ambiente oppure viene monitorata per 3 ore consecutive.

Affinché il test sia superato il dispositivo testato non deve mostrare segni di esplosione.

5) Protezioni contro i corto circuiti:

Nel seguente test si vanno a verificare le prestazioni delle protezioni contro il corto circuito (mega-fuse). Questi sistemi devono interrompere/limitare la corrente di corto circuito in modo tale da ridurre al minimo le conseguenze del corto circuito stesso.

All'inizio del test tutti i contattori principali vanno chiusi e il terminale positivo e negativo del componente vanno collegati in modo tale da generare un corto circuito. La connessione usata per tale scopo deve avere una resistenza non superiore ai 5 MOhm. Il corto circuito deve continuare in modo tale da verificare che intervenga il sistema di protezione del REESS il quale va a limitare o interrompere la corrente: mega-fuse.

Affinché il test sia superato non ci devono essere:

- Incendi;
- Esplosioni;
- Rotture;
- Perdite di elettrolita;
- La resistenza di isolamento deve essere almeno 100 Ω/V ;

6) Protezioni per l'overcharge:

Lo scopo di tale test è quello di verificare le protezioni contro le sovraccariche.

Si va a caricare il dispositivo testato fino a quando la batteria stessa non va ad interrompere o a limitare, automaticamente, la carica tramite il teleruttore.

All'inizio tutti i principali contattori per la ricarica devono essere chiusi.

Il dispositivo testato deve essere caricato con una corrente pari a quella necessaria per caricare la batteria in almeno 1/3 del tempo nominale ma non superiore al range operativo fornito dal produttore.

La carica deve essere continuata fino a quando il dispositivo testato interrompe o limita la carica autonomamente.

Se dovesse fallire tale sistema di interruzione, la carica deve continuare fino a quando il dispositivo testato viene caricato fino a raggiungere una capacità doppia rispetto a quella nominale.

Affinché il test sia superato non ci devono essere:

- Incendi;
- Esplosioni;
- Rotture;
- Perdite di elettrolita;
- La resistenza di isolamento deve essere almeno 100 Ω/V ;

7) Protezioni per l'over-discharge:

Lo scopo di questo test è quello di verificare le prestazioni della protezione contro la sovra-scarica.

Questa funzionalità, se implementata, interrompe o limita la corrente di scarico per evitare che la batteria subisca danni gravi causati da un SOC (*State of Charge*) troppo basso.

Il dispositivo testato deve essere scaricato ad una velocità di almeno 1/3 della velocità normale di scarica ma non superiore al range operativo fornito dal produttore.

La scarica deve essere continuata fino a quando il dispositivo testato interrompe o limita la scarica autonomamente.

Se dovesse fallire tale sistema di interruzione, la scarica deve continuare fino a quando il dispositivo testato non viene scaricato al 25% del suo valore nominale di tensione.

Affinché il test sia superato non ci devono essere:

- Incendi;
- Esplosioni;
- Rotture;
- Perdite di elettrolita;
- La resistenza di isolamento deve essere almeno 100 Ω/V ;

8) Protezioni per l'aumento di temperatura:

In tale test si vanno a verificare le prestazioni dei sistemi di protezione della batteria quando si verifica un aumento eccessivo di temperatura.

Durante la prova, il dispositivo testato viene caricato e scaricato continuamente con una corrente costante che aumenterà la temperatura delle celle il più rapidamente possibile. Per questo motivo, il dispositivo viene posto in una camera a 40-45 °C per almeno 6 ore al fine di far aumentare la temperatura alla batteria.

Il test termina quando le operazioni di carica/scarica sono terminate e si osservano due situazioni: la temperatura della batteria si è stabilizzata per almeno 2 ore o il sistema di protezione ha inibito/limitato la carica/scarica al fine di non far aumentare troppo la temperatura stessa.

Affinché il test sia superato non ci devono essere:

- Incendi;
- Esplosioni;
- Rotture;
- Perdite di elettrolita;
- La resistenza di isolamento deve essere almeno 100 Ω/V ;

4.1.2 REQUISITI ELETTRICI EURONCAP

L'Euroncap ha iniziato a testare i veicoli elettrici ed ibridi nel 2009 ma, nonostante effettuati i test previsti nelle regolamentazioni ECE R94 ed ECER95, le prestazioni elettriche non sono soggette a valutazione.

I veicoli elettrici/ ibridi vengono preparati similmente ai veicoli ICE. L'unica differenza è che, prima di ogni operazione di allestimento, il Service Disconnect viene rimosso per essere sicuri che non ci sia l'alto voltaggio attivo.

In accordo con i regolamenti sopra citati, le misure da effettuare sui veicoli elettrici sono:

1. Assenza di alto voltaggio;
2. Bassa energia elettrica;
3. Protezioni fisiche;
4. Resistenza di isolamento.

Le prime due misurazioni avvengono a bordo del veicolo e si effettuano durante il test mentre, le restanti, possono essere effettuate dopo il crash test.

L'Euroncap non effettua le misurazioni con l'IPXXB ma effettua, almeno, la verifica della resistenza di isolamento.

Per controllare se la disconnessione automatica dell'HV ha funzionato correttamente dopo il test, viene montata una spia LED all'esterno del veicolo che permette di comprendere lo stato dello switch interno alla batteria.

In conclusione, i veicoli elettrici sono sottoposti alle stesse condizioni di prova delle altre vetture.

Particolare attenzione viene posta all'integrità delle batterie post-urto e al corretto funzionamento dell'interruttore che isola il veicolo dall'alto voltaggio.

I test, naturalmente, possono essere eseguiti solo in ambienti con personale addestrato e vengono adottate precauzioni anti incendio supplementari per garantire sia la sicurezza del personale di laboratorio che delle attrezzature

4.2 TEST USA

Come per l'Europa si analizzano sia i test omologativi che quelli di rating (U.S.NCAP e IIHS).

a) Test omologativi:

Test omologativi USA		
Tipologia urto	Specifiche test	Regolamentazione
Urto Frontale		
Barriera rigida	Barriera a 30° (dx e sin) V= 48 km/h	Standard 208/305
Barriera rigida	Barriera a 0° (dx e sin) V= 56 km/h	Standard 208/305
Urto Laterale		
Barriera deformabile	V= 54 km/h	Standard 214
Urto palo	V= 32 km/h Direzione di impatto pari a 75°	Standard 214
Urto Posteriore		
Barriera deformabile	V= 80 km/h 70% overlap	Standard 301
Rollover		

Tabella 8.-Test omologativi USA

b) Test U.S. NCAP:

Sviluppato dal NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) e dal Dipartimento dei Trasporti americano, è stato il primo rating di valutazione della sicurezza in urto essendo le prime prove state eseguite nel 1979.

In seguito si riportano le varie tipologie di test:

Test attuali U.S.NCAP	
Tipologia urto	Specifiche test
Urto Frontale	
Barriera rigida	V= 56 km/h
Urto Laterale	
Barriera deformabile	Barriera 1368 Kg <ul style="list-style-type: none">• a 27° V= 62 km/h
Palo	V=32 km/h

Tabella 11. -Test U.S.NCAP

Come nell' EuroNCAP, in una data ancora non stabilita, varieranno sia alcune specifiche delle prove previste (Figura 68) che i manichini e verrà aggiunta la prova che simula l'urto frontale con barriera deformabile:

Nuovi test U.S.NCAP	
Tipologia urto	Specifiche test
Urto Frontale	
Barriera deformabile	a 15° V= 90 km/h Overlap= 35%

Tabella 9.-Test U.S.NCAP

Nell'immagine seguente sono confrontate le prove euro- e U.S. NCAP e sono evidenziate le modifiche che verranno apportate durante i test. In blu sono riportate le specifiche attuali, in azzurre

le specifiche che verranno rispettate a partire dal 2020 e in verde la prova che verrà aggiunta in futuro:

	Euro NCAP / ANCAP	U.S. NCAP
Full Width		
ODB / SOB		
MDB		
Pole		

Figura 55.-Confronto test

c) Test IIHS:

L'Insurance Institute for Highway Safety è un ente americano che valuta due aspetti della sicurezza: la **resistenza all'urto**, quanto un veicolo riesce a proteggere bene i suoi occupanti in caso di incidente, e la **tecnologia in grado di prevenire un incidente o di ridurre la gravità**.

A differenza dei rating dell'U.S NCAP che assegna le stelle, l'IIHS assegna delle fasce che sono: Poor, Marginal, Acceptable e Good.

Test IIHS	
Tipologia urto	Specifiche test
Urto Frontale	
Barriera deformabile	V= 64 km/h Overlap= 40%
Small-Overlap	V= 64 km/h Overlap=25%
Urto Laterale	
Barriera deformabile	Barriera 1500 Kg a 90° V=50 km/h

Tabella 10.-Test IIHS

4.2.1 REQUISITI ELETTRICI USA

In USA, come in Europa, vi sono dei requisiti elettrici da valutare quando si effettuano delle prove con i veicoli elettrici.

In particolar modo, lo **Standard 305** specifica i requisiti da rispettare per la limitazione della fuoriuscita dell'elettrolita e la protezione dei dispositivi di immagazzinamento / conversione di energia elettrica durante e dopo un incidente.

Inoltre specifica le protezioni da adottare per evitare shock elettrici pericolosi che si possono verificare dopo un incidente o durante il normale funzionamento del veicolo.

Questo standard si applica ai veicoli per trasporto passeggeri i quali contengono componenti che lavorano con alte tensioni.

I principali aspetti da verificare sono:

1) Fuoriuscita di elettrolita:

Non devono fuoriuscire più di 5 litri di elettrolita, dalle batterie, all'interno del compartimento passeggero. La fuoriuscita viene monitorata e misurata dopo 30 minuti da un crash e durante un roll-over statico.

2) Ancoraggio batteria:

La batteria deve rimanere ancorata al veicolo i suoi fissaggi (almeno uno). Le batterie che si trovano posizionate fuori dall'abitacolo non vi devono entrare.

3) Resistenza isolamento:

La resistenza deve essere maggiore o uguale a:

- 500 ohm/volt in caso sorgenti ad alta tensione AC;
- 100 ohm/volt in caso sorgenti ad alta tensione DC;
- 100 ohm/volt se una sorgente ad alta tensione DC è collegata in modo conduttivo ad una sorgente ad alta tensione AC.

4) Le protezioni dal contatto diretto ed indiretto:

Tali protezioni devono essere controllate in tre modi:

- Usando le sonde IPXXB;
- Verificando che la resistenza di isolamento tra le parti ad alta tensione e il telaio sia minore di 0.1 Ohm;
- Verificando che la tensione tra le parti in tensione e il telaio sia minore o uguale a 30 V (AC) o 60V (DC).

5) Protezione dallo shock durante la carica:

I veicoli elettrici, che vengono ricaricati mediante un'alimentazione esterna, devono disporre di un dispositivo per il collegamento a terra del telaio. Esso deve essere collegato a terra prima che venga applicata una tensione al veicolo e deve essere rimosso fino a quando non viene rimossa quest'ultima.

6) Presenza di un indicatore per il driving mode attivo:

Quando lascia il veicolo, il conducente deve essere informato con un segnale udibile e visivo se l'active driving mode è attivo.

5. PERICOLI ASSOCIATI ALL'USO DEI VEICOLI ELETTRICI

5.1 PERDITA DI ISOLAMENTO

I pericoli associati all'uso dei veicoli elettrici dipendono o dalla perdita di isolamento all'interno del veicolo o dal danneggiamento della batteria.

Per perdita di isolamento si intende che la resistenza tra i poli (fase e neutro) di un dispositivo e il telaio della macchina (parte metallica accessibile), a causa di un corto circuito, scende sotto ai valori soglia previsti dalla legge (*vedere paragrafo 4.1.1*).

Questa può causare un incendio (corto circuito in prossimità di sostanze infiammabili) o macroshock da contatto diretto o indiretto per l'occupante.

5.1.1 PERICOLO INCENDIO

I rischi associati all'uso della corrente elettrica, generalmente, sono classificati in diretti ed indiretti.

I pericoli indiretti sono generati dall'uso della corrente elettrica anche quando non si verifica un contatto diretto tra l'infortunato ed una parte in tensione. Tra questi quello più importante è il **pericolo di incendio**.

L'impianto elettrico può, infatti, in condizioni di malfunzionamento, surriscaldarsi creando una fonte di innesco, che in presenza di combustibile può dare origine ad un incendio.

Per far sì che avvenga un incendio è necessario che siano presenti tre elementi fondamentali:

- Il combustibile/liquidi infiammabili;
- Il comburente: ruolo svolto dall'ossigeno (aria);
- Calore: generato dall'arco voltaico. E' necessaria una elevata temperatura affinché avvenga l'innesco.

Il surriscaldamento può dipendere, generalmente, da due fenomeni: corrente troppo elevata (**corto circuito**) dovuta per esempio al deterioramento o al danneggiamento dei cablaggi/ connettori in prossimità di sostanze infiammabili o **comparsa di arco elettrico**.

Il **corto circuito** è un contatto tra due punti del circuito con una resistenza prossima a zero. Ciò impone una tensione molto piccola (trascurabile) o nulla ai suoi capi. Non ci sono invece limitazioni sulla corrente che passa attraverso di esso. Quest'ultima può assumere infatti valori molto elevati provocando un surriscaldamento localizzato.

Gli **archi elettrici**, invece, si formano per prossimità tra parti del circuito, durante la separazione o il collegamento dei circuiti elettrici sotto tensione.

Gli archi sono delle scariche elettriche in aria, accompagnate da una emissione luminosa (scintilla), che mettono in gioco una potenza elevatissima in tempi molto brevi. Una differenza di tensione applicata tra due elettrodi isolati in aria non determina alcun passaggio di corrente finché aumentando la tensione, il campo elettrico può diventare abbastanza intenso da far acquisire agli ioni l'energia sufficiente a favorire una ionizzazione per urto di altre particelle. Ciò comporta un progressivo aumento del numero di ioni in movimento. In questo modo si stabilisce una corrente con conseguente riscaldamento dell'ambiente circostante che provoca un'ulteriore ionizzazione dell'aria.

Possono provocare archi elettrici anche componenti o isolamenti danneggiati. La conseguente formazione di archi voltaici, soprattutto con la corrente continua, comporta i seguenti rischi: radiazione termica, raggi UV, rumore, pericoli di natura tossica o meccanica e **fonte di innesco**.

L'arco voltaico diventa una fonte di innesco quando la scintilla si trova nelle vicinanze di un liquido infiammabile come il liquido refrigerante, il liquido dei vetri, l'olio vetri, il combustibile e etc.

5.1.2 MACROSHOCK DA CONTATTO DIRETTO ED INDIRETTO

La protezione fisica dei circuiti elettrici alta tensione presenta dei rischi qualora venga compromessa la sua integrità (isolamenti o ripari) rispetto alla configurazione di progetto: i rischi presi in considerazione in questo paragrafo sono quelli dovuti al passaggio di corrente nel corpo e sono il **macroshock da contatto diretto e il macroshock da contatto indiretto (vedere ECE R100)**.

Il macroshock per contatto diretto avviene quando il soggetto tocca una parte metallica normalmente in tensione. Essendo riferito a terra, si chiude una maglia e si genera una corrente la quale, attraverso il corpo dell'infortunato, torna al generatore.

Quello per contatto indiretto, invece, avviene quando il soggetto tocca una parte conduttiva che normalmente non dovrebbe essere in tensione, ma che vi si trova a causa di un guasto (solitamente una perdita di isolamento) e di conseguenza viene percorso da corrente.

E', perciò, fondamentale isolare i componenti ad alta tensione al fine di evitare che il soggetto entri in contatto diretto o indiretto con essi durante il normale funzionamento del veicolo o dopo un potenziale crash.

Di seguito si riporta un esempio riportato da NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) che ha effettuato una ricerca ed ha identificato uno dei possibili casi in cui il soggetto può venire a contatto con una elevata quantità di corrente elettrica a seguito di un contatto indiretto. In questo caso specifico l'infortunato viene a contatto con i "barriers"⁶ in tensione a seguito di una perdita di isolamento interna (figura seguente). Nell'immagine R44 è la resistenza di corto circuito nel momento in cui i cavi della batteria toccano i barriers, R45 è la resistenza che modella il soggetto e R43 è la resistenza interna della batteria stessa.

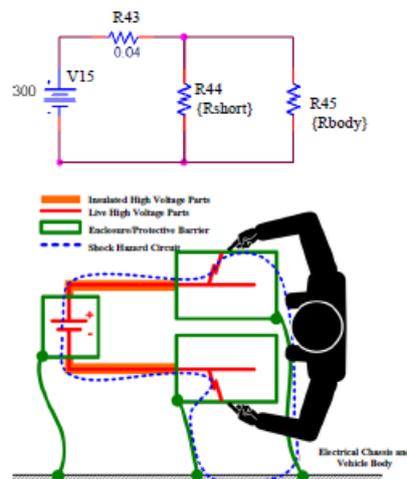


Figura 56.-Esempio di macroshock

Il soggetto, in questo modo, va a chiudere il circuito e viene, così, attraversato dalla corrente.

Al fine di analizzare tutta la casistica degli eventi di rischio, riscontrabili su vettura, i vari casi di macroshock, da contatto diretto e indiretto, si modellizzano di seguito l'occupante e i componenti elettrici del circuito ad alto voltaggio.

⁶ Barriers= Indica la parte che funge da protezione, contro il contatto diretto, dalle parti attive in qualsiasi direzione.

Il soggetto viene modellizzato mediante una resistenza (R_{body}) il cui valore è elencato nel capitolo 5.1.2.1:

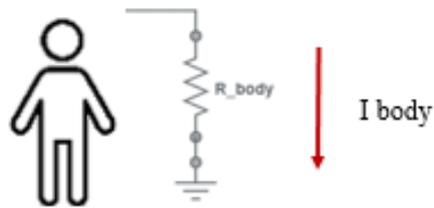


Figura 57.-Modellizzazione infortunato

Analizzando la batteria ad alto voltaggio, si sono definiti **254 casi** differenti che si possono verificare dopo un crash. Per effettuare tale analisi sono state considerate le seguenti variabili:

- Veicolo **isolato da terra**, ovvero in condizioni di normale funzionamento, e sia quando è in **privo di isolamento**. Quest'ultima situazione si può verificare ad esempio quando, dopo un urto, il veicolo perde la ruota. In questo modo la scocca si viene a trovare al potenziale di terra:

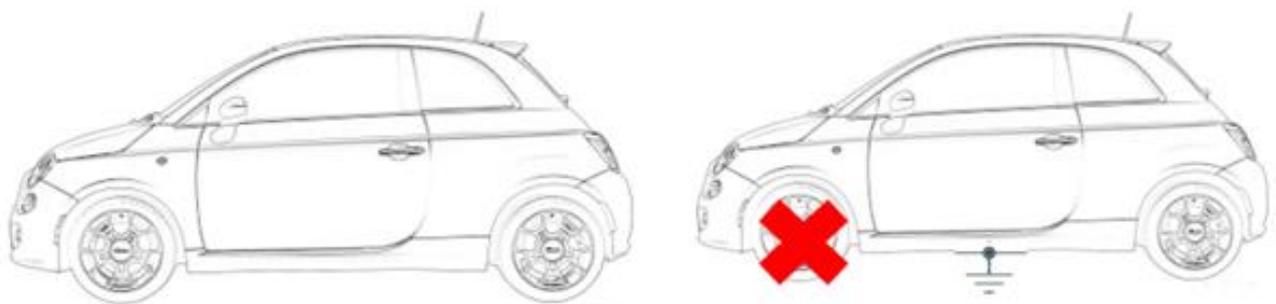


Figura 58.-Schematizzazione veicolo isolato e non.

- Occupante interno al veicolo ed isolato o non rispetto al veicolo;
- Occupante esterno con DPI (isolato dal sistema veicolo) o senza (a rischio)

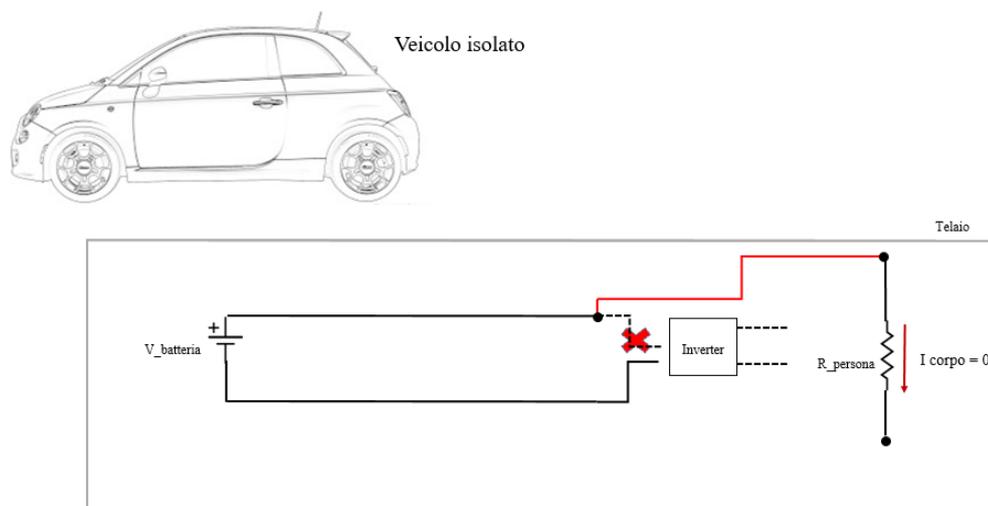
Nel caso di veicolo isolato sono stati analizzati i pericoli che subisce, un occupante **interno (ma isolato dal veicolo stesso)**, un occupante **esterno** e un operatore eterno con gli opportuni **DPI**.

Mentre, nel caso di veicolo non isolato, oltre all'occupante **interno (isolato)**⁷, all'occupante esterno con e senza DPI è stato analizzato il caso di **occupante interno non isolato dalla terra veicolo**.

Tutti i casi, oltre ad essere stati schematizzati, sono stati verificati in Simulink al fine di controllare, con certezza, le tensioni e le correnti sul soggetto. Considerando che tutti gli operatori DEVONO indossare gli opportuni DPI, si è arrivati alle seguenti conclusioni di cui si riportano di seguito alcuni esempi:

1. Qualsiasi occupante, sia interno che esterno, non corre i rischi se viene a contatto con UNA SOLA FASE (positiva o negativa):

a) *In questo caso il veicolo è isolato da terra e si danneggia la fase positiva del circuito con cui il passeggero può andare in contatto. Quest'ultimo, come il veicolo, è isolato da terra:*



⁷ L'occupante interno solitamente è isolato dalla terra del veicolo grazie al rivestimento del "pavimento". La sicurezza dell'occupante è stata verificata andando a misurare la resistenza tra il tappeto e le parti metalliche con cui può venire a contatto. Per esempio la guida del sedile o l'anello porta non rivestito da parti plastiche. Qualora l'occupante toccasse le parti metalliche si troverebbe a rischio se queste per effetto dell'urto fossero in tensione. Un altro rischio si ha quando il tappeto è bagnato perché la resistenza rispetto alle parti metalliche diminuisce bruscamente.

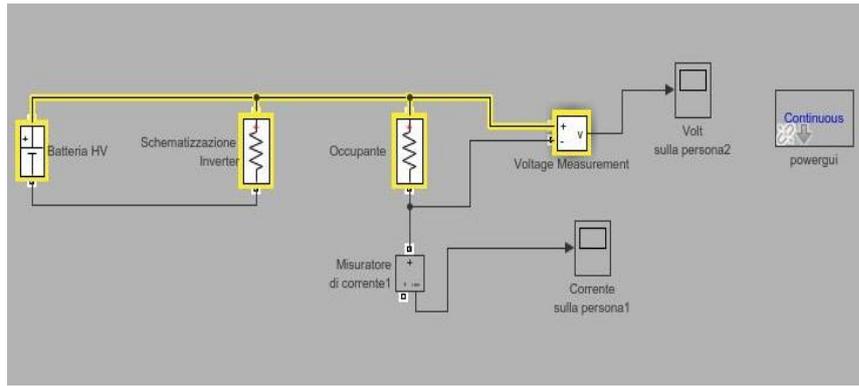


Figura 59.-contatto con una sola fase. Occupante isolato all'interno del veicolo.

Il soggetto non è attraversato da corrente e quindi si trova in condizione di **sicurezza**. Infatti essendo isolato non chiude il circuito e quindi non ci sono rischi di passaggio di corrente nell' occupante.

b) Questo caso è identico al caso 1. L'unica differenza è che il soggetto non si trova all' interno del veicolo e quindi è collegato a terra:

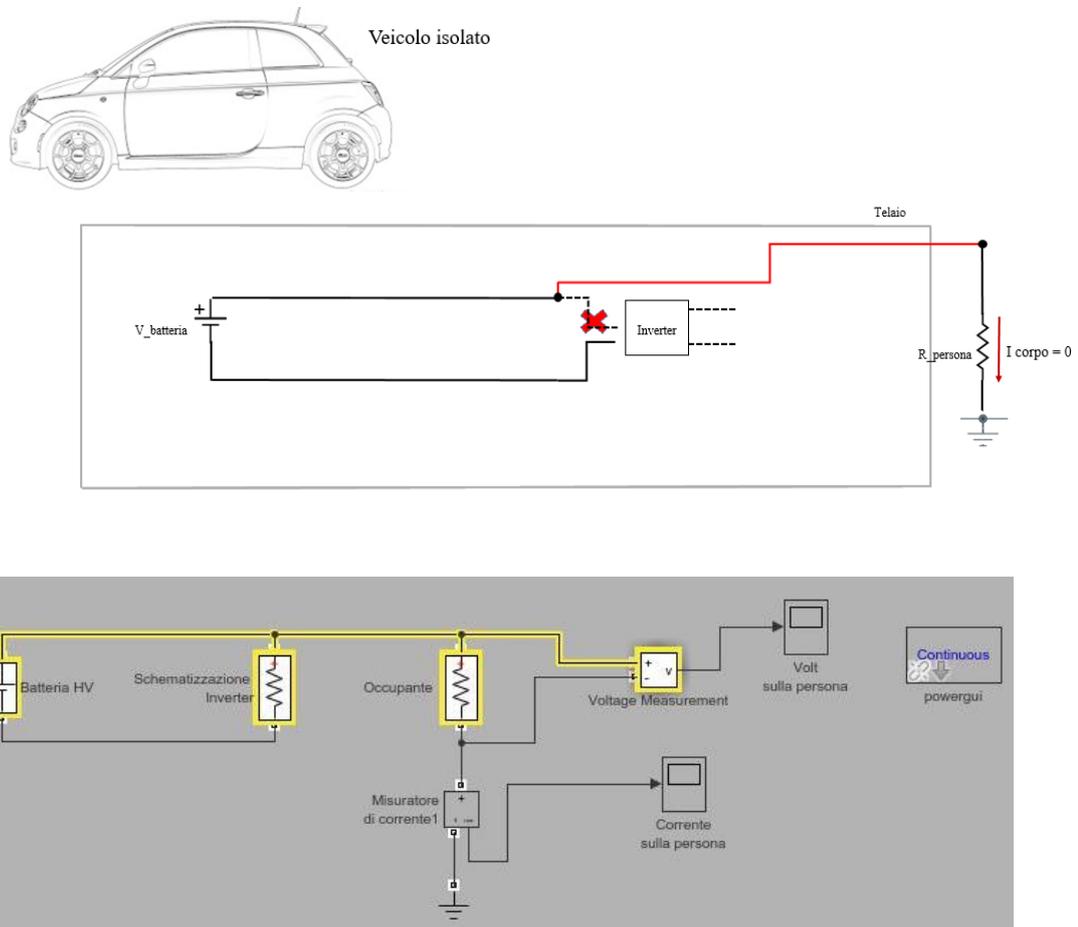


Figura 60.-Contatto con una sola fase. Occupante all'esterno del veicolo.

Il soggetto non è attraversato da corrente e quindi si trova in condizione di **sicurezza**. Infatti essendo isolato **non** chiude il circuito e quindi non ci sono rischi di passaggio di corrente nell' occupante.

2. Qualsiasi occupante, interno o esterno, è a rischio se viene a contatto con ENTRAMBE le fasi.

a) *Occupante interno al veicolo e a contatto DIRETTO con le fasi:*

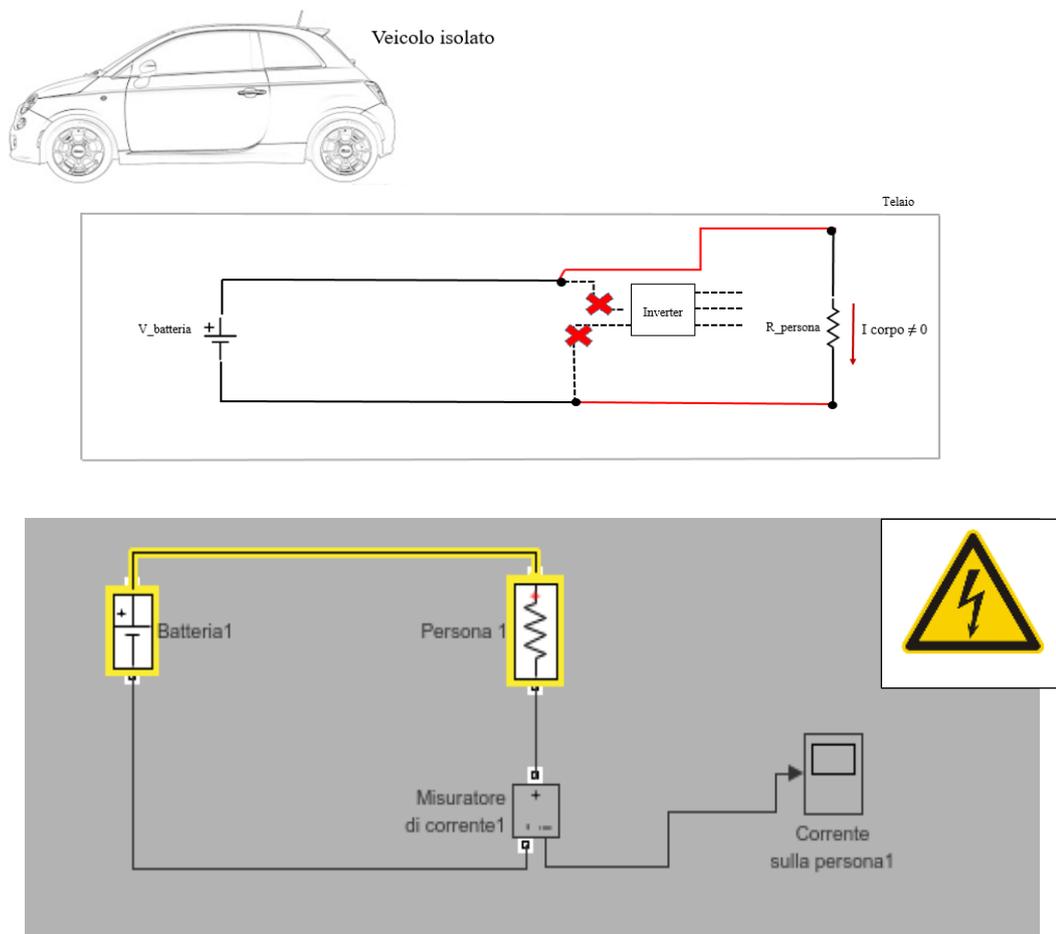


Figura 61.-Contatto con una entrambe le fasi. Occupante all'interno del veicolo.

In questo caso il soggetto è in condizione di **rischio** (regione 4- vedere paragrafo 5.1.2) in quanto chiude il circuito internamente e quindi è attraversato da una corrente. Impostando la resistenza del soggetto a 500 Ohm, questo viene investito da 0.8 A (DC).

b) Occupante esterno al veicolo e a contatto DIRETTO con le fasi:

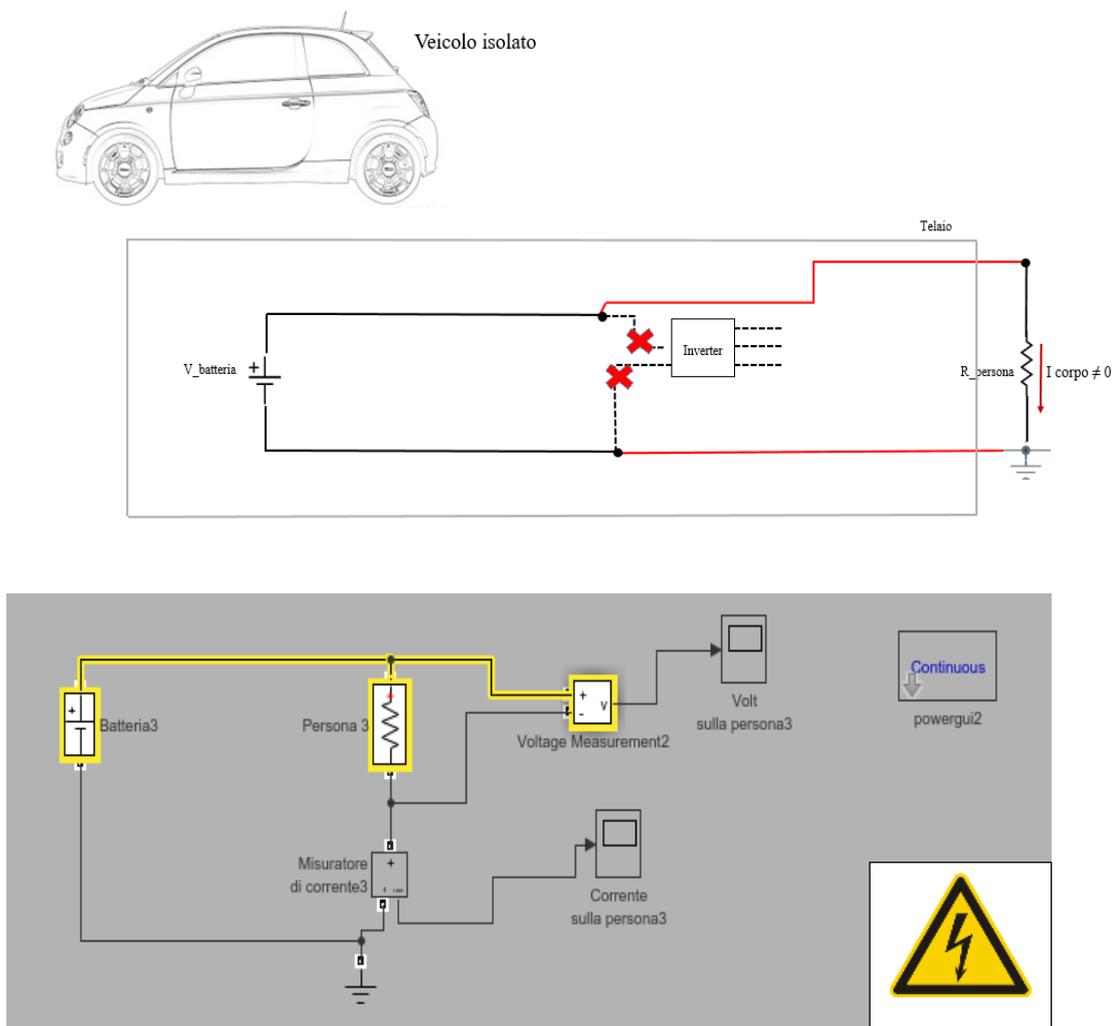


Figura 62.-Contatto con una entrambe le fasi. Occupante esterno al veicolo.

In questo caso il soggetto è in condizione di **rischio** (regione 4- vedere paragrafo 5.1.2) in quanto chiude il circuito esternamente e quindi è attraversato da corrente. Impostando la resistenza del soggetto a 500 Ohm, questo viene investito da 0.8 A (DC).

3. Occupante interno al veicolo e a contatto INDIRETTO con le fasi. Il contatto indiretto si ha quando:

- *Entrambe le fasi vanno a scocca ed il soggetto tocca la scocca stessa:*

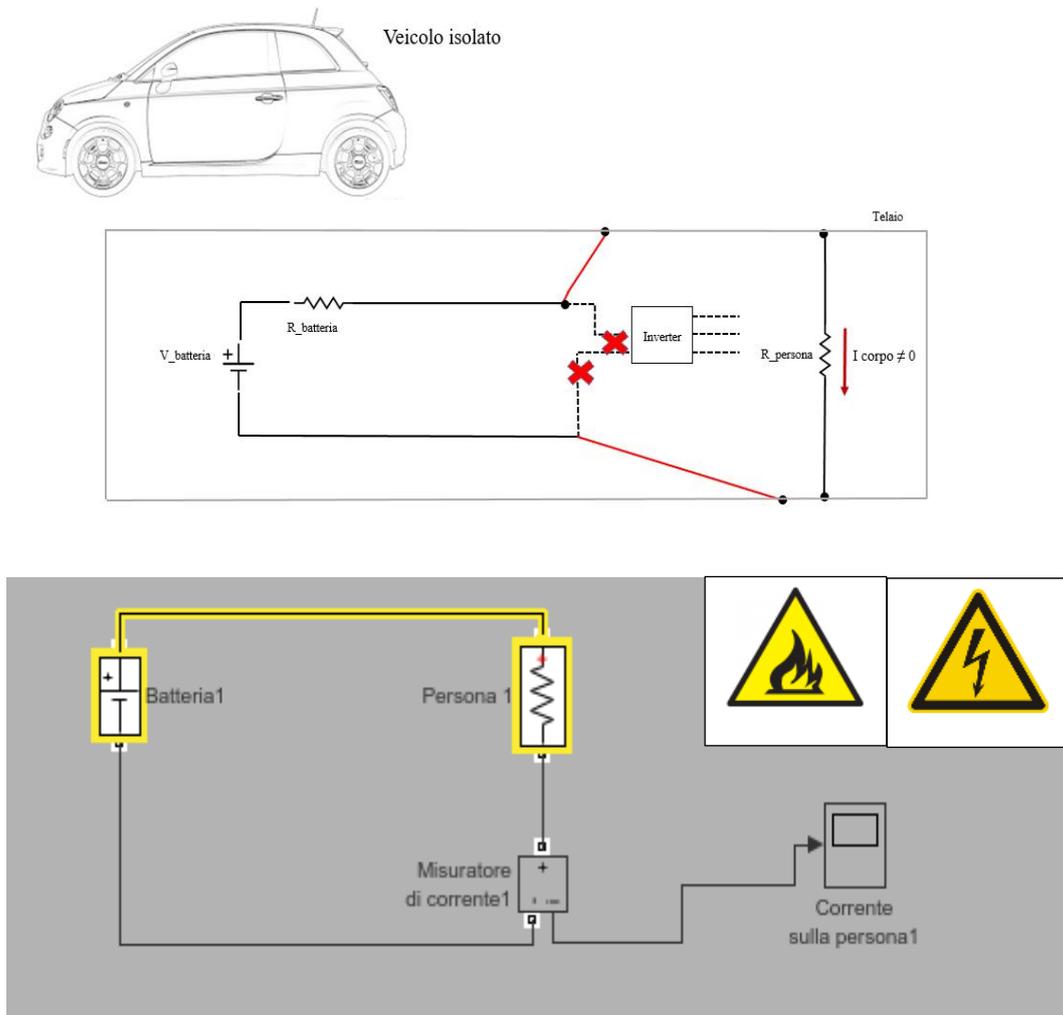


Figura 63.-Contatto INDIRETTO occupante interno.

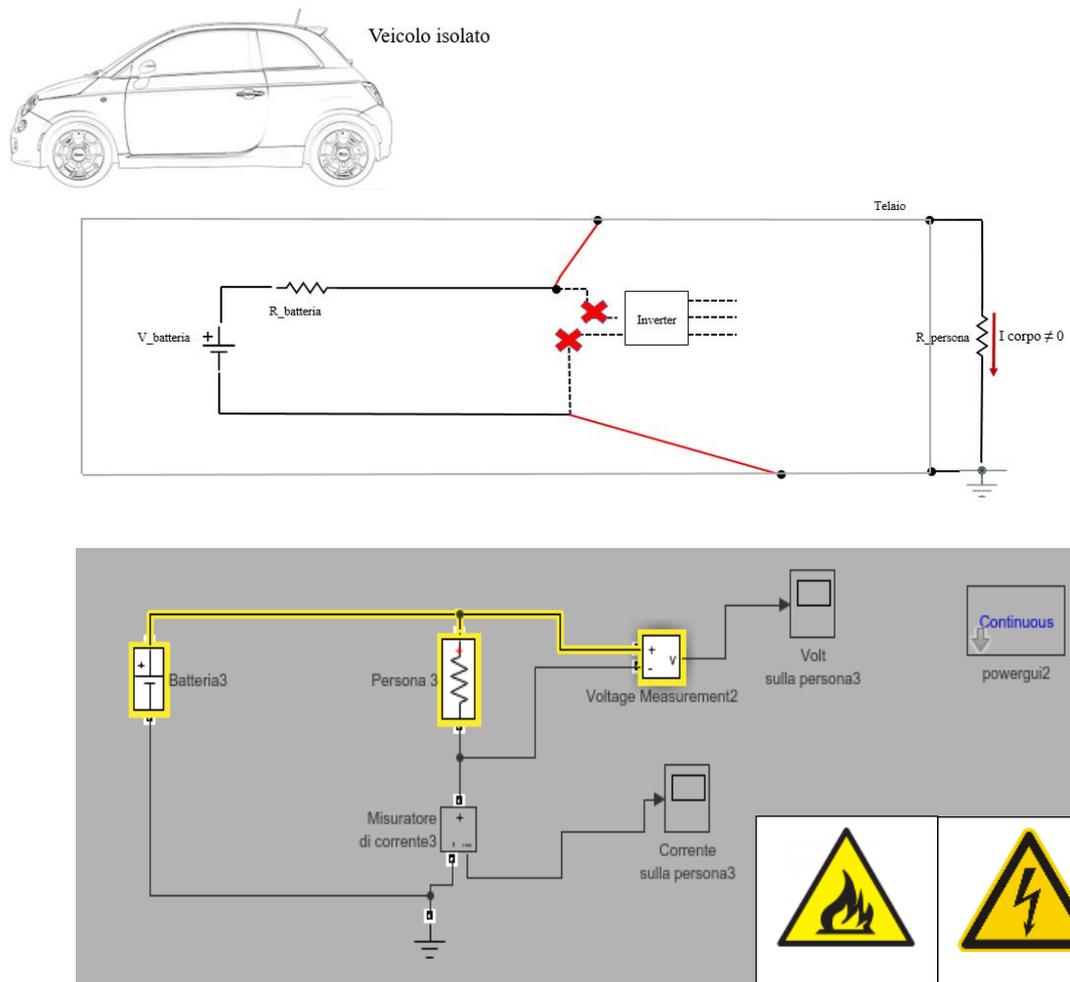


Figura 64.-Contatto INDIRETTO occupante esterno.

In questo caso il soggetto è in condizione di rischio (*regione 4- vedere paragrafo 5.1.2*) in quanto chiude il circuito internamente o esternamente e quindi è attraversato da corrente. Impostando la resistenza del soggetto a 500 Ohm, questo viene investito da una corrente pari a 0.8 A.

- Una fase tocca scocca ed una no ed il soggetto, in questo caso, tocca sia il telaio che la fase non collegata alla scocca.

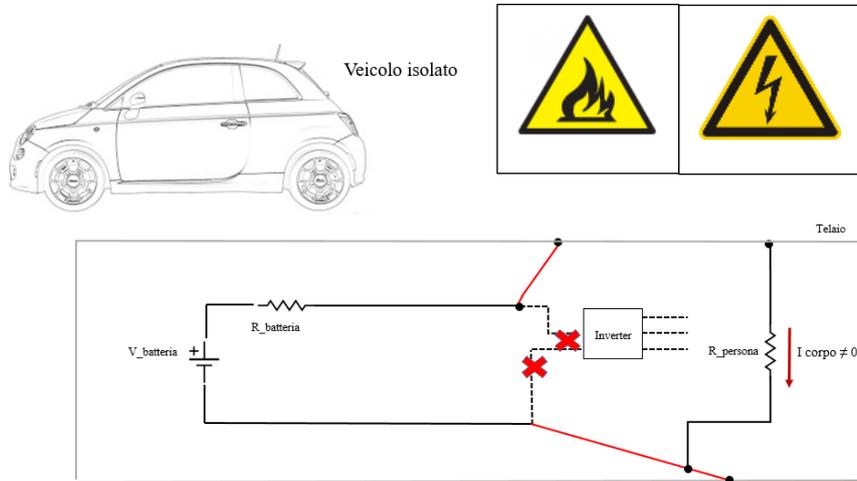


Figura 65.-Contatto INDIRETTO occupante interno.

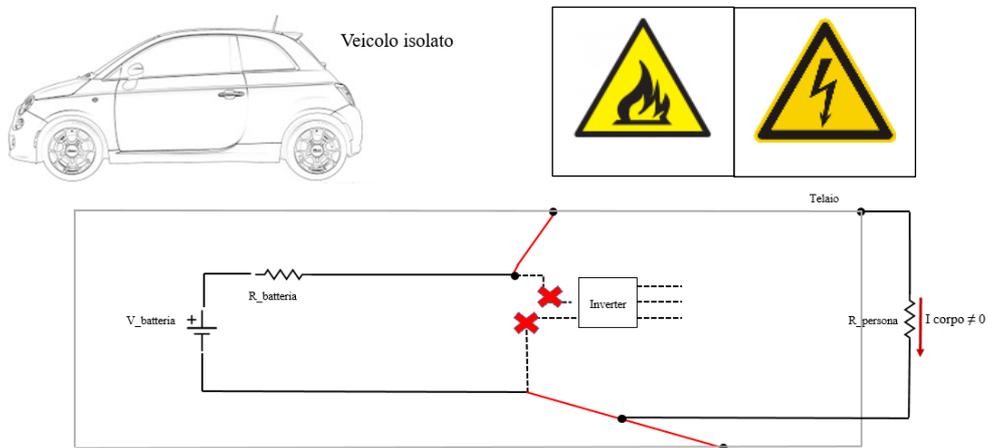


Figura 66.-Contatto INDIRETTO occupante esterno.

Il soggetto, in entrambe le situazioni, è percorso da corrente ed è a rischio.

4. **Qualsiasi occupante, non isolato da terra, è a rischio se viene a contatto con una fase mentre l'altra è scocca.**

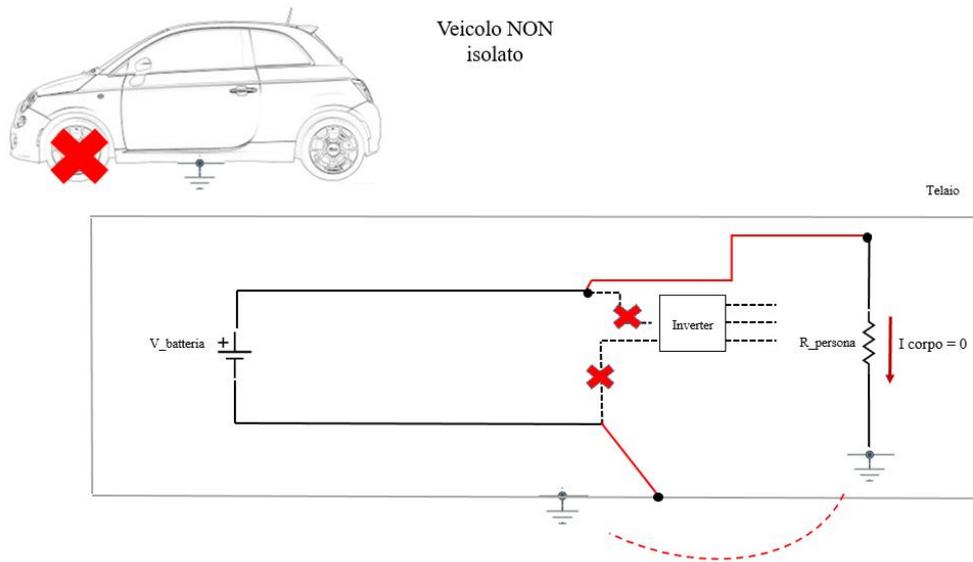


Figura 67.-Occupante non isolato da terra.

Il soggetto è particolarmente a rischio se si trova su una superficie bagnata (stessa terra del veicolo). In caso contrario la corrente che lo attraversa dipende dalla resistenza tra il punto di contatto e la sua posizione.

5. Qualsiasi occupante esterno al veicolo (isolato o non) è a rischio se viene a contatto diretto con una fase e a contatto indiretto con l'altra.

- *Una fase tocca il soggetto mentre l'altra è collegata a terra. Veicolo isolato:*

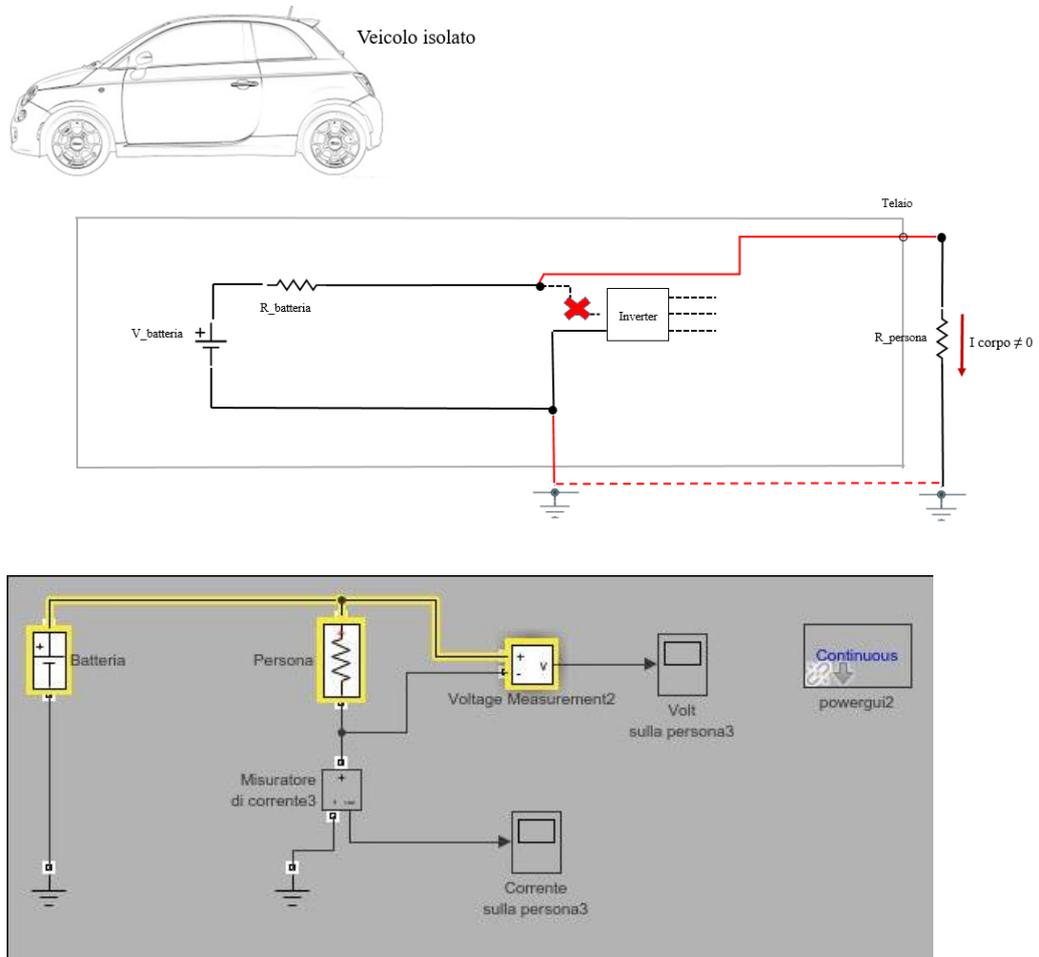


Figura 68.-Occupante esterno a contatto diretto con una fase e a contatto indiretto con l'altra.

- Una fase tocca il soggetto mentre l'altra è collegata a terra. Veicolo NON isolato:

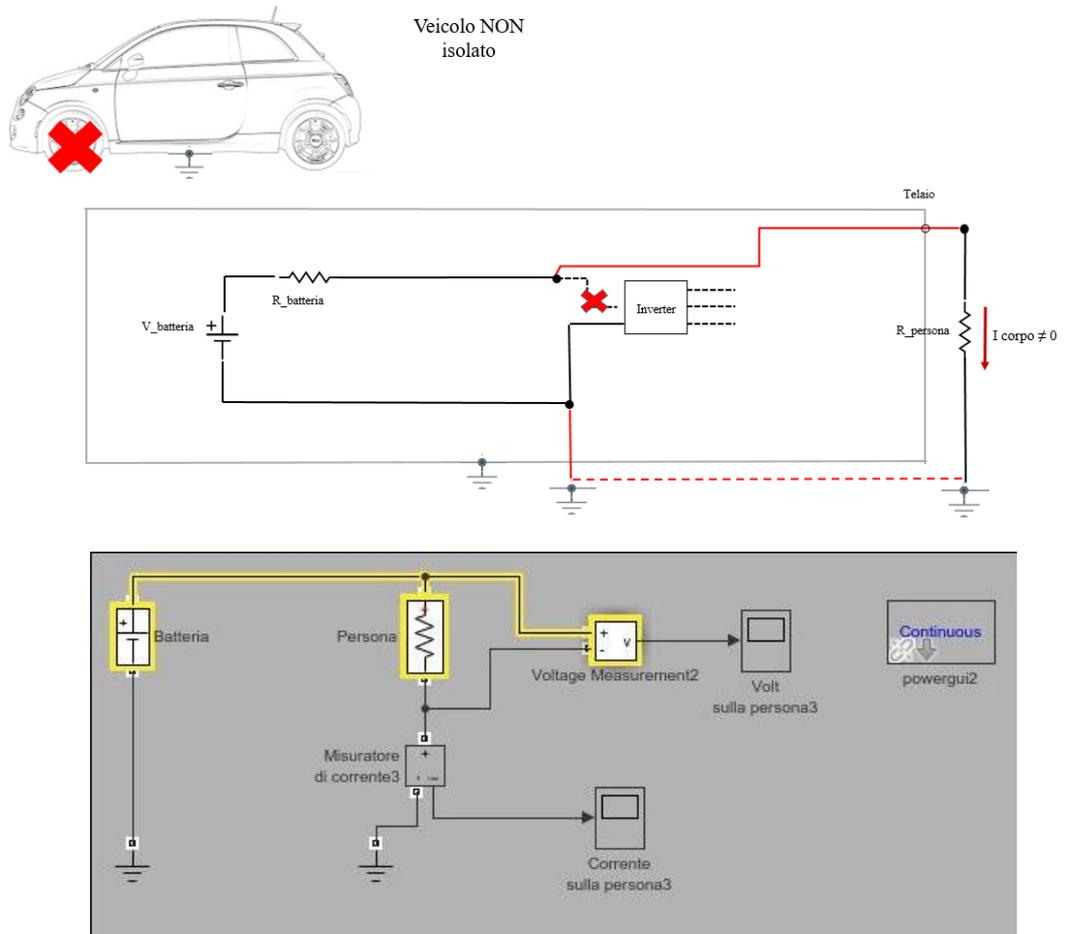


Figura 69.-Occupante esterno a contatto diretto con una fase e a contatto indiretto con l'altra.

In questo caso il soggetto è in condizione di rischio (*regione 4- vedere paragrafo 5.1.2*) in quanto chiude il circuito internamente o esternamente e quindi è attraversato da corrente. Impostando la resistenza del soggetto a 500 Ohm, questo viene investito da una corrente pari a 0.8 A.

Di seguito si riporta una tabella che vada a riassumere i casi precedenti:

SINTESI CASI PERICOLOSI DOPO UN CRASH			
CASO	STATO VEICOLO		DESCRIZIONE
	ISOLATO	NON ISOLATO	
1	✓		Qualsiasi occupante (INTERNO O ESTERNO) non corre rischi se viene a contatto con una SOLA FASE .
2	✓		Qualsiasi occupante (INTERNO O ESTERNO) corre rischi se viene a contatto con ENTRAMBE LE FASI .
3	✓		Occupante interno al veicolo e a contatto INDIRETTO con le fasi corre rischi.
4		✓	Qualsiasi occupante non isolato da terra è a rischio se viene a contatto con una fase mentre l'altra è a scocca
5		✓	Qualsiasi occupante esterno al veicolo (isolato o non) è a rischio se viene a contatto DIRETTO con una fase e a contatto INDIRETTO con l'altra.

Tabella 11.-Tabella di sintesi casi di macroshock.

5.1.2.1 EFFETTI DELLA CORRENTE ELETTRICA SUL CORPO UMANO

Gli effetti della corrente elettrica sul corpo umano possono essere suddivisi in due grandi categorie:

- a) **effetti termici**: sono causati dal fatto che il flusso di corrente provoca il riscaldamento dei tessuti, provocando danni come le ustioni;
- b) **effetti elettrofisiologici**: sono dovuti alla possibilità che la corrente elettrica provochi l'eccitazione dei potenziali d'azione dei tessuti eccitabili. Tale eccitazione può provocare una contrazione muscolare (tetanizzazione) o può eccitare i tessuti cardiaci alterandone il ritmo cardiaco (caso estremo fibrillazione ventricolare).

Quando si è percorsi da corrente elettrica il possibile effetto o danno dipende da quattro fattori:

- **Frequenza**. Essa è fissata a 50 Hz mentre negli Stati Uniti la frequenza di rete è di 60 Hz ma gli effetti sono identici;
- **Caratteristiche della corrente**. Questa può essere alternata o continua;

- **Durata del passaggio di corrente attraverso il corpo** (maggiore è la durata di esposizione e più aumenta pericolo);
- **Percorso attraverso il corpo**: ci sono percorsi più pericolosi di altri. Sicuramente l'organo che può essere maggiormente soggetto a danni a causa della corrente è il cuore. Per questo motivo i percorsi più pericolosi sono quelli che coinvolgono direttamente il muscolo cardiaco. Per esempio, se un soggetto venisse attraversato da una corrente, che va dalla mano sinistra ai piedi, si troverebbe in pericolo, in quanto l'area cardiaca sarebbe totalmente investita. Un percorso analogo che invece ha inizio a partire dalla mano destra sarebbe a minor rischio, dal momento che la corrente tenderebbe a chiudersi nell'emittoce destro, senza coinvolgere troppo il muscolo cardiaco.

a) EFFETTI TERMICI

Un volumetto di un materiale conduttore, ad esempio un volumetto di tessuto, percorso da corrente elettrica, è soggetto a riscaldamento per effetto Joule.

Considerandone uno di sezione S ed altezza l , percorso da corrente elettrica di intensità I , e nell'ipotesi che non ci sia dissipazione esterna, si può esprimere il bilancio termico mediante la seguente equazione:

$$c\delta Sl\Delta T = \rho \frac{l}{S} I^2 \Delta t$$

- c = calore specifico del materiale ($J kg^{-1} K^{-1}$);
- ΔT =aumento di temperatura (K);
- δ = densità del materiale ($Kg m^3$);
- ρ = resistività del materiale (Ωm).

L'espressione vale se il materiale è in condizione di perfetto isolamento; in altre parole, tutta l'energia prodotta viene impiegata per scaldare il materiale e non viene dissipata all'esterno.

Quindi, il riscaldamento del tessuto dipende dalla temperatura raggiunta e dalla durata dell'esposizione.

Temperature superiori a 45 °C sono dannose per la maggior parte dei tessuti. Densità di corrente dell'ordine di 1-2 mA/mm² sono in grado di produrre ustioni mentre densità superiori a 50 mA/mm² sono in grado di carbonizzare la cute.

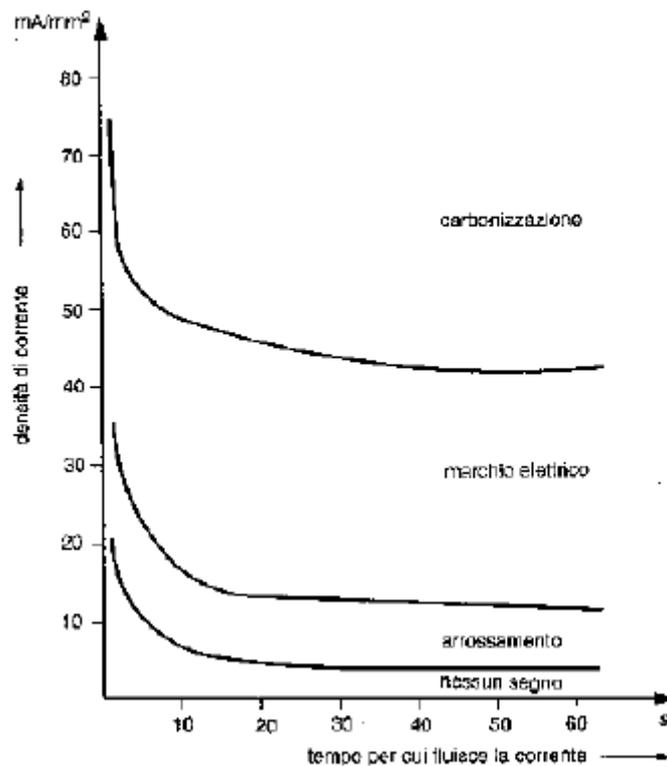


Figura 70.-Casi di ustioni.

b) EFFETTI ELETTROFISIOLOGICI: TETANIZZAZIONE E CONTRAZIONE DEI MUSCOLI RESPIRATORI/CARDIACI

Gli effetti elettrofisiologici dovuti al passaggio di corrente nel corpo umano sono sostanzialmente tre: contrazione della muscolatura scheletrica, eccitazione dei tessuti nervosi ed eccitazione dei tessuti cardiaci.

In quest'ultimo caso l'effetto è l'alterazione del ritmo cardiaco, che può avere come estrema conseguenza la fibrillazione ventricolare, la quale può essere letale per il soggetto.

Nel caso in cui, invece, viene eccitata la muscolatura scheletrica si può avere la tetanizzazione ovvero il blocco in contrazione di uno o più gruppi muscolari, o il blocco dei muscoli respiratori con conseguente arresto della respirazione.

La tetanizzazione ha come effetto quello di prolungare la durata dell'esposizione del soggetto alla corrente elettrica. Ad esempio, se è interessata la muscolatura della mano e dell'avambraccio, la mano può restare bloccata attorno ad un attrezzo, sottoposto ad un elevato potenziale, impedendo all'infortunato di lasciare la presa ed interrompere il passaggio della corrente.

L'effetto provocato sul corpo umano dal passaggio di corrente elettrica dipende, quindi, non solo dall'intensità di essa ma anche dalla durata dell'esposizione.

Naturalmente, a parità di intensità di corrente, esposizioni brevi hanno effetti meno gravi di quelli dovuti ad esposizioni prolungate.

Le figure numero 72 e numero 73 presentano una divisione in quattro zone del piano intensità-durata dell'esposizione. Ad ogni zona corrisponde un effetto differente.

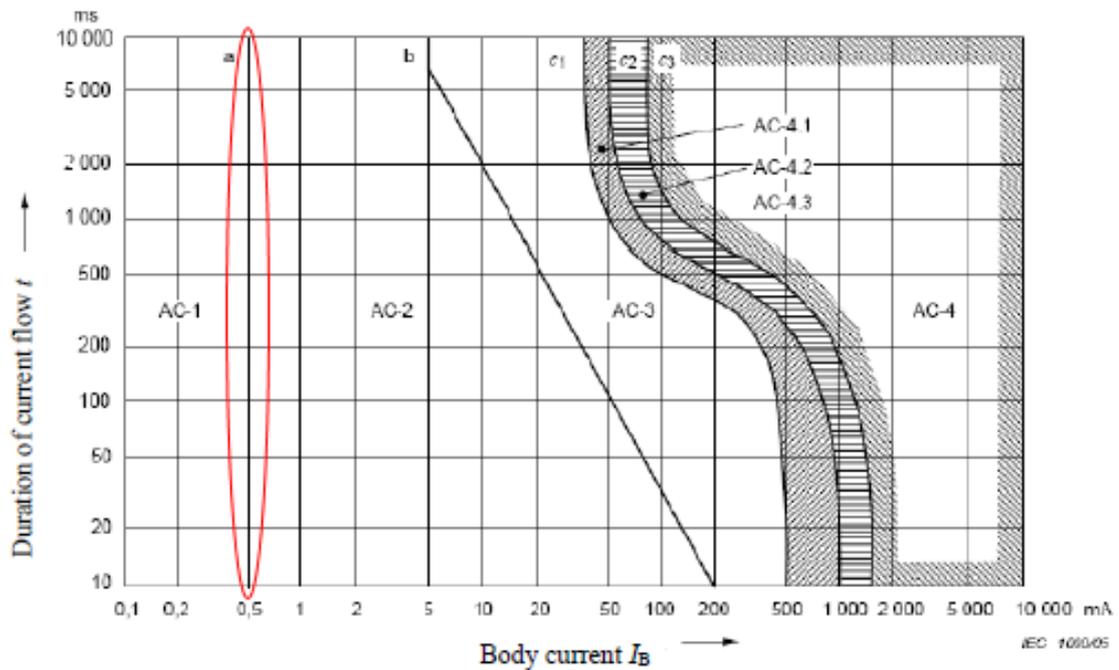


Figura 71.-Effetti fisiologici della corrente alternata alla frequenza di 50-60 Hz in funzione dell'intensità e del tempo di esposizione.

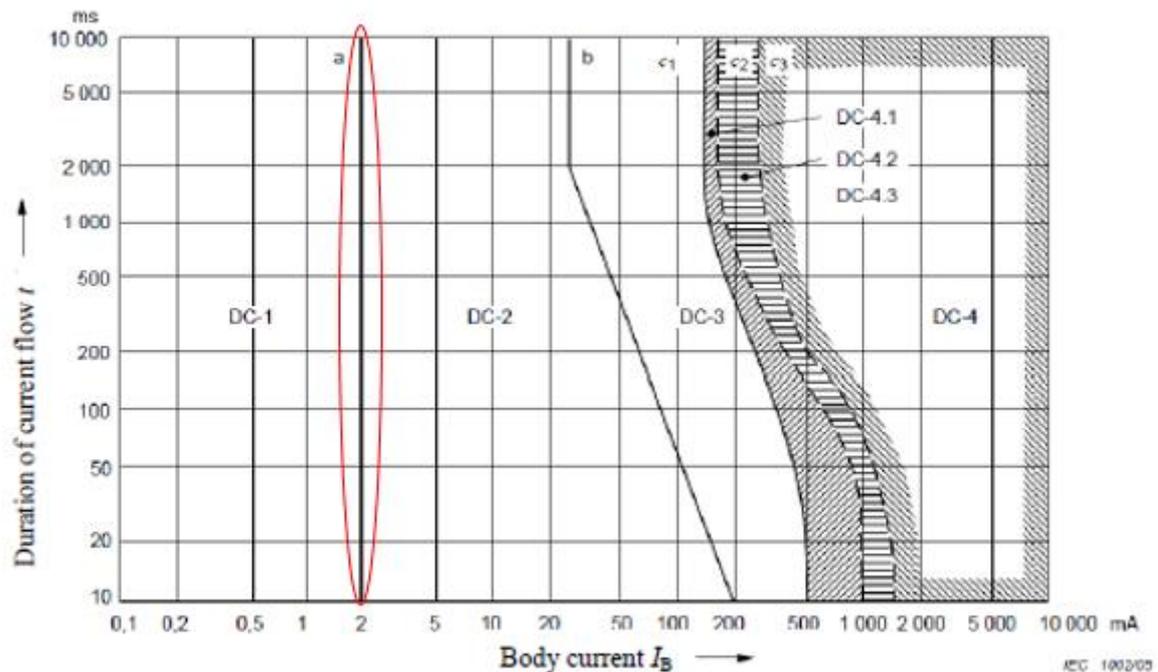


Figura 72.-Effetti fisiologici della corrente continua in funzione dell'intensità e del tempo di esposizione.

Le seguenti curve sono state realizzate tenendo conto di un percorso di tipo mano sinistra-piedi al fine di valutare gli effetti del passaggio di corrente sia continua che alternata.

Per quanto riguarda la corrente alternata in corrispondenza di 0.5 mA è presente una retta verticale che identifica il limite destro della **regione 1**. In questa regione normalmente non c'è una reazione di alcun tipo al passaggio di essa. In altre parole se un soggetto viene percorso da corrente che ha un'intensità minore di 500µA, qualunque sia la durata del passaggio, egli non se ne accorge e non si hanno reazioni. Per questo motivo la regione 1 risulta del tutto sicura.

Tra la retta a e la retta b c'è la **regione 2**, all'interno della quale si includono situazioni per le quali il corpo umano presenta delle reazioni che però non vengono associate agli effetti della corrente elettrica.

Dunque, se la corrente è inferiore a 10mA, qualunque sia la durata dell'esposizione, il soggetto è in una condizione nella quale si accorge della presenza della corrente, può avere delle reazioni involontarie (come la contrazione dei muscoli), ma non corre alcun pericolo importante. Quindi, al di sotto di tale soglia, per un percorso mano sinistra- piedi, non capita nulla.

La **regione 3** è individuata dalla curva b, come limite di sinistra, e dalle curve che possono essere c1, c2, c3.

In particolar modo la regione 3 è limitata a destra da una curva c1 che ha una tangente verticale che passa poco oltre 30 mA. Per tale valore, a seconda del tempo di esposizione, il soggetto si può trovare sia in regione 2 che in regione 3 ma, in entrambi i casi, non corre alcun rischio poiché la probabilità di fibrillazione ventricolare è minima. I possibili rischi sono contrazioni muscolari, difficoltà respiratoria, possibile fibrillazione atriale o arresto cardiaco senza fibrillazione ventricolare. Si tratta quindi di rischi pericolosi ma reversibili.

Tuttavia la probabilità di fibrillazione ventricolare aumenta all'aumentare del tempo di esposizione e all'aumentare di intensità di corrente. Le curve c2 e c3, infatti, individuano i limiti ai quali corrispondono, rispettivamente, probabilità di fibrillazione ventricolare nel 5% e nel 50 % della popolazione.

Alla destra della curva c3 si trova la **regione 4**. I rischi sono gli stessi delle zona 3 più la fibrillazione ventricolare, condizione particolarmente pericolosa perché se non interrotta entro pochi minuti porta a morte o danni cerebrali gravi e permanenti.

Per quanto riguarda invece la corrente continua i valori sono differenti.

In corrispondenza di 2 mA si ha la linea che identifica il limite destro della **regione 1**. In tale regione non si hanno effetti sul corpo umano dovuti al passaggio di corrente.

Tra la retta a e la retta b c'è la **regione 2**, all'interno della quale si includono situazioni pericolose per il corpo umano. I valori di corrente alternata che delimitano tale regione sono 0.5 mA e 5 mA, mentre per quanto riguarda la corrente continua sono rispettivamente 2 e 26 mA.

La **regione 3**, come nel caso della corrente alternata, è individuata dalla curva b, come limite di sinistra, e dalle curve che possono essere c1, c2, c3.

In particolar modo la regione 3, nel grafico della corrente alternata, è limitata a destra da una curva c1 che ha una tangente verticale che passa poco oltre 30 mA mentre nel grafico della corrente continua passa a circa 200 mA.

Alla destra della curva c3 si trova la **regione 4**. Gli effetti in tale regione sono sostanzialmente pericolosi. Il soggetto è fortemente a rischio fibrillazione ventricolare. Quest'ultima, se non interrotta entro pochi minuti, può portare alla morte dell'infortunato.

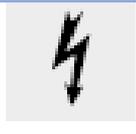
	CORRENTE ALTERNATA (AC)	CORRENTE CONTINUA (DC)
	Soglia di percezione: 1 mA Corrente appena percettibile.	Soglia di percezione: 2 mA Corrente appena percettibile
	5 mA. Elettrizzazione-formicolio- pizzicore	Fino a 100 mA. Soglia di dolore
	15 mA. Soglia tetanizzazione	200 mA. Soglia di pericolo: difficoltà respiratoria, possibilità di arresto cardiaco
	50 mA. Soglia di pericolo: difficoltà respiratoria, possibilità di arresto cardiaco	Da 1000 mA Soglia Mortale
	Da 80 mA. Soglia Mortale	

Tabella 12.-Valori correnti ed effetti

L'effetto della corrente a parità di intensità e di durata dipende anche dal percorso che essa compie all'interno del corpo umano.

In caso di elettrocuzione il calcolo dell'intensità di corrente che scorre nell'infortunato richiede la conoscenza di due variabili: la tensione di contatto e l'impedenza del percorso.

La tensione di contatto è la differenza di potenziale alla quale è sottoposto il corpo dell'infortunato, misurato tra il punto di ingresso e il punto di uscita della corrente elettrica.

L'impedenza del percorso è data dalla somma di tre termini:

- 1) L'impedenza di contatto tra la parte in tensione e il punto di ingresso in prossimità della cute;
- 2) L'impedenza dei tessuti attraversati (il valore varia a seconda del tessuto attraversato ma è indipendente dalla superficie di contatto);
- 3) L'impedenza di contatto tra la parte in tensione e il punto di uscita.

L'impedenza del corpo ha un andamento capacitivo e non lineare, ovvero il valore di resistenza di una certa quantità di tessuto dipende dalla tensione applicata su di esso (la resistenza è

inversamente proporzionale alla tensione di contatto). Alla frequenza di 50 Hz la componente capacitiva può essere trascurata senza pregiudicare l'attendibilità dei risultati.

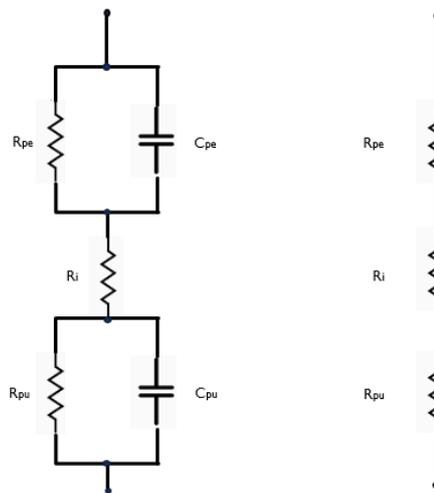


Figura 81. - Modellizzazione del percorso della corrente elettrica nell'infortunato. A Sinistra modellizzazione che tiene conto dell'effetto capacitivo della cute all'ingresso e all'uscita. A destra caso semplificato valido quando la frequenza è di 50 Hz.

Questo discorso è necessario per capire che non è banale definire la resistenza del percorso, perché essa dipende a stretto rigore dalla tensione applicata, oltre che dal tipo di percorso e dall'effetto di incertezza dovuto alla variazione tra i singoli individui.

La figura sottostante rappresenta la resistenza del corpo umano in funzione della tensione applicata. Il grafico si riferisce al contatto mano-mano o mano-piede in condizioni di **pelle asciutta** ed è relativo al 5%, 50% e 95% delle persone, nel senso che solo il 5%, 50% e 95% delle persone presenta valori di R minori di questi e risulta quindi più a rischio:

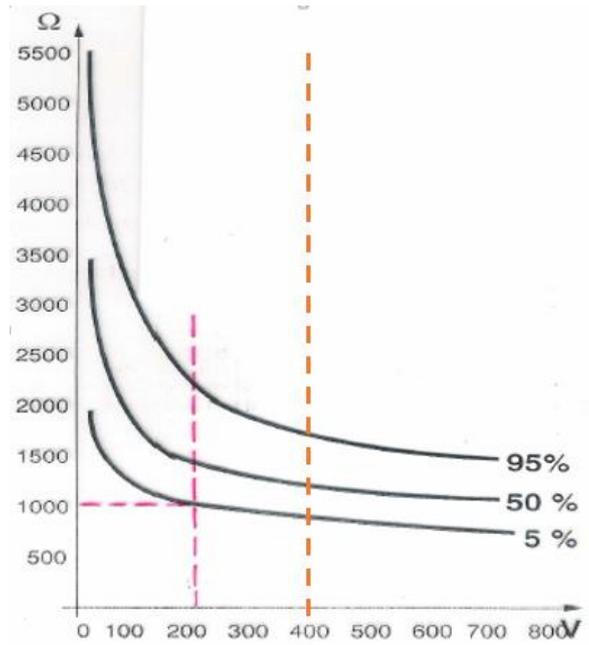


Figura 73.-Grafico tensione- resistenza corpo umano

Si può osservare che per tensioni di circa 50 V, la resistenza è di 1500 Ohm mentre per tensioni di circa 220 V risulta di 1000 Ohm. Tale valore è stato assunto come resistenza convenzionale del corpo umano dalla norma CEI 11-8.

Tensione (V)	Valori di R_c (Ω) che non sono sorpassati dal		
	5%	50% della popolazione	95%
25	1 750	3 250	6 100
50	1 450	2 625	4 375
75	1 250	2 200	3 500
100	1 200	1 875	3 200
125	1 125	1 625	2 875
220	1 000	1 350	2 125
700	750	1 100	1 550
1 000	700	1 050	1 500
Valore asintotico	650	750	850

Tabella 13.-Valori indicativi della resistenza corporea.

5.2 DANNEGGIAMENTO DELLA BATTERIA:

La batteria è l'elemento principale dei veicoli elettrici; in particolar modo la batteria a Litio-ione ha una elevata densità di energia ed un esteso ciclo vita, infatti attualmente risulta essere la più usata.

Essa è un dispositivo che ha una grande capacità di accumulo energetico: energia chimica che si converte in energia elettrica, quando richiesta.

Allo stesso tempo, però, i materiali con una maggiore densità di energia possono avere una minore stabilità termica causando così problemi dal punto di vista della sicurezza: inoltre le batterie al Litio contenendo un elettrolita infiammabile sono esposte al rischio della **“Thermal Propagation”**, fenomeno incontrollato che è innescato dal **“Thermal Runaway”**⁸ dovuto per esempio al corto circuito interno di un'unica cella.

Il rischio di esplosione ed incendi delle tecnologie Litio-ione è, appunto, connesso alla loro composizione chimica e ai meccanismi delle reazioni chimiche parassite che possono avvenire durante il loro normale funzionamento o in condizioni di abuso.

Quindi, le batterie agli ioni di litio possono, in circostanze del tutto eccezionali, presentare un subitaneo ed inarrestabile incremento della temperatura, in una sorta di reazione a catena che porta alla rottura dell'equilibrio termico del sistema ed alla distruzione completa delle batterie e della vettura.

In particolar modo il runaway termico, nelle batterie dei veicoli elettrici, dipende da vari fattori: abuso meccanico, abuso elettrico e abuso termico. La caratteristica più comune ai tre abusi è il corto circuito interno:

⁸ Una reazione chimica esotermica o, più semplicemente, una miscela di reazione, costituita da reagenti e prodotti, in equilibrio tra loro



può degenerare in runaway quando il calore di reazione non viene smaltito efficacemente e tale accumulo può innescare reazioni chimiche indesiderate e autocatalitiche tra A, B, C e D o decomposizione di uno o più dei reagenti con produzione di sostanze gassose. Il termine runaway è riferito al corpo di reazioni chimiche non desiderate che porta alla decomposizione di una o più sostanze presenti in una cella Litio-ione.

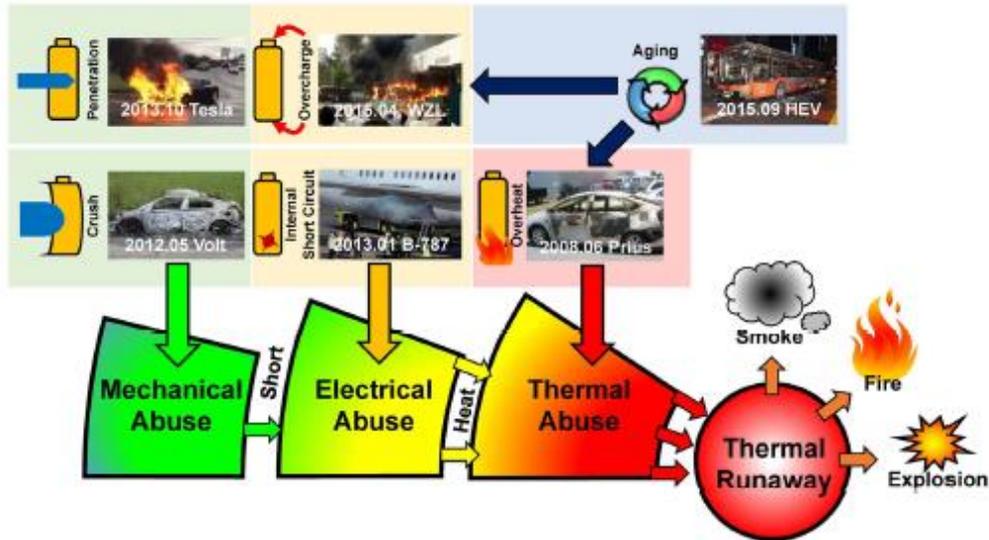


Figura 74.- Thermal Runaway

1) Abuso meccanico:

Per abuso meccanico si intende *crash* o *penetrazione* del pacco batteria:

- a) La deformazione della batteria è un aspetto abbastanza possibile durante una **collisione (crash)** e, se non valutato fin dall'inizio del progetto, può portare a conseguenze pericolose. La conseguenza più grave è quella dovuta alla formazione di corto circuiti interni. Questi a contatto con sostanze infiammabili (perdita di elettrolita) generano degli incendi. Da ciò nasce l'esigenza di simulare collisioni, in full-scale con la vettura completa, al fine di analizzare le interazioni tra il pacco batteria e la scocca del veicolo.
- b) Anche nel caso della **penetrazione** si genera un corto circuito interno che rilascia energia elettrica. Le celle assorbono tale energia aumentando così la loro temperatura. L'aumento di tale temperatura si ferma quando le celle sono completamente scariche. Se la temperatura non raggiunge quella critica non avverrà nessun Thermal Runaway, in caso contrario, se $T > T_{cr}$ si viene a generare un vero e proprio incendio.

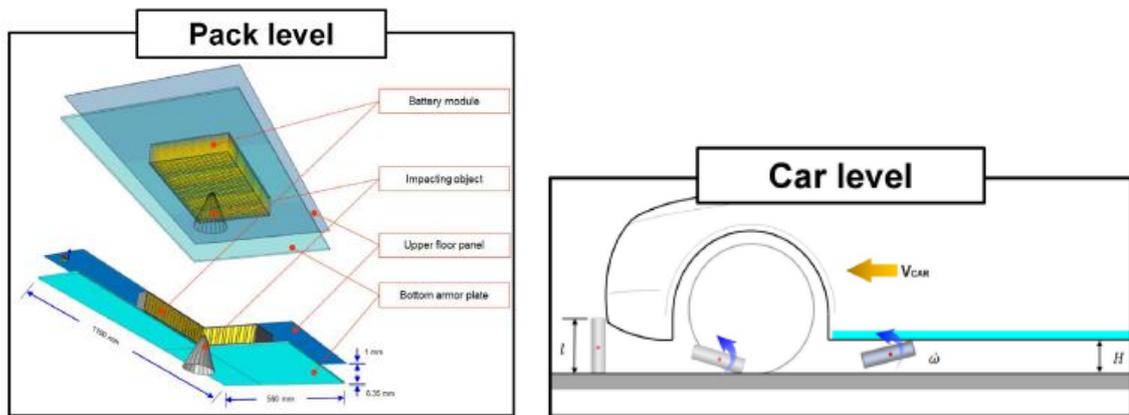


Figura 75.-Esempio penetrazione pacco

2) Abuso elettrico:

Esso, invece, dipende da due fattori: *corto circuito esterno* o *sovra-scarica/sotto-scarica*.

- a) **Il corto circuito esterno** si forma quando gli elettrodi, con una certa differenza di potenziale, vengono collegati tra di loro mediante dei conduttori (resistenze). Questo tipo di corto si può verificare sia a seguito di un incidente, di un contatto con l'acqua (immersione) etc.

Anche in questo caso l'aumento di temperatura dipende dal calore generato durante il corto e il valore di picco della corrente dipende dalla diffusione dello ione litio nell'anodo. Gli effetti del corto circuito esterno sono molto simili a quelli che si hanno durante un processo di scarica rapida.

Questo problema può essere risolto attraverso dispositivi elettronici di protezione come i fusibili (*vedere capitolo 3.1.4*). Questi ultimi evitano il sovraccarico di un impianto poiché intervengono interrompendo il passaggio della corrente quando questa supera una certa soglia.

b) Sovra-carica/sotto-scarica: SOC

In generale, le prestazioni delle celle litio-ione dipendono sia dalla temperatura (T) che dalla tensione operativa (V), tanto da poter essere identificata una "**Finestra Operativa**" ovvero un campo Temperatura-Tensione di corretto funzionamento, al di fuori del quale una cella può essere irreversibilmente danneggiata a causa di reazioni chimiche indesiderate.

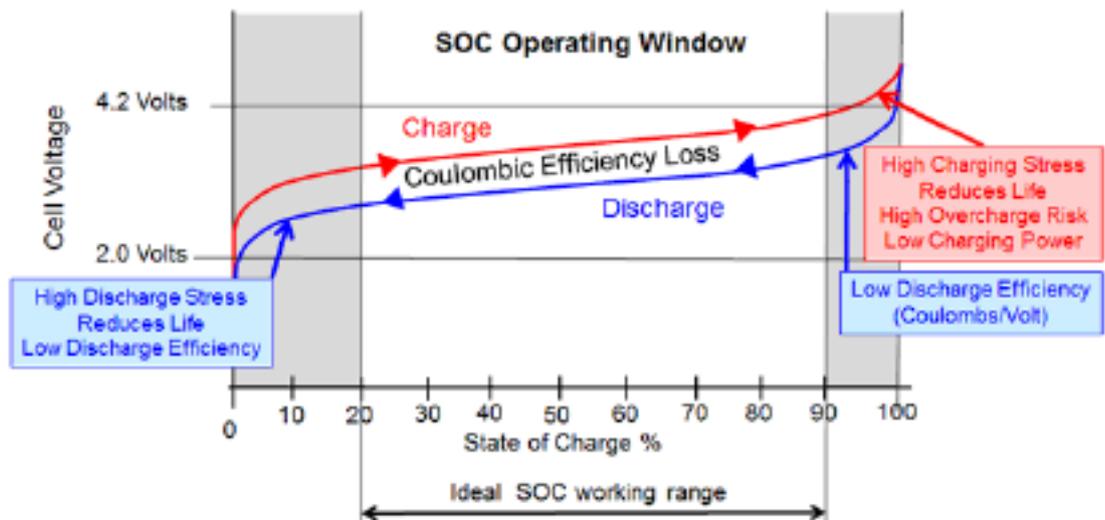


Figura 76.-Finestra Operativa (SOC)

I problemi si hanno quando la tensione supera sia il valore Massimo raccomandato (sovraccarica) che quello minimo (sotto-scarica).

- **SOVRACCARICA:**

Essa si ha quando il BMS (*vedere paragrafo 3.1.1*) fallisce nel gestire la batteria e non interrompe la carica prima che questa abbia raggiunto il valore massimo di tensione. In particolar modo la sovraccarica causa un fenomeno noto come **Lithium Plating**: gli ioni di litio dal catodo si spostano verso l'anodo ma, a causa dell'elevata corrente di carica, non riescono a depositarsi negli strati di intercalazione dell'anodo ma si depositano sulla superficie di quest'ultimo. Ad ogni ciclo di carica, cresce la quantità di dendriti i quali penetrano all'interno del separatore causando un corto circuito all'interno della cella. Il collasso della struttura causa sia la generazione di calore che il rilascio di ossigeno dal catodo.

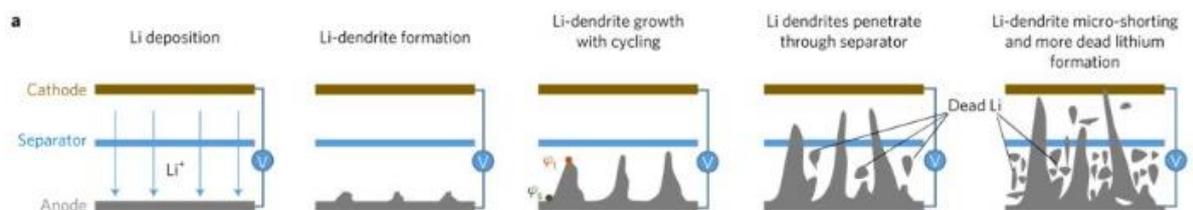


Figura 77.-Lithium Plating.

Quest' ultimo aspetto non è da sottovalutare in quanto il rilascio di ossigeno accelera la decomposizione dell'elettrolita che a sua volta rilascia massicci gas: **venting**
 I gas oltre ad essere bollenti e pericolosi, provocano un aumento di pressione, all'interno della batteria, talmente forte da rompere il case generando un'esplosione. Tutto ciò contatto con l'ossigeno (comburente) genera l'inevitabile reazione di combustione.

- **SOTTOSCARICA:**

Tale abuso è diverso dagli altri e spesso volte viene sottostimato. L' over-discharged in realtà causa un corto circuito interno e una conseguente una perdita di capacità della cella sottoscaricata.

La cella con la tensione minima viene scaricata forzatamente dalle altre celle collegate in serie. Durante tale scarica forzata, il polo si inverte e la tensione diventa negativa portando, così, ad una generazione anomala di calore nella cella sovra scaricata. Inoltre durante l'over-discharged si ha:

- la decomposizione dell'elettrolita in prossimità dell'anodo il quale rilascia gas come CO o CO₂.
- decomposizione del collettore di rame. Questo inizia a migrare causando un accumulo di dendriti in prossimità del catodo. Ciò causa un corto circuito interno.

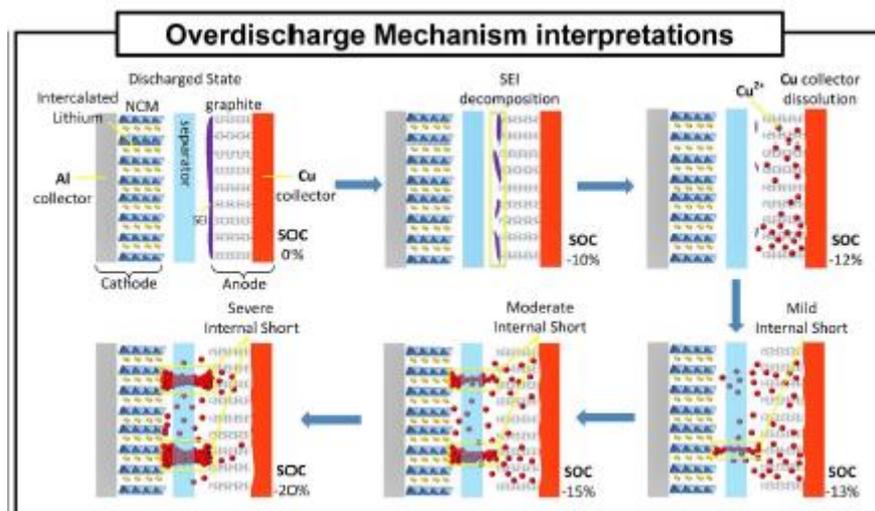


Figura 78.-Over-discharged.

Quando la cella viene ricaricata dopo tale scarica, il SEI si riforma ma ha proprietà chimiche differenti. In particolar modo aumenta la resistenza causando una perdita di capacità.

3) Abuso termico:

Anche la temperatura delle batterie deve essere controllata con attenzione.

- La diminuzione di T riduce la capacità di trasporto di ioni litio durante la carica e scarica. Ciò rende difficile l'inserimento degli ioni negli spazi di intercalazione dell'anodo dando origine, nuovamente, al fenomeno di **Lithium Plating**.
- L'aumento di temperatura invece causa un aumento del rate di reazione con conseguente aumento di potenza. Ciò determina un collasso del separatore che genera un aumento di dissipazione di calore con conseguente Thermal Runaway.

Come detto precedentemente, i tre abusi hanno in comune la generazione di un **CORTO CIRCUITO INTERNO**. Esso si ha quando anodo e catodo vengono in contatto tra loro a causa del danneggiamento del separatore della batteria.

Come si danneggia il separatore, l'energia elettrochimica immagazzinata nel materiale viene rilasciata generando spontaneamente calore.

Il danneggiamento del separatore, nei tre abusi, avviene in modalità differenti:

- 1) Nell'abuso meccanico si ha la rottura a causa della penetrazione o di un crash;
- 2) Nell'abuso elettrico esso viene trafitto dai dendriti di litio (sovraccarica) o rame (sottoscarica);
- 3) Nell'abuso termico, a causa dell'elevata T, si ha il collasso del separatore.

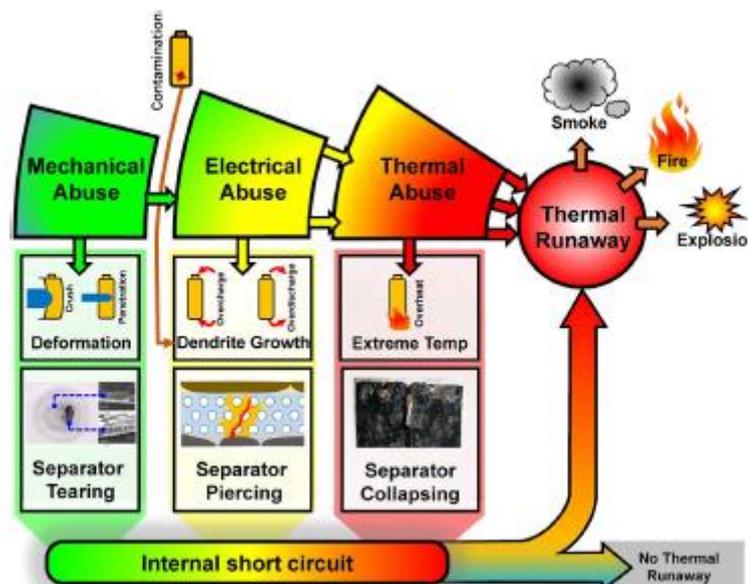


Figura 79.-Corto circuito interno

In conclusione, il *runaway* o *Thermal runaway*, di una cella Litio-ione rappresenta l'effetto indesiderato più grave, che porta alla rottura catastrofica della cella, con sviluppo di esplosione ed incendio.

Inoltre i gas che si sviluppano sono bollenti e possono fondere i metalli con cui vengono in contatto. I gas prodotti da una cella sono in quantità relativamente elevata e, se le celle sono racchiuse da un contenitore (pacco batteria), la pressione interna può aumentare sia a causa della pressione dei gas che a causa dell'esplosione degli stessi: **fenomeno di venting**.

Per evitare che una cella vada in RT e per evitare la propagazione di un guasto da una cella a quelle adiacenti, è necessario controllare la temperatura di ognuna o di piccoli gruppi di quelle adiacenti ed utilizzare tecniche di protezione per escludere la propagazione del guasto.

A tal proposito ogni batteria a Litio ricaricabile di elevata energia necessita di un controllo totale che ne garantisca il funzionamento, l'affidabilità e le massime prestazioni.

Ciò avviene attraverso un dispositivo che si chiama **BMS (Battery Management System)**. I suoi compiti sono:

1. Mantenere ogni cella entro i valori di tensione previsti dal costruttore;
2. Bilanciare le celle componenti la batteria;
3. Dialogare con il driver del motore per trasmettere tutte le informazioni necessarie al corretto funzionamento;
4. Memorizzare il maggior numero possibile di dati di funzionamento per capire come la batteria è stata utilizzata.

Nei **veicoli elettrici** il BMS interagisce con il caricabatteria (CB), con l'indicatore di carica residua (SOC), con l'inverter di trazione e con spie ed allarmi presenti nell'abitacolo.

In particolare durante la **carica** il BMS invierà i dati di tensione al SOC (per calcoli sulla carica immagazzinata), e se e quando una o più celle raggiungono la tensione massima V_H il BMS dovrà attivare i relativi circuiti di equalizzazione e comunicare col CB affinché la carica venga interrotta o la corrente di carica venga ridotta a valori pari o inferiori alla corrente di equalizzazione.

Durante la **scarica** invece il BMS invierà ancora i dati di tensione al SOC (per calcoli sulla carica immagazzinata ed eventuale riduzione di potenza con scarica quasi totale), ma soprattutto dovrà monitorare le celle ed evitare sovrascariche.

Se per qualsiasi motivo una o più celle dovessero trovarsi a tensioni prossime alla minima ammessa, il BMS invierà quindi un segnale di allarme all'inverter e a eventuali spie in abitacolo; alcuni BMS disconnettono del tutto il pacco batteria in caso di sovra-scarica.

5.3 SINTESI PERICOLI VEICOLI ELETTRICI

In conclusione i pericoli da tenere in conto quando si parla di veicoli elettrici sono 3:

1. *Pericoli Indiretti:*

Per pericolo indiretto si intende il rischio **INCENDIO** causato da corti circuiti e/o archi elettrici in prossimità di sostanze infiammabili;

2. *Pericoli Diretti:*

Essi sono il MACROSHOCK da contatto **DIRETTO** ed **INDIRETTO** ovvero i pericoli che coinvolgono gli operatori e l'occupante;

3. *Danni della batteria/Thermal Runaway:*

Essi sono causati da differenti cause ma l'elemento comune è quello della formazione di un corto circuito interno. La conseguenza principale l'aumento di temperatura/calore interno al pacco batteria che insieme al rilascio di gas, **venting**, causa così vero e proprio INCENDIO.

In altre parole, il corto circuito interno si ha quando viene danneggiato il separatore. Tale danneggiamento produce calore e allo stesso tempo causa il rilascio di ossigeno dal catodo. L'ossigeno determina il deterioramento dell'elettrolita con il conseguente rilascio di gas pericolosi (venting):

Gas + Ossigeno = Combustione

ABUSO	CAUSA	CONSEGUENZA	EFFETTO
Abuso meccanico	Crash	Corto circuito interno: Venting + ossigeno	INCENDIO 
	Penetrazione		
Abuso elettrico	Corto circuito esterno	T aumento rapido	INCENDIO 
	Overcharge	Lithium Plating ---> Corto circuito interno Venting + ossigeno	INCENDIO 
	Over-discharge	Corto circuito interno Venting + ossigeno	INCENDIO 
Abuso termico	Diminuzione T	Lithium Plating → Corto circuito interno Venting + ossigeno	INCENDIO 
	Aumento T	Collasso separatore → Corto circuito interno Venting + ossigeno	INCENDIO 

Tabella 14.-Danneggiamenti batteria.

5.3.1 IDROGENO

In particolar modo il gas più pericoloso è l'idrogeno e per tale motivo è consigliato monitorarlo dopo un crash.

L'infiammabilità, infatti, è la proprietà chimica più importante di tale elemento.

Esso, insieme all'ossigeno, è in grado di esplodere formando acqua: a questa proprietà si deve il nome idrogeno, ossia che "genera acqua". L'idrogeno reagisce con tutti gli agenti ossidanti, come l'ossigeno, il cloro etc., ed in tutti i casi le reazioni sono accompagnate da un elevato sviluppo di calore. In presenza di una fonte di innesco le reazioni possono diventare esplosive, soprattutto se avvengono in ambienti chiusi.

Quindi i rischi principali dell'idrogeno sono:

1) **Incendio:**

Una perdita di idrogeno può facilmente innescarsi, anche con deboli scintille di origine elettrica, elettrostatica o meccanica. Una perdita di tale gas produce una fiamma invisibile, molto stretta e direzionale che concentra energia su una piccola superficie. A causa della sua bassa densità e viscosità vi è rischio di fuga dai circuiti e da materiali normalmente impermeabili agli altri gas.

2) **Esplosione:**

L'idrogeno può formare miscele potenzialmente esplosive con aria, ossigeno ed altri comburenti. Una esplosione causata da idrogeno può avere luogo in spazi confinati per miscelazione con aria o ossigeno.⁹

Basta liberare una fuga di H₂ (superiore al 4%) a contatto con O₂ per innescare una violenta esplosione oppure una fiamma invisibile e pericolosa che produce acqua in gas:



La **temperatura di auto ignizione** (o autoaccensione) è la temperatura minima alla quale la sostanza inizia spontaneamente a bruciare in presenza di ossigeno, senza sorgenti esterne di innesco. Essa coincide con la temperatura di combustione e, nel caso dell'idrogeno, essa è di 500 °C.

In conclusione, i rischi principali dell'idrogeno sono:

- ❖ Può formare con aria, ossigeno ed altri gas miscele potenzialmente esplosive (**4%-75%**);
- ❖ Può causare asfissia (**7%**);
- ❖ Diffonde attraverso l'aria molto più rapidamente di altri combustibili gassosi. Con un coefficiente di diffusione in aria pari a **0,61 cm²/s**, la sua alta diffusione ne rappresenta la sua più alta qualità in fatto di sicurezza;

⁹ Il limite per rischio di asfissia con idrogeno è **H₂>17%**, ma il limite per il rischio incendio/esplosione è **H₂>4%**. Quindi prima che si crei una atmosfera sott'ossigenata pericolosa, con molta probabilità è già avvenuta una esplosione.

- ❖ Quando la concentrazione è situata nell'intervallo di infiammabilità, l'idrogeno può essere acceso usando una piccola quantità di energia a causa della bassa densità: energia di accensione (**0,02 mJ**);
- ❖ Tende a portarsi nelle parti alte degli ambienti;
- ❖ Temperatura di combustione è di circa **500 °C**;
- ❖ Brucia nell'aria con fiamma quasi invisibile ma molto calda (**2207 °C**);
- ❖ Velocità di fiamma di **1.85 m/s** mentre altri combustibili presentano valori nettamente inferiori (intorno di 0.4 m/s);
- ❖ Un getto di idrogeno può incendiarsi spontaneamente senza un'apparente causa di innesco;
- ❖ E' facilmente permeabile a causa della sua bassa densità e viscosità.

Per questi motivi, dopo un urto, si va come prima cosa a misurare la concentrazione di idrogeno mediante opportuni rivelatori.

6. PROCEDURA PER LA MESSA IN SICUREZZA DI UN VEICOLO ELETTRICO

Lo step successivo, una volta analizzati i pericoli associati all'utilizzo dell'alto voltaggio nei veicoli elettrici, è quello di realizzare una procedura sperimentale da seguire durante i crash test presso il Centro Sicurezza Fiat. Essa è necessaria al fine di poter lavorare in condizioni di estrema sicurezza.

6.1 QUADERNO DI BORDO STANDARD

Tutti i veicoli, che vengono utilizzati per i crash-test, devono essere accompagnati da una adeguata documentazione tecnica nota come **Quaderno di Bordo (QDB)**.

Il QDB indica tutte le procedure che devono essere effettuate prima, durante e dopo crash dai responsabili di prova e dagli operatori.

In particolar modo, oltre a descrivere la tipologia di prova che deve essere effettuata su un determinato veicolo, indica:

- La **strumentazione necessaria**: ovvero come allestire la pista full-scale, come posizionare i manichini in modo da rendere ripetibili le prove, come posizionare i trasduttori di vettura e i dispositivi elettronici necessari per le analisi successive e infine come configurare le telecamere;
- La **preparazione** della prova: in tale sezione vengono indicate le operazioni da eseguire per allestire correttamente il veicolo prima dell'urto. L'allestimento è sia di tipo meccanico che elettronico;
- L'**esecuzione** della prova: descrive tutte le operazioni da eseguire sia negli istanti precedenti al lancio del veicolo che immediatamente post prova;
- L'**elaborazione dati** ottenuti.

6.2 QUADERNO DI BORDO PER I VEICOLI ELETTRICI

Per poter effettuare le prove sui veicoli elettrici è stato redatto un nuovo QDB. Quest'ultimo oltre ad indicare le procedure standard, descritte nel paragrafo precedente, presenta una serie di precauzioni da adottare quando si lavora con le alte tensioni (parti aggiuntive evidenziate in giallo o verde). In seguito verranno descritti i paragrafi aggiuntivi.



Mod.MD-QDA-001.doc

INDICE

1	CRITERI DI UTILIZZO DELLA NORMA	3
2	DESCRIZIONE DELL'OGGETTO DI PROVA	4
2.1	SISTEMA DI RITENUTA	5
2.2	OGGETTI SECONDARI RICHIESTI IN PROVA	6
3	STRUMENTAZIONE NECESSARIA PER LA PROVA	7
3.1	ALLESTIMENTO BARRIERA EEVC	7
3.2	ALLESTIMENTO BARRIERA SMALL OVERLAP	7
3.3	MANICHINI IN VETTURA	8
3.3.1	TIPOLOGIA E POSIZIONAMENTO SEGGIOLINI BAMBINI.....	8
3.4	TRASDUTTORI VETTURA	9
3.5	SISTEMA ELETTRONICO PRESENTE IN VETTURA.....	12
3.6	ACQUISITORI DI BORDO	12
3.7	CONFIGURAZIONE TELECAMERE / DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA.....	13
3.7.1	CONFIGURAZIONE TELECAMERE / DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA: RICHIESTE AGGIUNTIVE	14
4	SIGNIFICATIVITA' DELL'OGGETTO DI PROVA	16
4.1	ULTERIORI VERIFICHE SULL'OGGETTO DI PROVA	16
5	PREPARAZIONE DELLA PROVA	17
5.1	ALLESTIMENTO MECCANICO VETTURA	17
5.2	MISURAZIONI DELLA VETTURA	26
5.2.1	TRACCIATURA MEZZERIA VETTURA E OVERLAP	30
5.2.2	MISURE PER ANALISI DA FILM	30
5.3	RIMONTAGGIO PARTI PARZIALE	31
5.4	ALLESTIMENTO ELETTRONICO VETTURA.....	32
5.5	RIMONTAGGIO PARTI FINALE	34
5.6	POSIZIONAMENTO H-POINT MACHINE	34
6	ESECUZIONE DELLA PROVA	37
6.1	SET UP CRASH IN OFFICINA.....	37
6.2	SET UP CRASH IN PISTA	39
6.2.1	PREDISPOSIZIONE IMPIANTO E TELECAMERE	39
6.2.2	VERIFICHE POSIZIONAMENTI INTERNO VETTURA A CURA RDP	40
6.2.3	PREDISPOSIZIONE IMPIANTO E CONTROLLI ELETTRONICI	40
6.2.4	COLORAZIONE E MARCATURA MANICHINI	40
6.2.5	PROCEDURA DI LANCIO	47
6.3	VERIFICHE IMMEDIATAMENTE POST PROVA	49
7	ELABORAZIONE DATI	51
7.1	ELABORAZIONE DATI: STRUTTURA	51
7.2	ELABORAZIONE DATI: SISTEMA DI RITENUTA	54
7.3	ELABORAZIONE DATI: CINEMATICA MANICHINI	55
7.4	ELABORAZIONE DATI: NOTE GENERALI	55

Redazione QdB: - Progetto: - Telaio: - Tipo prova: -

Rev. 14 Resp. Aggiornamento: L. BIANCO

QDB-HSC-001

2/54

Le copie aggiornate del presente documento risiede sul server aziendale: è nella responsabilità di chi vuole utilizzarne una copia cercare verificare l'aggiornamento.

Figura 80.-QDB standard.

	Errore. Nome della proprietà del documento sconosciuto: Rich. Prova Errore. Nome della proprietà del documento sconosciuto.	
	Errore. Nome della proprietà del documento sconosciuto.	
Centro Sicurezza - Via Fausto Coppi 2 - 10043 Orbassano (TO) Italy - Tel. +39 011 9080053 - Fax +39 011 9012904		

Max. Errore. Nome della proprietà del documento sconosciuto.

INDICE

1	CRITERI DI UTILIZZO DELLA NORMA	3
2	DESCRIZIONE DELL'OGGETTO DI PROVA	4
2.1	SISTEMA DI RITENUTA	5
2.2	DESCRIZIONE LAYOUT VEICOLO ELETTRICO	6
2.2	OGGETTI SECONDARI RICHIESTI IN PROVA	6
3	STRUMENTAZIONE NECESSARIA PER LA PROVA	7
3.1	ALLESTIMENTO BARRIERA EEVC	7
3.2	ALLESTIMENTO BARRIERA SMALL OVERLAP	7
3.3	MANICHINI IN VETTURA	8
3.3.1	TIPOLOGIA E POSIZIONAMENTO SEGGIOLINI BAMBINI	8
3.4	TRASDUTTORI VETTURA	9
3.5	SISTEMA ELETTRONICO PRESENTE IN VETTURA	12
3.6	SISTEMA ELETTRICO PRESENTE IN VETTURA	12
3.7	STRUMENTAZIONE PER LA MISURA DEI PARAMETRI ELETTRICI	12
3.8	ACQUISITORI DI BORDO	12
3.9	CONFIGURAZIONE TELECAMERE / DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA	13
3.9.1	CONFIGURAZIONE TELECAMERE / DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA: RICHIESTE AGGIUNTIVE	14
4	SIGNIFICATIVITA' DELL'OGGETTO DI PROVA	15
4.1	ULTERIORI VERIFICHE SULL'OGGETTO DI PROVA	16
5	PRECAUZIONI	17
5.1	VERIFICA DEI DPI	18
5.2	VERIFICA ISOLAMENTO STRUMENTI	19
5.3	CONTROLLO TARATURA STRUMENTAZIONE	20
6	PREPARAZIONE DELLA PROVA	21
6.1	TRASPORTO VEICOLO	22
6.2	PRIMO CONTROLLO ISOLAMENTO	23
6.3	ALLESTIMENTO MECCANICO VETTURA	24
6.4	SECONDO CONTROLLO ISOLAMENTO	25

Redazione QdB: - Progetto: - Telaio: - Tipo prova: -

Rev. 14 Resp. Aggiornamento: L. BIANCO

QDB-HSC-001

2/54

La copia aggiornata del presente documento risiede sul server aziendale: è nella responsabilità di chi vuole utilizzarne una copia cartacea verificarne l'aggiornamento.

	Errore. Nome della proprietà del documento sconosciuto.; Rich. Prova Errore. Nome della proprietà del documento sconosciuto.	
	Errore. Nome della proprietà del documento sconosciuto.	
Centro Sicurezza - Via Fausto Coppi 2 - 10043 Orbassano (TO) Italy - Tel. +39 011 9080053 - Fax +39 011 9012904		

Mod. Errore. Nome della proprietà del documento sconosciuto.

6.5	MISURAZIONI DELLA VETTURA.....	26
6.5.1	TRACCIATURA MEZZERIA VETTURA E OVERLAP.....	30
6.5.2	MISURE PER ANALISI DA FILM.....	30
6.8	RIMONTAGGIO PARTI PARZIALE.....	31
	6.7 TERZO CONTROLLO ISOLAMENTO	32
6.8	ALLESTIMENTO ELETTRONICO VETTURA.....	32
	6.9 QUARTO CONTROLLO ISOLAMENTO	33
6.10	RIMONTAGGIO PARTI FINALE.....	34
6.11	POSIZIONAMENTO H-POINT MACHINE.....	34
	6.12 ALLESTIMENTO SISTEMA AUSILIARIO DISINSERIMENTO HV	35
	6.13 QUINTO CONTROLLO ISOLAMENTO	36
6.14	ANALISI CARICA BATTERIA.....	37
6.15	SESTO CONTROLLO ISOLAMENTO	38
7	ESECUZIONE DELLA PROVA.....	39
	7.1 TRASPORTO VETTURA IN PISTA	39
	7.3 SETTIMO CONTROLLO ISOLAMENTO	40
7.4	SET UP CRASH IN OFFICINA.....	41
7.5	SET UP CRASH IN PISTA.....	42
7.5.1	PREDISPOSIZIONE IMPIANTO E TELECAMERE.....	43
7.5.2	VERIFICHE POSIZIONAMENTI INTERNO VETTURA A CURA RDP.....	44
7.5.3	PREDISPOSIZIONE IMPIANTO E CONTROLLI ELETTRONICI.....	45
7.5.4	COLORAZIONE E MARGATURA MANICHINI.....	46
7.5.5	PROCEDURA DI LANCIO.....	47
	8 MESSA IN SICUREZZA VEICOLO POST PROVA	48
	8.1 DISINSERIMENTO ALTO VOLTAGGIO	49
	8.2 OTTAVO CONTROLLO ISOLAMENTO	50
9	ANALISI VEICOLO.....	50
9.1	VERIFICHE IMMEDIATE POST PROVA.....	50
10	ELABORAZIONE DATI.....	51
10.1	ELABORAZIONE DATI: STRUTTURA.....	51
10.2	ELABORAZIONE DATI: SISTEMA DI RITENUTA.....	54
10.3	ELABORAZIONE DATI: CINEMATICA MANICHINI.....	55
10.4	ELABORAZIONE DATI: NOTE GENERALI.....	55

Redazione QdB: - Progetto: - Telaio: - Tipo prova: -

Rev. 14 Resp. Aggiornamento: L. BIANCO

QDB-HSC-001

2/54

La copia aggiornata del presente documento risiede sul server aziendale: è nella responsabilità di chi vuole utilizzarne una copia cartacea verificarne l'aggiornamento.

	Errore. Nome della proprietà del documento sconosciuto.: Rich. Prova Errore. Nome della proprietà del documento sconosciuto.	
	Errore. Nome della proprietà del documento sconosciuto.	
Centro Sicurezza - Via Fausto Coppi 2 - 10043 Orbassano (TO) Italy - Tel. +39 011 9080053 - Fax +39 011 9012904		

Max. Errore. Nome della proprietà del documento sconosciuto.

11 MONITORAGGIO VEICOLO.....	56
11.1 COLLOCALE IL VEICOLO NELLA OPPORTUNE CAMERE.....	57
11.2 CONTROLLO/ MISURAZIONI VEICOLO.....	58
11.3 SMONTAGGIO PACCO BATTERIA.....	59
12 TRASFERIMENTO VEICOLO.....	60
12.1 TRASFERIMENTO VEICOLO AL CIMITERO.....	61

Redazione QdB: - Progetto: - Telaio: - Tipo prova: -

Rev. 14 Resp. Aggiornamento: L. BIANCO

QDB-HSC-001

2/54

La copia aggiornata del presente documento risiede sul server aziendale: è nella responsabilità di chi vuole utilizzarne una copia cartacea verificarne l'aggiornamento.

Figura 81.-QDB veicolo elettrico.

6.2.1 DESCRIZIONE LAYOUT VEICOLO ELETTRICO

Il QDB elettrico deve presentare una sezione in cui viene descritto, in dettaglio, il layout del veicolo in modo tale che tutto il personale, che opererà su di esso, sia a conoscenza delle zone potenzialmente pericolose.

In particolare tale sezione è organizzata in 3 macro-blocchi:

- 1) Descrizione del veicolo e procedura per la disattivazione dell'alto voltaggio;
- 2) Descrizione dei dispositivi per la messa in sicurezza del veicolo;
- 3) Procedure post-urto.

1) **DESCRIZIONE DEL VEICOLO E PROCEDURA PER LA DISATTIVAZIONE DELL'ALTO VOLTAGGIO:**

a) **Step da eseguire per identificare che si tratta di un veicolo elettrico.**

E' necessario poter identificare/riconoscere immediatamente un veicolo elettrico e ciò è possibile farlo posizionando un oggetto identificativo sulla vettura. Ad esempio si può utilizzare un cono con il simbolo alta tensione e/o appositi fogli sul parabrezza/veicolo:



Figura 82.-Segnali per identificare un veicolo elettrico.

b) Descrizione, accompagnata da un'immagine, dei componenti ad Alta Tensione (AT) del veicolo elettrico.

In questo modo tutti gli operatori/responsabili di prova sono a conoscenza della reale posizione dei componenti ad alto voltaggio:

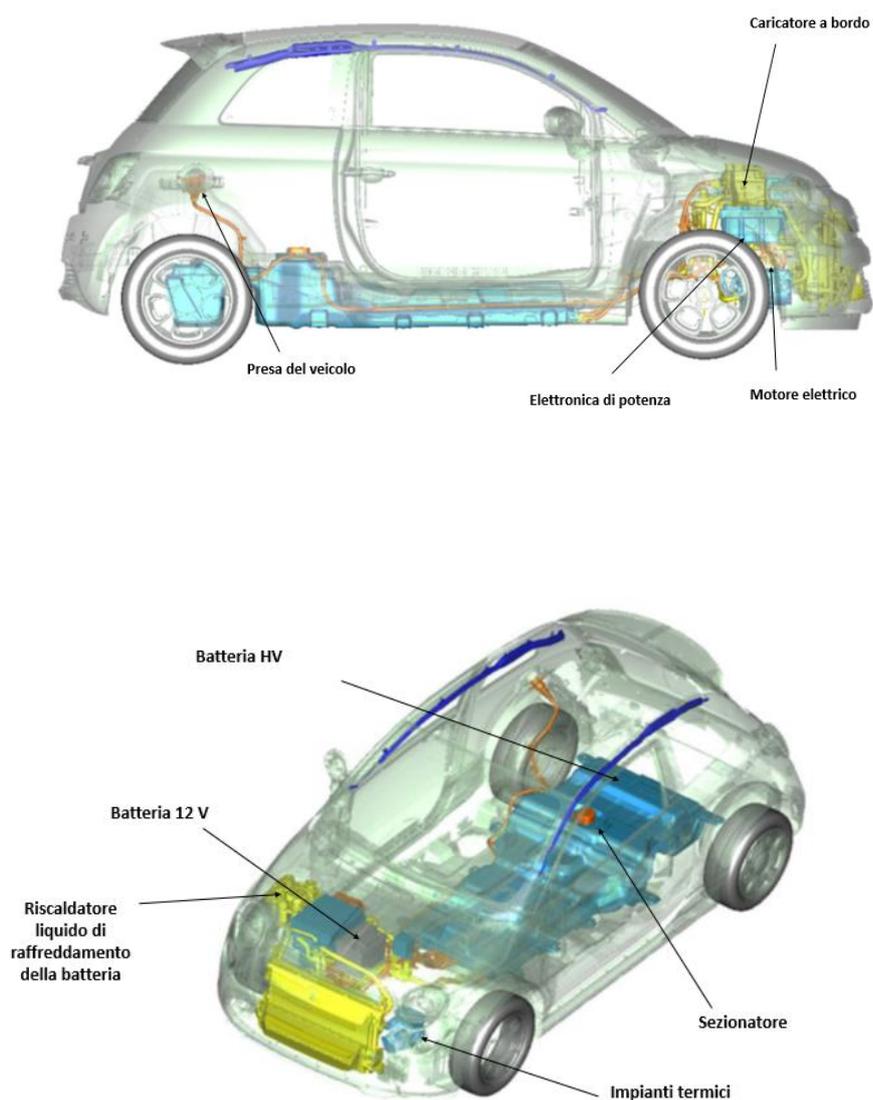


Figura 83.-Figure veicolo elettrico.

c) Immagine che evidenzi la posizione ed il percorso dei cavi ad alto voltaggio.

Come prescritto dalle normativa ECE 100, i cavi dell'alto voltaggio devono poter essere identificati immediatamente. Per tale motivo devono presentare una guaina esterna di colore arancione:

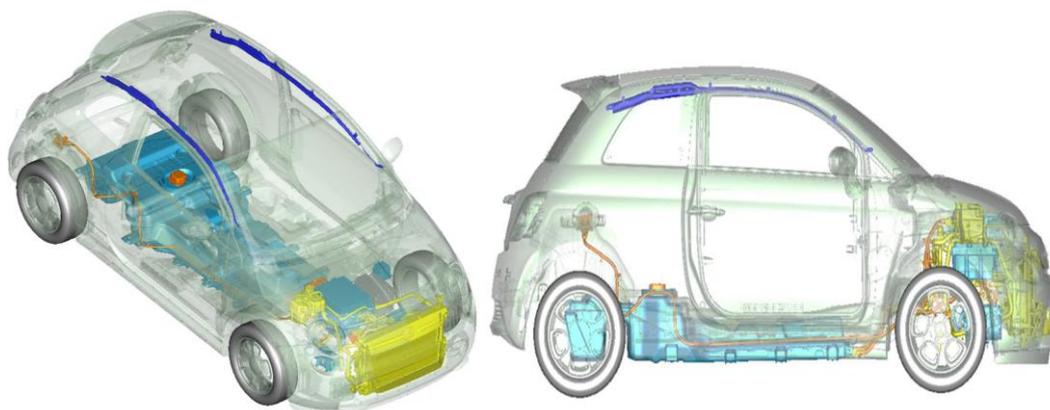


Figura 84.-Cablaggi HV

d) Warning:

1) Immagini che evidenzino le zone dove non è possibile effettuare tagli o fori.

In particolare questa parte deve contenere:

- Le ubicazioni migliori ove ancorare le strutture porta sistemi di acquisizione;
- Le modalità di fissaggio consentite (SOLO incollaggio);
- Le precauzioni da seguire durante l'allestimento (es. forare solo in certe zone ben precise, utilizzando fine corsa calibrato su trapano, onde evitare di danneggiare cavi e/o involucri del REESS, etc....).

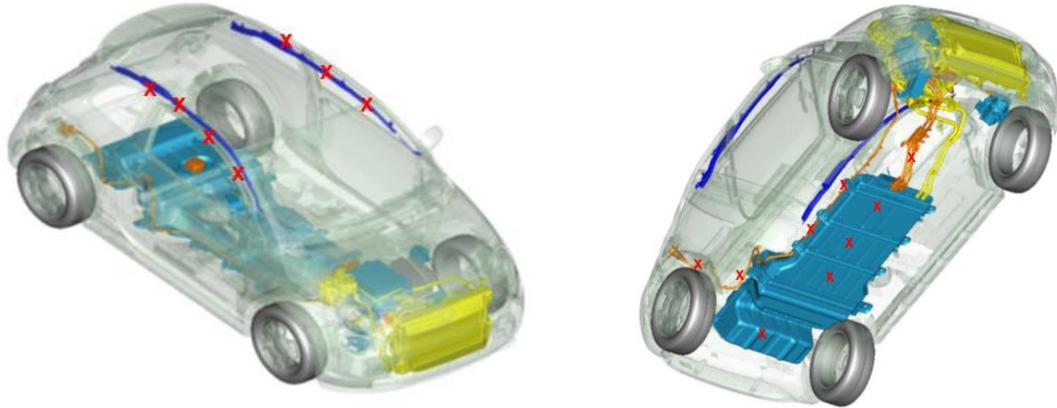


Figura 85.-zone NO taglio.

2) *Disegno che evidenzi la posizione dei dispositivi di disconnessione/messa in sicurezza.*

Oltre all'immagine deve essere indicata, con precisione, la posizione del Service Disconnect. Tale componente fa parte del circuito elettrico e serve per disconnettere l'alta tensione. La sua rimozione porta all'abbassamento della tensione sotto i valori soglia dell'HV (vedere paragrafo 4.1.1).

NB) La rimozione deve essere fatta dopo la disconnessione dei 12 V.

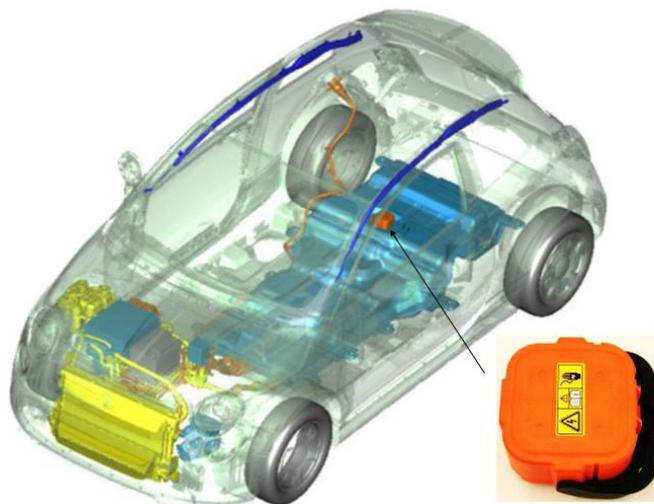


Figura 86.-Posizione Service Disconnect.

3) *Descrizione della procedura da seguire per isolare i dispositivi elettronici presenti in vettura (DAS e trasduttori).*

I trasduttori che vengono utilizzati per effettuare le misurazioni sul veicolo devono essere **incollati** nelle apposite zone con un materiale isolante. Qualora non sia possibile farlo, il sensore deve essere opportunamente saldato alla scocca facendo attenzione alle zone potenzialmente pericolose. A tal proposito è necessario conoscere perfettamente le aree dove è possibile tagliare e/o avvitare (*vedere punto 1*).

Ciò è necessario per preservare la strumentazione durante una prova in caso di corto circuiti su entrambe le fasi.

e) Le procedure da eseguire per disconnettere l'HV.

Tale sezione deve illustrare le più importanti misure di sicurezza sui veicoli ad alta tensione. Le procedure finalizzate al disinserimento della tensione sono estremamente importanti ma possono differire in funzione del tipo di veicolo.

Ad esempio gli step principali sono:

1) *Delimitare l'area e controllare che il veicolo elettrico sia correttamente segnalato:*



Figura 87.-Veicolo identificato

2) *Effettuare il Key-off del veicolo:*

In questo modo si avvia la disabilitazione del 12 V e dell'alto voltaggio.



Figura 88.-Key-off

3) Staccare il cavo negativo della batteria 12 V:

In questo step si va ad interrompere fisicamente l'alimentazione 12V per evitare incendi di origine elettrica e per evitare che si riavvii il veicolo. In particolar modo, staccare 12V significa nella maggior parte dei casi togliere l'alimentazione ai teleruttori AT che essendo relays normalmente aperti annullano la corrente erogata a valle della batteria AT, inoltre gli utilizzatori della vettura smettono di richiedere potenza ed in questo modo il successivo distacco del service disconnect può avvenire "non sotto" carico limitando così la formazione di archi elettrici e di usurarne i contattori stessi.

4) Staccare il Service Disconnect:

Effettuando tale step si va a disabilitare l'alto voltaggio.

Bisogna, prima di tutto, rimuovere le protezioni per accedere al coperchio del sezionatore e poi rimuoverlo.



Figura 89.-Disconnessione Service Disconnect

NB 1) Porre il Service Disconnect staccato in una posizione visibile (ad esempio sul tettino del veicolo) in modo tale da sapere IMMEDIATAMENTE se il veicolo è in condizioni di sicurezza o no.

NB 2) Attendere 5/10 minuti prima di procedere. Nella maggior parte dei casi, ciò consente ai condensatori di scaricarsi. Il mancato spegnimento e la mancata disabilitazione del veicolo prima di effettuare gli interventi di emergenza può causare gravi lesioni anche letali per gravi ustioni o scosse elettriche dovute al sistema elettrico AT.

ATTENZIONE: In alcune circostanze i contattori dell'impianto batteria AT potrebbero non aprirsi e quindi l'AT potrebbe essere ancora presente nell'impianto.

Per questo motivo sono **OBBLIGATORI** i DPI.

5) Prendere misure necessarie per impedire il reinserimento:

Per evitare il reinserimento della batteria è consigliato collocare la chiave key-less ad una distanza di almeno 5 metri dal veicolo e al riparo da qualsiasi accesso non autorizzato.

Se il trasmettitore della chiave si trova nell'abitacolo o nelle vicinanze del veicolo, quest'ultimo potrebbe avviarsi a seconda delle operazioni eseguite.



Figura 90.-Misure per evitare il reinserimento della batteria.

6) Verificare l'assenza di alta tensione:

Nb. Prima di verificare l'assenza di tensione bisogna controllare il corretto funzionamento del multimetro utilizzando una batteria da 12V (campione).

- Rimuovere coperchi di protezione per accedere alle porte di misurazione;
- Verificare l'assenza di tensione (*vedere paragrafo 4.1.1*);
- Riverificare il multimetro su una batteria 12 V campione.



Figura 91.-Controllo assenza alta tensione.

2) DISPOSITIVI PER LA MESSA IN SICUREZZA

Nel caso in cui i contattori e il Service Disconnect, in seguito ad un urto, non abbiano funzionato sono necessari dei sistemi di emergenza che vadano sia a bloccare necessariamente l'alta tensione che a monitorare la temperatura della batteria post crash per mettere in sicurezza la vettura e procedere senza rischi alle attività di analisi e disallestimento necessarie.

E' necessario prevedere, nella preparazione della vettura, i seguenti sistemi da installare fuori dalla zona di impatto:

- 1) Semaforo di emergenza;
- 2) Porta di misurazione tensione;
- 3) Pulsante di emergenza;
- 4) Modifica loop dell'HVIL.

Alcuni di questi sistemi hanno bisogno di essere alimentati con una batteria ausiliaria (12V):

DISPOSITIVO	BATTERIA AUSILIARIA	BATTERIA DI VETTURA	
		HV	12V
Semaforo di emergenza	✘		
Porta tensione		✘	
Pulsante di emergenza	✘		
Loop HVIL			✘

Tabella 15.-Alimentazione dispositivi di sicurezza.

In dettaglio:

1) Semaforo di emergenza:

Il semaforo è il primo sistema ausiliario che ha il compito di segnalare se l'alto voltaggio è ancora presente nel circuito dopo un urto: semaforo rosso indica HV attivo mentre quello verde indica l'HV entro la soglia.



Figura 92.-Semaforo di emergenza

Tale sistema non è altro che un monitor di tensione. Per poter rilevare l'eventuale HV, si pone un generatore di tensione (V) in parallelo alla batteria. Dopodiché la tensione entrerà in ingresso ad un amplificatore differenziale (A) avente guadagno unitario. La sua uscita è collegata ad un comparatore di soglia¹⁰ che confronta il valore efficace della tensione, all'uscita dell'amplificatore, con una soglia (60V)¹¹. Quando la soglia viene superata il semaforo si illumina di rosso.

¹⁰ Il dispositivo attivo utilizzato per realizzare un comparatore di soglia è l'amplificatore operazionale in cui uno dei due ingressi è messo a tensione nota (soglia). Quest'ultima può essere realizzata inserendo, ad esempio, una resistenza tra la massa e l'ingresso dell'AO.

¹¹ 60 V è il limite di bassa tensione (DC)

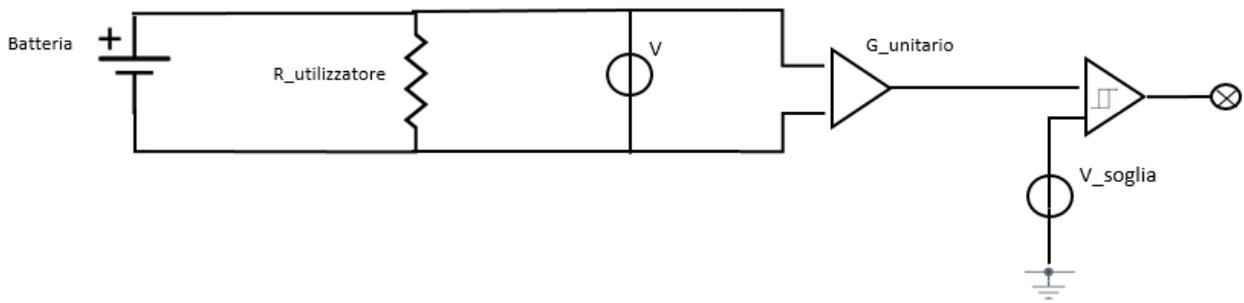


Figura 93.-Schema semaforo tensione

NB. Qualora venga distrutto il semaforo durante l'urto è **OBBLIGATORIO** seguire la procedura come se indicasse rosso.

Uno sviluppo futuro è quella di capire se è possibile inserire un semaforo che vada a segnalare se la resistenza di isolamento è scesa sotto i valori previsti dalla norma. Questo potrebbe avvenire accedendo direttamente alle informazioni del BMS.

2) Porta di misurazione tensione.

Essa deve essere collegata al bus alta tensione.

Per esempio è possibile prolungare le uscite della porta di misurazione del Service in una zona non deformata e più accessibile della vettura. In questo modo si può controllare direttamente l'eventuale assenza di tensione.

3) Pulsante di emergenza:

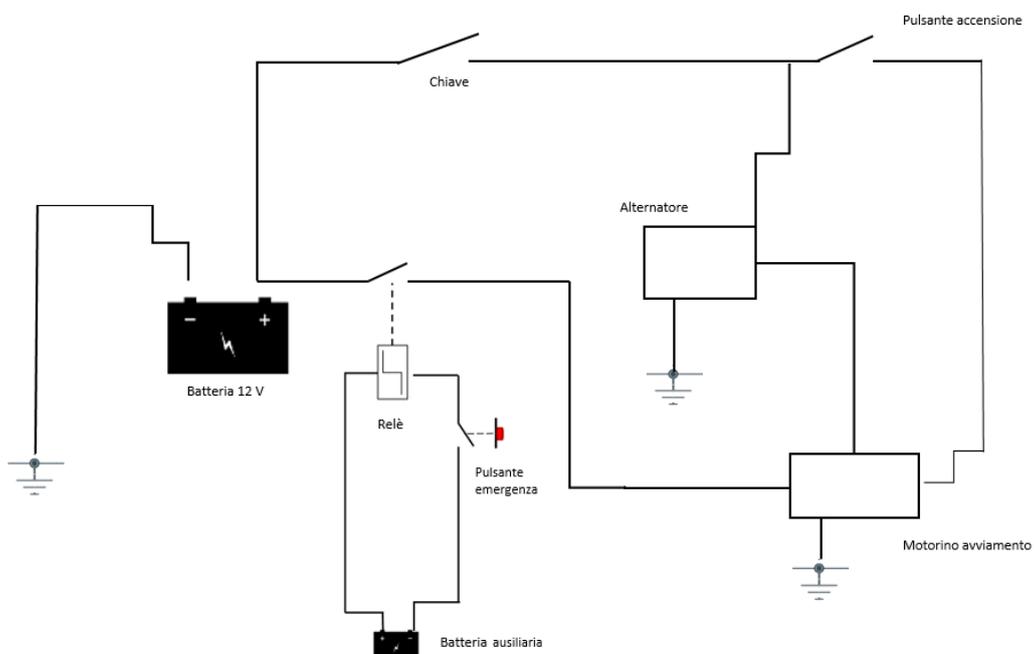
Il pulsante di emergenza è il secondo sistema che viene utilizzato qualora il semaforo indichi la presenza dell'alta tensione in circolo (semaforo rosso).



Figura 94.-Pulsante di emergenza

Il pulsante di emergenza può essere collegato a:

- **Interruttore meccanico;**
- **Interruttore azionato elettricamente (relè).** Ad esempio esso può essere collegato al positivo/negativo agente sul circuito 12V:



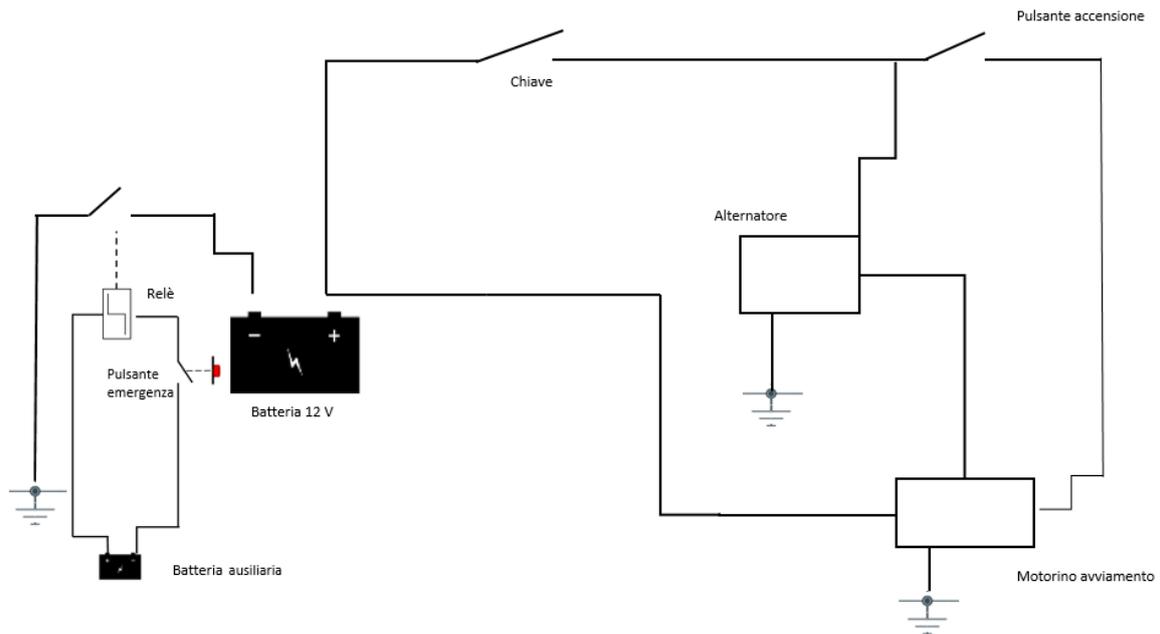


Figura 98. -Relè sul 12 V.

Il relè è un dispositivo elettrico comandato dalle variazioni di corrente che serve per influenzare le condizioni di un altro circuito: stacca-batteria.

Esso viene azionato quando la bobina interna viene percorsa da corrente. Nei relè coesistono due tipi di circuiti distinti:

✓ **Circuito di comando:**

Il funzionamento dell'elettromagnete di un relè si ottiene utilizzando un circuito di comando che permette di eccitare la bobina. La chiusura del circuito di comando si può realizzare in diversi modi come un pulsante manuale.

Tale circuito è normalmente indipendente da quello di utilizzazione e ciò rende possibile alimentare i due circuiti a tensioni differenti.

In questo caso il circuito viene alimentato con una batteria ausiliaria di 12 V.

✓ **Circuito di potenza.**

Il circuito nel quale sono inseriti i contatti interni di un relè. Questi comandano un interruttore inserito per staccare il positivo/negativo della batteria di vettura.

I due circuiti hanno lo stesso principio di funzionamento ma, in alcuni sistemi, tagliare la tensione al polo negativo non porta istantaneamente alla assenza di tensione della parte positiva del circuito. Quest'ultima infatti potrebbe continuare a essere mantenuta in tensione da DC/DC converter.

NB: *Perché è importante disattivare la batteria 12 V?*

La batteria 12 V è fondamentale per disattivare l'HV perché è collegata ai teleruttori (tipologia normalmente aperti) della batteria ad alto voltaggio (circuito arancione).

Tali tipi di interruttori si chiudono quando la bobina si "eccita" cioè quando viene attraversata da una corrente. Ciò implica che la 12 V fa passare i teleruttori dalla configurazione aperta alla configurazione chiusa consentendo, così, il passaggio dell'alta tensione.

Nel momento in cui viene disattivata la 12 V i teleruttori si disattivano (aprono) bloccando l'alto voltaggio.

- **Interruttore sul loop dell'HVIL**

L'HVIL è un sistema costituito da componenti elettronici e meccanici utilizzati per rilevare la manomissione del sistema ad alta tensione e prevenire eventuali guasti. Ad esempio quando il circuito di blocco è rotto, a causa di un malfunzionamento, la batteria ad alta tensione spegne i relè di alimentazione mentre l'inverter, il convertitore e il caricabatteria integrato controllano la corrente di loop. Se viene rilevato un errore tutti i componenti ad alto voltaggio inizieranno la sequenza di spegnimento sicura. Il circuito HVIL, quindi, comunica ai componenti elettronici di potenza di scaricare le tensioni elevate presenti al terminale sotto i 60 V prima dello scollegamento finale del terminale. Solitamente ciò deve accadere entro mezzo secondo dal rilevamento dell'HVIL dell'inizio dell'interruzione del collegamento nell'unità elettronica di potenza. Idealmente ciò risulta in un'assenza di alte tensioni sui terminali dei veicoli elettrici quando il connettore viene completamente scollegato.

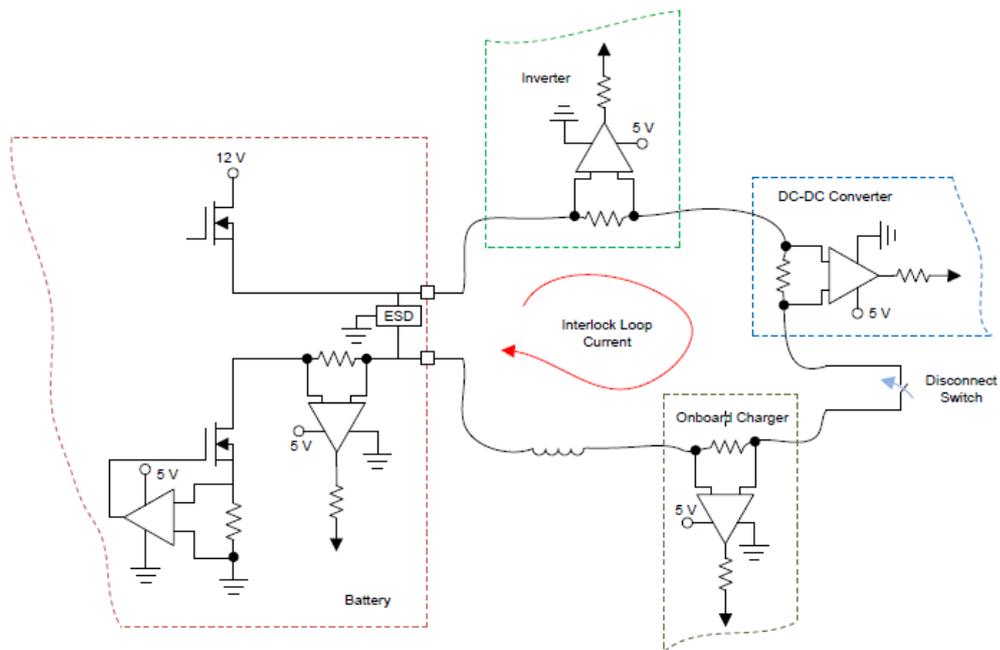


Figura 95.-HVIL

Il limite di tale sistema è che l’HVIL, alimentato dal 12V, funziona via software (comunica con il BMS) quindi ha tempi di risposta più lunghi rispetto allo stacco diretto.

POSSIBILE SVILUPPO FUTURO:

Infine, come ulteriore campo di indagine è quello di andare a disconnettere direttamente l’alta tensione con:

Piretecnico collegato ad una fase del sistema HV:

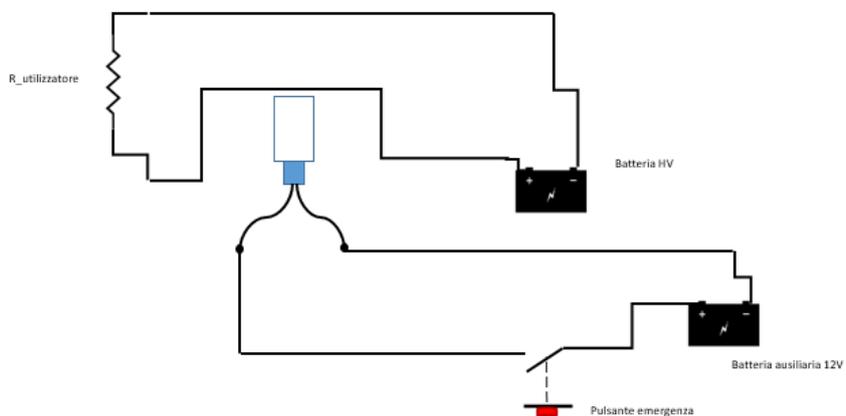


Figura 96.-Piretecnico sulla batteria HV

3) PROCEDURE POST URTO

In tutte le operazioni post-crash gli operatori devono **OBBLIGATORIAMENTE** essere dotati di DPI.

Gli step da eseguire sono:

- 1) *Posizionamento del rivelatore di idrogeno (vedere pag 136);*
- 2) *Verifica dell'attuazione dei sistemi di sicurezza sopra citati come la verifica del semaforo (vedere pag 136);*
- 3) *Misura della tensione (vedere pag 138);*
- 4) *Misura della temperatura (vedere pag 140);*
- 5) *Analisi del veicolo ed acquisizione dati;*
Contemporaneamente si procede a scaricare i dati dai DAS.
- 6) *Rimozione manichini (vedere pag 141);*
- 7) *Trasporto del veicolo (vedere pag 141);*
- 8) *Monitoraggio temperatura batteria per un tempo sufficiente a scongiurare il Thermal Runaway (vedere pag 141);*
- 9) *Trasporto veicolo in officina (vedere pag 141);*
- 10) *Smontaggio e analisi batteria*
- 11) *Smeccanizzazione.*

12) Analisi veicolo ed elaborazione dati.

1) Posizionamento del rivelatore di idrogeno¹²:



Figura 97.- Idrogeno: asfissia $H_2 > 17\%$, incendio/esplosione è $H_2 > 4\%$.

2) Verifica dell'attuazione dei sistemi di sicurezza sopra citati come la verifica del semaforo:

- a) Se il semaforo è di colore **verde** vuol dire che l'alta tensione è al di sotto del valore di soglia. Si è in una condizione di NON rischio e, per questo motivo, si può procedere prima con la verifica dello stato di isolamento e poi con l'analisi standard del veicolo incidentato.
- b) Se il semaforo è di colore **rosso** bisogna azionare il PULSANTE DI EMERGENZA. Questo permette l'apertura degli interruttori interrompendo così l'alto voltaggio.

Dopodiché se il semaforo diventa **verde** si può procedere prima con la verifica dello stato di isolamento e poi con l'analisi standard del veicolo incidentato.

Se il semaforo dovesse rimanere **rosso** bisogna attuare ulteriori procedure ovvero a tagliare MANUALMENTE la 12 V.

A tal proposito, bisogna rimuovere il coperchio di rivestimento della batteria a basso voltaggio, identificare il morsetto negativo ed infine bisogna tagliare e

¹² IDROGENO: vedere paragrafo 5.3.1;

rimuovere un segmento per evitare il r inserimento. Tutti i cavi hanno le etichette che indicano la posizione dove effettuare il taglio per l'interruzione della tensione.



Figura 98.-Etichetta disconnessione e taglio morsetti 12 V

ATTENZIONE: Se il semaforo dovesse continuare ad essere rosso si procede al piano di **EMERGENZA**.

Per prima cosa è necessario spostare il veicolo in una zona esterna. Dopodiché gli operatori, dotati di DPI, devono procedere a:

Staccare il Service Disconnect;

oppure, se impossibilitati,

Tagliare l'HVIL (High Voltage Interlock Loop)

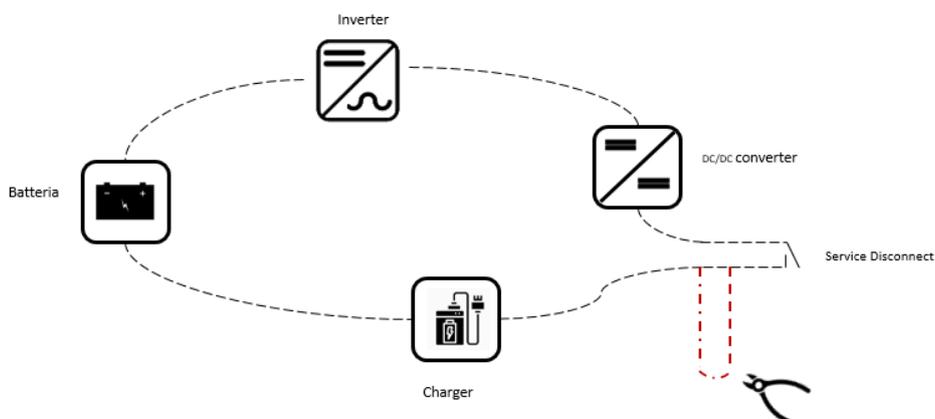


Figura 99. Taglio HVIL

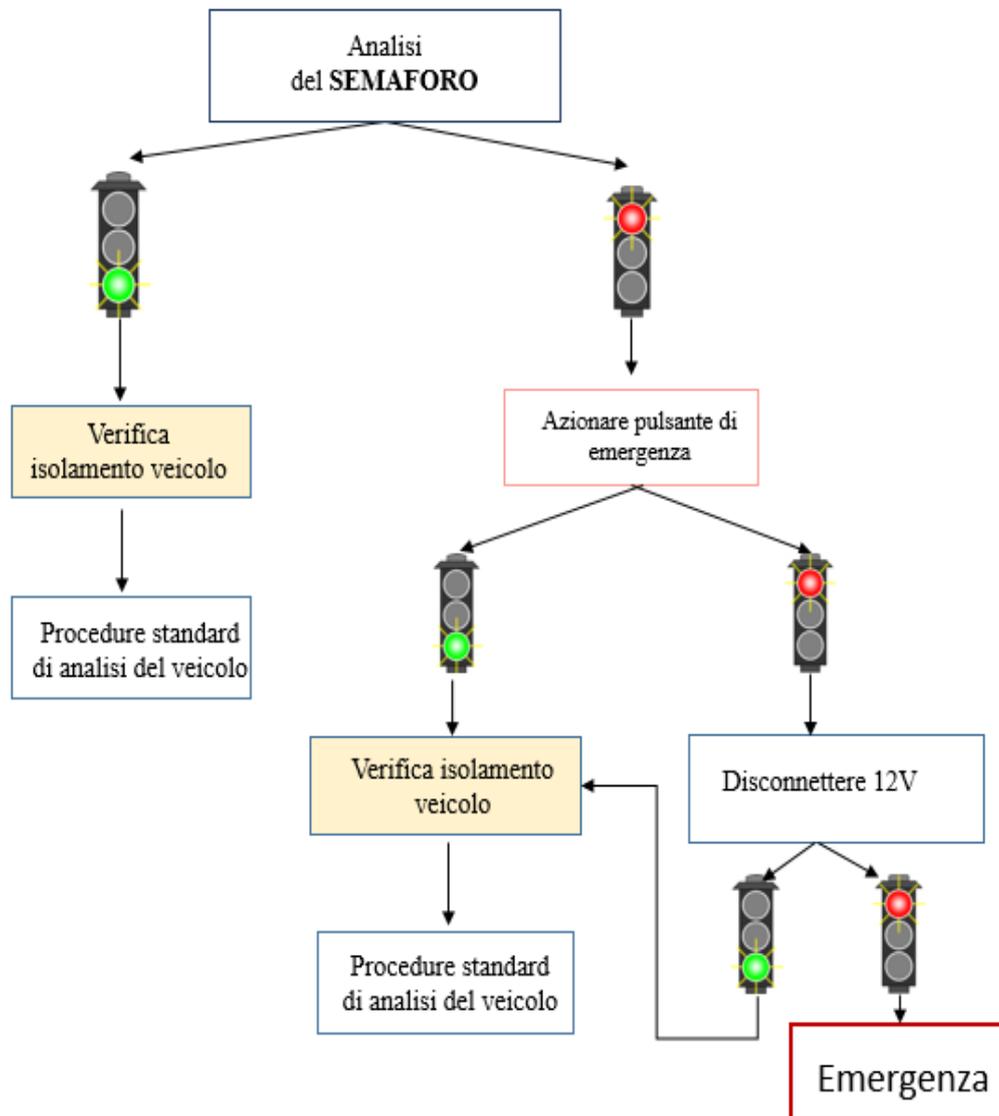


Figura 100.-Schema riassuntivo procedure post-prova.

3) Misura della tensione;

Una volta verificato il passaggio a verde del semaforo è sempre necessario verificare la tensione. La misura viene effettuata utilizzando il multimetro descritto nel capitolo 6.2.3. La verifica di isolamento deve essere effettuata seguendo il regolamento ECE 94

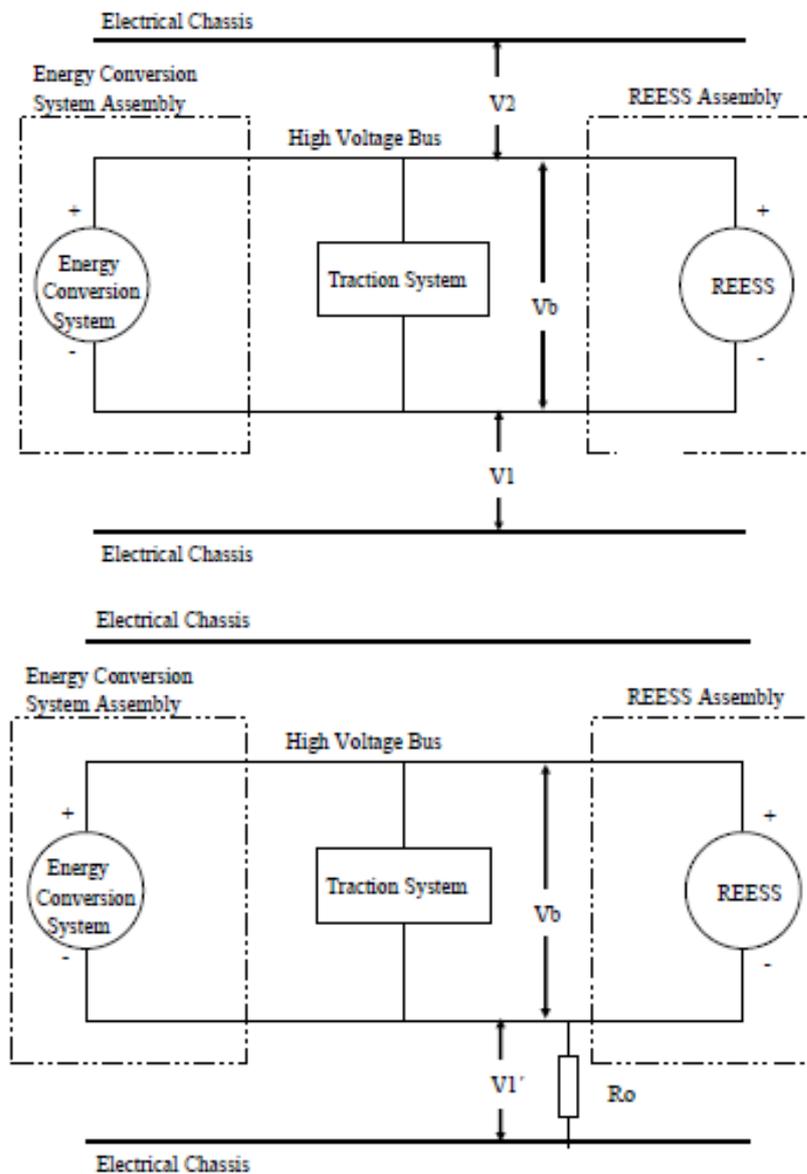


Figura 101.-Schema di riferimento per la verifica dell'isolamento.

Si ripetono gli step descritti nel paragrafo 4.1.1. Per la normativa:

R_i / V_b deve essere maggiore di $500 \Omega/V$

FOGLIO VERIFICA ISOLAMENTO			
	Valore misurato	Valore normato	OPERAZIONE EFFETTUATA (Timbrare)
V_b [V]		$V_b < 30$ V(AC) $V_b < 60$ V(DC)	
V_1 [V]			
V_2 [V]			
V^{\prime}_1 [V]			
V^{\prime}_2 [V]			
R_{i1} [Ω/V]			
R_{i1} [Ω/V]			
R^{\prime}_{i1} [Ω/V]		$R_{i1} > 500$ [Ω/V]	
R^{\prime}_{i2} [Ω/V]		$R_{i1} > 500$ [Ω/V]	

Tabella 16.-Esempio tabella QDB.

NB: Se i valori rilevati di tensione e di resistenza di isolamento sono sotto i valori di soglia è confermato che sono automaticamente entrate in funzione le strategie di sicurezza vettura. Quindi si può procedere alla messa in sicurezza della vettura. Quest'ultima bisogna metterla in osservazione per escludere fenomeni termici e dopodiché si può procedere alle operazioni di routine.

4) *Misura della temperatura;*

Tale misura può essere effettuata posizionando una telecamera termica in prossimità della batteria. In alternativa si possono utilizzare termocoppie o sensori di temperatura.

5) *Analisi del veicolo ed acquisizione dati:*

Nell'analisi del veicolo si va a verificare lo sgancio delle cinture, l'apertura degli airbag, la presenza di eventuali perdite etc.

Contemporaneamente si procede a scaricare i dati dai DAS.

6) *Rimozione manichini:*

I manichini devono essere rimossi in pista, subito dopo lo scaricamento dei dati, in modo tale da evitare il loro danneggiamento qualora si verificasse il Thermal Runaway.

7) *Trasporto del veicolo:*

Trasporto in sicurezza del veicolo in sicurezza in zona di quarantena. *Vedere paragrafo 6.2.13.*

8) *Monitoraggio temperatura batteria per un tempo sufficiente a scongiurare il Thermal Runaway:*

Vedere paragrafo 6.2.14.

9) *Trasporto veicolo in officina:*

Una volta scongiurato il rischio Thermal Runaway, il veicolo può essere trasportato in officina in modo tale da essere sottoposto ad analisi e smeccanizzazioni. *Vedere paragrafo 6.2.8.*

10) *Smontaggio e analisi batteria;*

11) *Smeccanizzazione.*

12) *Analisi veicolo ed elaborazione dati.*

6.2.2 SISTEMA ELETTRICO PRESENTE IN VETTURA

In questa sezione del QDB è necessario elencare tutti i componenti elettrici, ad alta tensione, presenti in vettura ed indicare se sono attivi o no durante la prova.

SISTEMA ELETTRICO				
COMPONENTE	PRESENTE		ATTIVO	
	SI	NO	SI	NO
Batteria alta tensione				
Inverter				
Motore elettrico				
Compressore aria elettrico				
Riscaldatore aria elettrico				
Carica batteria on-board				
Liquido raffreddamento				
Centro distribuzione potenza ad HV				
Modulo di controllo pacco batteria				
Data -logger				

Tabella 17.-Sezione QDB sui sistemi elettrici presenti in vettura.

6.2.3 STRUMENTAZIONE PER LA MISURA DEI PARAMETRI ELETTRICI

Solitamente per misurare l'alto voltaggio si usano dispositivi come sonde differenziali.

Tali sonde contengono un circuito di isolamento che "trasla" la differenza di potenziale, misurata tra due sonde ad alto voltaggio, in un segnale a basso voltaggio all'interno del device.

Inoltre vi è una separazione galvanica tra le sonde di input e il dispositivo. In questo modo l'alto voltaggio è isolato sul lato di prova.

Un esempio di strumento utilizzato per misurare il voltaggio è il Fluke 1587.

Esso è utilizzato per misurare:

- Voltaggio in corrente alternata (AC);
- Voltaggio in corrente continua (DC);
- Resistenza (Ω);
- Resistenza di isolamento (Ω/V);
- Continuità (per i cortocircuiti nei cablaggi).



Figura 102.-Multimetro per la misura dell'isolamento.

- 1) Prima di misurare l'alto voltaggio è necessario controllare il corretto funzionamento del dispositivo nel seguente modo:
 - a) Avvicinare le sonde fino a metterle in contatto e controllare che il segnale acustico sia ben udibile;

- b) Verificare il funzionamento misurando la tensione della batteria 12 V;
- c) Indossare DPI adeguati (guanti ed occhiali);

Dopodiché, per misurare l'HV sia in AC che DC, è necessario settare opportunamente il range di utilizzo a 1000 V e collegare le sonde come in figura seguente:

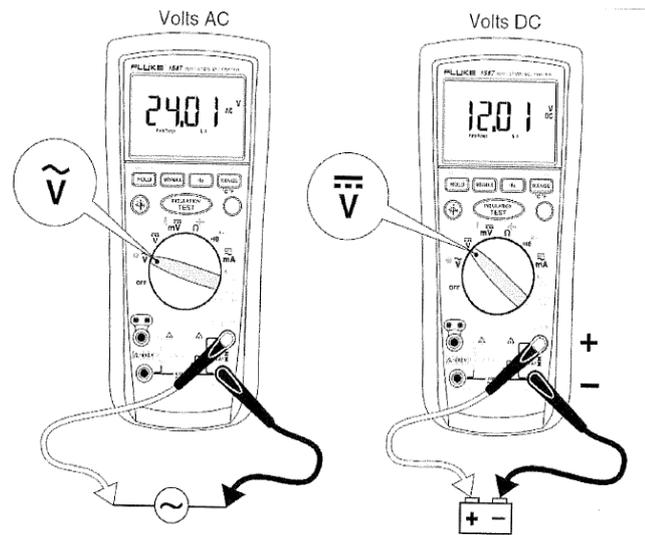


Figura 103.-Misura Voltaggio

- 2) Per misurare, invece, l'isolamento è necessario controllare il funzionamento del dispositivo ripetendo i passi precedenti:
 - a) Avvicinare le sonde fino a metterle in contatto e controllare che il segnale acustico sia ben udibile;
 - b) Verificare il funzionamento misurando la tensione della batteria 12 V;
 - c) Indossare DPI adeguati (guanti ed occhiali);

Dopodiché bisogna sia settare il range di utilizzo a 500 V che configurare il dispositivo nel seguente modo:

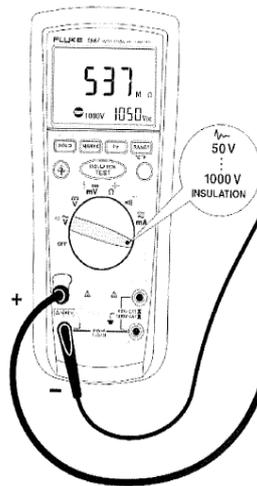


Figura 112. -Misura isolamento.

L'isolamento viene verificato tra il bus positivo e il telaio o tra il bus negativo e il telaio.

ATTENZIONE: mai misurare l'isolamento tra il bus positivo e il bus negativo. Si andrebbe a creare un corto pericoloso per il dispositivo.

6.2.4 VERIFICA DEI DPI DEGLI OPERATORI

I DPI sono i *Dispositivi di protezione individuale* e stabiliscono una barriera fisica tra l'operatore e la parte attiva dell'impianto elettrico in questione proteggendolo da shock elettrico e dall'arco elettrico.

In questo modo consentono di ridurre o addirittura eliminare gli effetti pericolosi per le persone.

Poiché i sistemi ad alta tensione non sono completamente disattivabili è **rigorosamente obbligatorio** indossare adeguati dispositivi di protezione individuale appartenenti alla classe 1.

ATTENZIONE: Infatti, dopo lo spegnimento e la messa fuori servizio del veicolo e anche con il Service Disconnect staccato, le singole celle della batteria HV sono ancora sotto tensione. L'assenza di tensione si ha solo dopo lo scaricamento delle celle.

I DPI da utilizzare devono essere conformi al decreto legislativo n. 475 del 4 dicembre 1992.

Non costituiscono DPI gli indumenti normalmente indossati nelle officine meccaniche come le tute di lavoro ma, nonostante ciò, gli indumenti devono essere a maniche lunghe e di fibra naturale (es. cotone). Non sono adatti gli indumenti in poliestere o poliammidi.

I DPI sono:

1) *Guanti isolanti:*

Devono essere immagazzinati e conservati correttamente in zone distanti da fonti di calore, protetti dall'esposizione delle radiazioni solari, non forati, puliti ed asciutti. Devono essere esaminati prima di ogni utilizzo.

Esistono tre tipologie differenti in base al materiale (gomma, lattice, composito) e secondo la norma CEI EN 60903 sono divisi in 5 classi differenti:



Figura 104.-Guanti utilizzabili per veicoli ibridi o elettrici.

CLASSE	COLORE	TENSIONE MAX (kV)	LUNGHEZZA (mm)
00	Beige	0.5	270-360
0	Rosso	1.0	270-360 410-460
1	Bianco	7.5	360-410 460
2	Giallo	17	360-410 460
3	Verde	26.5	360-410 460

Tabella 18.-Classi guanti di isolamento

2) *Visiere di protezione e casco*

Il casco con la visiera serve per assicurare una protezione integrale di tutto il viso e la vista completamente libera. Essi sono anti-scheggia, resistenti ad acidi/alcali, anti archi elettrici in conformità alla norma EN 61482-1.



Figura 105.-Casco protettivo.

3) *Abbigliamento protettivo*

Protezioni sicure da scintille, archi elettrici e fiamme di materiale ignifugo in conformità alla norma EN 61482-1-2.



Figura 106.-Abbigliamento protettivo.

4) Calzature di protezione

Esse, con puntale di protezione, suola interna antistatica e esterna resistente agli oli, devono garantire l'isolamento da terra per potenziali scariche che si possono verificare nei pressi dell'impianto in manutenzione e quindi del veicolo. Allo stesso modo, devono essere conservate pulite ed esaminate prima di ogni utilizzo. Esistono due classi di calzatura isolante, indicate con targhetta sul DPI: la 00 per impianti con tensione di utilizzo fino a 500V (colore Beige) e 0 per tensioni fino a 1000V (colore Rosso).



Figura 107.-Esempi di calzature di sicurezza.

5) Fioretto

Il fioretto di manovra è necessario per allontanare un operatore dal veicolo qualora si trovasse in contatto con una parte in tensione e non riuscisse a lasciare la presa a causa della tetanizzazione.



Figura 108.- Fioretto di manovra

6) Tappeto

L'operatore, durante le operazioni post-prova, deve utilizzare il tappeto in modo da essere isolato da terra. Tale DPI è un sistema di protezione aggiuntivo in quanto l'operatore è già isolato dalle calzature.



Figura 109.- tappeto isolante

NB: Evitare oggetti metallici come catenine/orologi

Gli operatori oltre a prendere atto, in questa sezione, dei DPI da utilizzare devono controllare:

1. Che siano dotati di marcatura:



Figura 110.-Marcatura DPI.

Il doppio triangolo indica l'idoneità ai lavori sotto tensione e la garanzia all'isolamento doppio da parte attiva. La marcatura CE indica che i DPI sono conformi alla direttiva 89/686/CEE e che possono essere venduti ed usati all'interno dell'Unione Europea.

2. Che siano in buono stato;
3. Che siano stati sottoposti a controlli periodici per verifica dell'integrità elettrica e meccanica.

OPERAZIONE RICHIESTA	SI	A cura di	Data ultimo controllo	OPERAZIONE EFFETTUATA (Timbrare)
Guanti isolanti		Officina		
Visiere di protezione/casco		Officina		
Abbigliamento protettivo		Officina		
Calzatura isolanti		Officina		
Fioretto		Officina		
Tappetino isolante		Officina		

Tabella 19.-Sezione DPI nel QDB.

6.2.5 VERIFICA ISOLAMENTO STRUMENTI PER GLI ALLESTIMENTI

L'utilizzo di adeguati attrezzi e ausili può incrementare la sicurezza in modo determinante. Gli attrezzi di lavoro isolati devono proteggere l'operatore contro i contatti accidentali, minimizzando il rischio di cortocircuito. Essi devono riportare:

- Marcatura CE;
- Temperatura di impiego tra -20 °C e +40 °C;
- Doppio triangolo con dicitura 1000V;
- Anno di costruzione.



Figura 111.-Strumenti da lavoro.

OPERAZIONE RICHIESTA	VERIFICA ISOLAMENTO	A cura di	Data ultimo controllo	OPERAZIONE EFFETTUATA (Timbrare)
Attrezzatura officina		Officina		

Tabella 20.-Sezione strumenti nel QDB.

6.2.6 CONTROLLO TARATURA STRUMENTAZIONE ELETTRICA

Prima di effettuare qualsiasi verifica sull'isolamento del veicolo è **OBBLIGATORIO** controllare lo stato dei dispositivi di misura di tensione come il MULTIMETRO.

Gli step da effettuare sono:

- 1) Verifica ultima data di controllo;
- 2) Controllo segnale acustico;
- 3) Verifica del funzionamento su una batteria 12 V.

OPERAZIONE RICHIESTA	VALORE MISURATO	Data ultimo controllo	OPERAZIONE EFFETTUATA (Timbrare)
Analisi Multimetro			

Tabella 21.-Sezione taratura strumenti nel QDB

6.2.8 TRASPORTO VEICOLO

Un veicolo dotato di batteria ad alta tensione può essere trainato, da una zona all'altra, se e solo se è in condizioni di sicurezza.

Per questo motivo l'operatore, che si occupa del trasferimento del veicolo, deve **OBBLIGATORIAMENTE** controllare che il veicolo si trovi in sicurezza (punto e):

VERIFICA SICUREZZA VEICOLO					
	PRESENTE		ATTIVO		OPERAZIONE EFFETTUATA (Timbrare)
	SI	NO	SI	NO	
Service Disconnect					
Batteria di vettura					

FOGLIO VERIFICA ISOLAMENTO			
	Valore misurato	Valore normato	OPERAZIONE EFFETTUATA (Timbrare)
V_b [V]		$V_b < 30$ V(AC) $V_b < 60$ V(DC)	
V_1 [V]			
V_2 [V]			
V^{\prime}_1 [V]			
V^{\prime}_2 [V]			
R_{i1} [Ω/V]			
R_{i1} [Ω/V]			
R^{\prime}_{i1} [Ω/V]		$R_{i1} > 500$ [Ω/V]	
R^{\prime}_{i2} [Ω/V]		$R_{i1} > 500$ [Ω/V]	

Tabella 22.-Tabelle per la verifica della sicurezza del veicolo.

Inoltre il trasporto deve avvenire mediante mezzi opportunamente isolati (ad esempio muletto con benne isolate).

6.2.9 PRIMO CONTROLLO ISOLAMENTO

La verifica principale da effettuare, quando si lavora con i veicoli elettrici, è quella dell'isolamento.

Prima di procedere a tale misura è **OBBLIGATORIO** ricontrollare la taratura del multimetro utilizzando la batteria 12V (*procedura paragrafo 6.2.6*):

OPERAZIONE RICHIESTA	VALORE MISURATO	Data ultimo controllo	OPERAZIONE EFFETTUATA (Timbrare)
Analisi Multimetro			

Tabella 23.-Sezione taratura strumenti nel QDB

Dopodiché si procede alla verifica come descritto nel paragrafo 4.1.1. Questa verifica deve essere fatta prima di ogni intervento sul veicolo:

FOGLIO VERIFICA ISOLAMENTO			
	Valore misurato	Valore normato	OPERAZIONE EFFETTUATA (Timbrare)
V_b [V]		$V_b < 30$ V(AC) $V_b < 60$ V(DC)	
V_1 [V]			
V_2 [V]			
V^{\prime}_1 [V]			
V^{\prime}_2 [V]			
R_{i1} [Ω/V]			
R_{i1} [Ω/V]			
R^{\prime}_{i1} [Ω/V]		$R_{i1} > 500$ [Ω/V]	
R^{\prime}_{i2} [Ω/V]		$R_{i1} > 500$ [Ω/V]	

Tabella 24. -Esempio tabella QDB

Questa verifica deve essere verificata prima di ogni intervento sul veicolo.

6.2.10 ALLESTIMENTO SISTEMA AUSILIARIO DISINSERIMENTO ALTO VOLTAGGIO

SISTEMA AUSILIARIO						
COMPONENTE	PRESENTE		ATTIVO		QUANTITA'	OPERAZIONE EFFETTUATA (Timbrare)
	SI	NO	SI	NO		
Voltmetro						
Amplificatore unitario						
Comparatore di soglia						
Display Semaforo						
Pulsante di emergenza						
Interruttori a levetta						
Interruttori pirotecnici						
Relè						
Batteria ausiliaria						
Isolation Logger						

Tabella 24.-Tabella sul sistema ausiliario nel QDB.

6.2.11 DISINSERIMENTO ALTO VOLTAGGIO

VERIFICA SISTEMI DI EMERGENZA			
COMPONENTE	STATO		OPERAZIONE EFFETTUATA (Timbrare)
	VERDE	ROSSO	
Semaforo			
Attivazione degli interruttori			
Semaforo			
Taglio loop HVIL			
Semaforo			
Verifica isolamento			

FOGLIO VERIFICA ISOLAMENTO			
	Valore misurato	Valore normato	OPERAZIONE EFFETTUATA (Timbrare)
V_b [V]		$V_b < 30 \text{ V(AC)}$ $V_b < 60 \text{ V(DC)}$	
V_1 [V]			
V_2 [V]			
V^{\prime}_1 [V]			
V^{\prime}_2 [V]			
R_{i1} [Ω/V]			
R_{i1} [Ω/V]			
R^{\prime}_{i1} [Ω/V]		$R_{i1} > 500$ [Ω/V]	
R^{\prime}_{i2} [Ω/V]		$R_{i1} > 500$ [Ω/V]	

Tabella 25.-Tabelle per la verifica del disinserimento AT.

6.2.12 COLLOCARE IL VEICOLO NELLA OPPORTUNE ZONE DI QUARANTENA

Finita la prova e finite le verifiche immediate di post-prova si procede a trasferire il veicolo in apposite camere al fine di monitorare il veicolo.

Esse devono avere un appropriato sistema di ricircolo di aria in modo tale che, in caso di fuoriuscita di esalazioni e/o in caso di incendio, permetta l'emissione di fumi, opportunamente filtrati, verso l'esterno.

E' **OBBLIGATORIO** lasciare il veicolo all'esterno in una zona apposita, ben segnalata, recintata, lontana dagli edifici o da materiale combustibile.

6.2.13 PIANO DI MISURAGGIO

Il veicolo, posto nella camera o in una zona esterna, deve essere periodicamente controllato.

E' necessario sia monitorare la temperatura della batteria, per evitare innalzamenti di temperatura, che l'eventuale perdita di isolamento.

FOGLIO VERIFICA ISOLAMENTO			
	Valore misurato	Valore normato	OPERAZIONE EFFETTUATA (Timbrare)
V_b [V]		$V_b < 30$ V(AC) $V_b < 60$ V(DC)	
V_1 [V]			
V_2 [V]			
V^1_1 [V]			
V^1_2 [V]			
R_{i1} [Ω /V]			
R_{i1} [Ω /V]			
R^1_{i1} [Ω /V]		$R_{i1} > 500$ [Ω /V]	
R^1_{i2} [Ω /V]		$R_{i1} > 500$ [Ω /V]	

Tabella 26.-Tabella misurazioni veicolo.

6.2.14 ANALISI CARICA BATTERIA

Prima di dar avvio alla prova è fondamentale verificare che non si sia scaricata la batteria. Per questo motivo è necessario:

- ✓ Riconnettere i cavi della batteria 12 V;
- ✓ Reinserire il Service Disconnect;
- ✓ Effettuare il key-on.

Dopodiché si verifica e si annota lo stato di carica accedendo ai dati CAN. Qualora la carica fosse bassa si procede alla ricarica attraverso la colonnina di ricarica.

Se non venisse specificato il valore di carica dal costruttore si procede a caricare la batteria fino ad un voltaggio pari al **95%** della capacità massima delle batterie.

ANALISI CARICA BATTERIA					
	VOLTAGGIO IMPOSTO DAL COSTRUTTORE			95% DI CARICA	OPERAZIONE EFFETTUATA (Timbrare)
	NO	SI	VALORE		
Stato di carica					

Tabella 27.-Analisi carica batteria.

6.2.15 TRASFERIMENTO VEICOLO CIMITERO

Se dopo due giorni il veicolo è ancora in condizioni di sicurezza è possibile trasferirlo al cimitero.

TRASFERIMENTO VEICOLO			
	AUTORIZZAZIONE	DATA	OPERAZIONE APPROVATA
Trasporto			

Tabella 28.-Tabella trasferimento veicolo.

7. SVOLGIMENTO DELLA PROVA

Una volta definito il QDB da utilizzare per i veicoli elettrici, sono state effettuate delle prove di delibera su un veicolo BEV (elettrico).

In tale fase, il mio scopo è stato quello di analizzare le procedure ed i sistemi di sicurezza adottati da un laboratorio di prova esterno al fine di confrontarli con quelli proposti nel Quaderno di Bordo (vedere capitolo 6).

7.1 PROCEDURE PRE-PROVA

a) *Procedure pre-prova PES*¹³:

Il PES, dopo l'allestimento meccanico ed elettrico, procede all'analisi dello stato del veicolo.

In particolar modo si occupa di:

✓ **Analizzare lo stato della batteria attraverso il *CANalyzer*.**

Quest'ultimo è un tool molto intuitivo che permette di visualizzare il flusso di dati, presente in rete, sul computer. In particolare esso permette di analizzare:

- Lo stato di carica della batteria (SOC): per potere effettuare la prova la carica del veicolo deve essere maggiore del 95%¹⁴;
- La tensione nominale della batteria;
- La tensione massima, minima e media delle singole celle.

¹³ PES: Acronimo di *Persona Esperta*, con istruzione, conoscenza ed esperienza rilevanti tali da consentirle di analizzare i rischi e di evitare i pericoli che l'elettricità può creare.

¹⁴ Le batterie agli ioni di litio hanno una tensione nominale di 3,6~3,7 V, che è il valore medio fra la tensione a piena carica (4,2V) e quella oltre la quale non deve scendere (3,0~3,2V). La carica si effettua a tensione costante con limitazione di corrente. Questo significa che essa avviene a corrente costante finché l'elemento raggiunge quasi la tensione di 4,2V (per sicurezza di solito inferiore di alcune decine di millivolt a tale valore), dopodiché continua a tensione costante finché la corrente diventa nulla o quasi (tipicamente la carica viene terminata al 3% della tensione massima di carica). Proprio per come viene effettuata la carica, solitamente, viene raggiunto il 97% della capacità massima prima di effettuare la prova.

- La temperatura massima e minima delle celle;

NB: Tale prova viene effettuata prima dell' urto.

- ✓ **Misurare la resistenza di isolamento del veicolo.**

Essa va misurata tra il positivo della batteria e la scocca e tra il negativo e la scocca. Tale resistenza deve essere maggiore di $500 \Omega/V$ (vedere paragrafo 4.1.1).

b) Procedure pre-prova Vigili del Fuoco:

- ✓ **Isolamento del muletto:**



Figura 159.- Muletto.

Figura 112.-Muletto.

Il mezzo viene isolato ponendo delle forche intermedie di maggiore larghezza su cui vengono fissate 4 travi di legno (2 per lato). Dopodichè vengono ricoperte con un telo isolante e fissate con fascette isolanti.

- ✓ **Posizionamento degli estintori (2 bombole per lato).**

7.2 SISTEMI DI PROTEZIONE ADOTTATI

Sul veicolo sono presenti sistemi di protezione che agiscono a più livelli. Oltre ai sistemi di protezione standard (disconnessione automatica HV, connettori a prova di dito, presenza dell'MSD (Manual Service Disconnect), circuito HVIL etc) sono stati inseriti, in una zona non deformabile, dei sistemi ausiliari al fine di ottenere una maggiore protezione dopo il crash:



Figura 113.-Sistemi di protezione adottati in prova

1. PRIMO SISTEMA: ANALISI TENSIONI

Il primo sistema adottato è necessario per poter misurare in una zona accessibile, immediatamente dopo un crash, la tensione sulla batteria in modo tale da verificare la corretta apertura dei teleruttori:

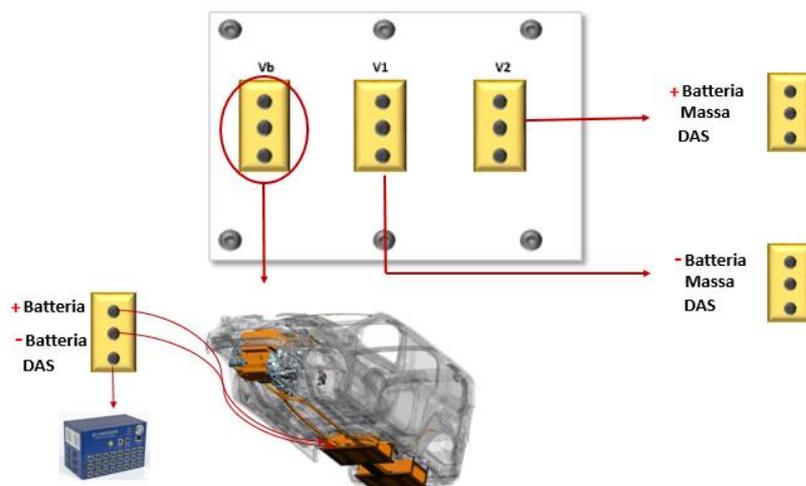


Figura 114.-Primo sistema di sicurezza.

Nella scocca, in una zona non soggetta a deformazione, è stato avvitato un pannello isolante avente tre moduli necessari alla misura di V_b , V_1 e V_2 . In particolar modo ogni modulo ha tre ingressi differenti. Nel dettaglio:

- Il primo permette la misura di V_b e, per questo motivo, i primi due ingressi sono collegati all'uscita del cavo della batteria. Più precisamente il primo ingresso è collegato al positivo della batteria mentre il secondo al negativo. Ciò permette di controllare la tensione nominale. Affinché il test abbia esito positivo, bisognerebbe leggere una tensione minore di 60 V tra 5 e 60 secondi post urto. Il terzo ingresso, invece, è collegato al DAS (*Data Acquisition System*) avvitato nel bagagliaio.

NB: I sistemi di acquisizione e gli accelerometri non sono stati isolati in modo tale da confrontare i dati di prova con quelli delle vetture ICE.

- Il secondo modulo consente la misura di V_1 ovvero la tensione che si trova tra il negativo della batteria e la scocca. A tale scopo il primo ingresso è collegato al negativo della batteria, il secondo alla scocca (massa) e il terzo al DAS;
- Il terzo, infine, consente la misura di V_2 ovvero della tensione tra il positivo della batteria ad alto voltaggio e la scocca. In questo caso il primo ingresso è collegato al positivo della batteria, il secondo alla massa ed il terzo sempre al DAS.

NB: Tutte le tensioni (V_b , V_1 , e V_2) sono state acquisite collegando i cavi della strumentazione direttamente ai cavi HV situati all'uscita della batteria (2) invece che alle porte del pozzetto di ispezione (1). Ciò viene effettuato per avere un punto di rilevazione lontano dalla zona di deformazione (al centro del tunnel) nel caso di urto frontale:

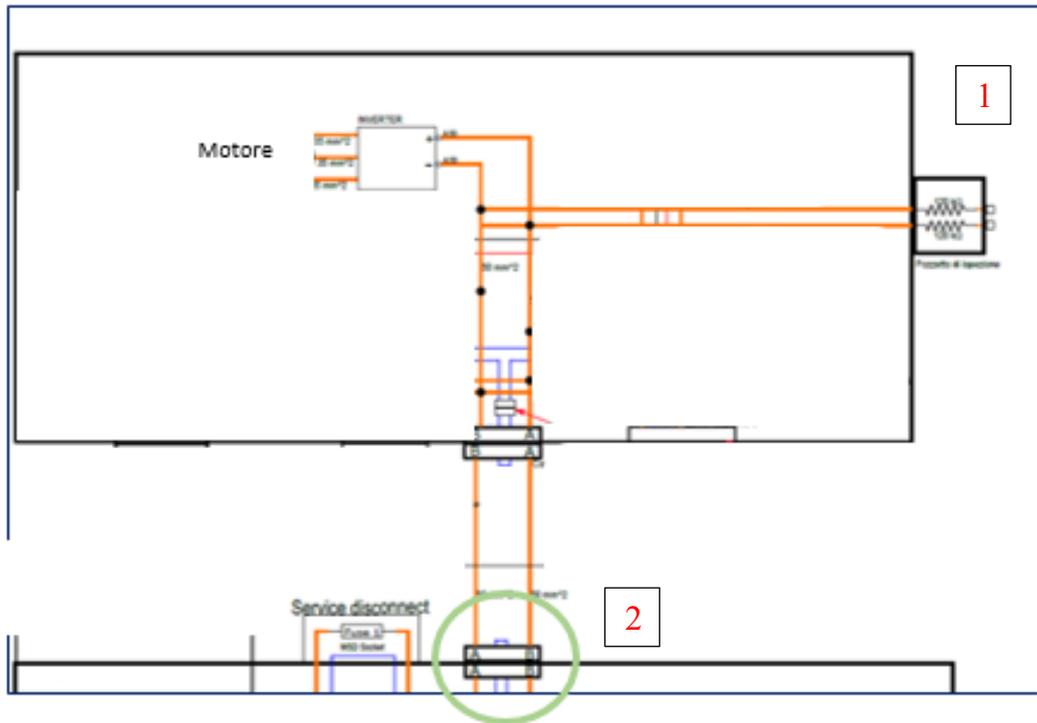


Figura 115.- Sistema 1

Naturalmente, effettuando le misurazioni in prossimità dei cavi dell'alto voltaggio (prima immagine) si ottengono risultati **conservativi** rispetto a quelli che si otterrebbero misurando dal pozzetto. I valori di resistenza di isolamento misurati, infatti, sono minori (circa 200/300 KOhm) rispetto a quelli che si otterrebbero misurando dal pozzetto di ispezione.

DIMOSTRAZIONE:

- Misurazione dai cavi HV:

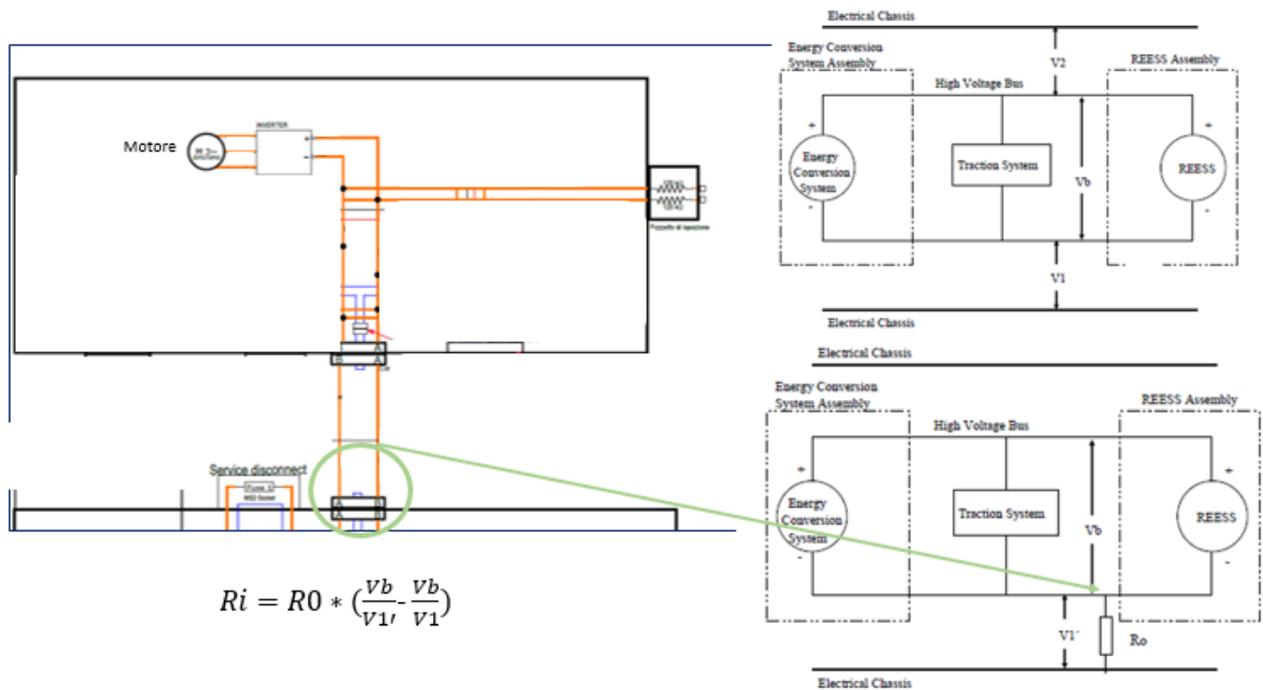
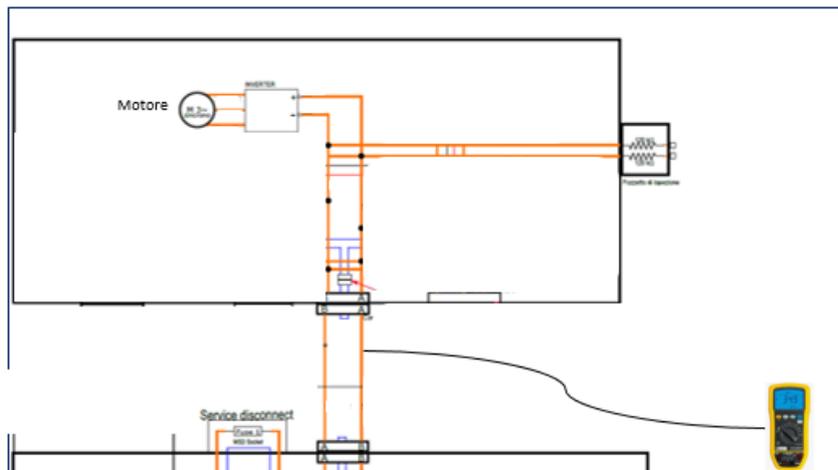


Figura 116.-Misurazione Ri dai cavi HV



La resistenza di isolamento dipende dalla somma di due contributi:

- R del cavo;
- R del multimetro.

Per cui:

$$R_0 = R_{\text{cavo}} + R_{\text{multimetro}}$$

R_{cavo} è direttamente proporzionale alla sua lunghezza:

$$R = \frac{\rho l}{S} \quad (\rho = \text{resistività})$$

Figura 117.-Ri dai cavi HV

- Misurazione dal pozzetto:

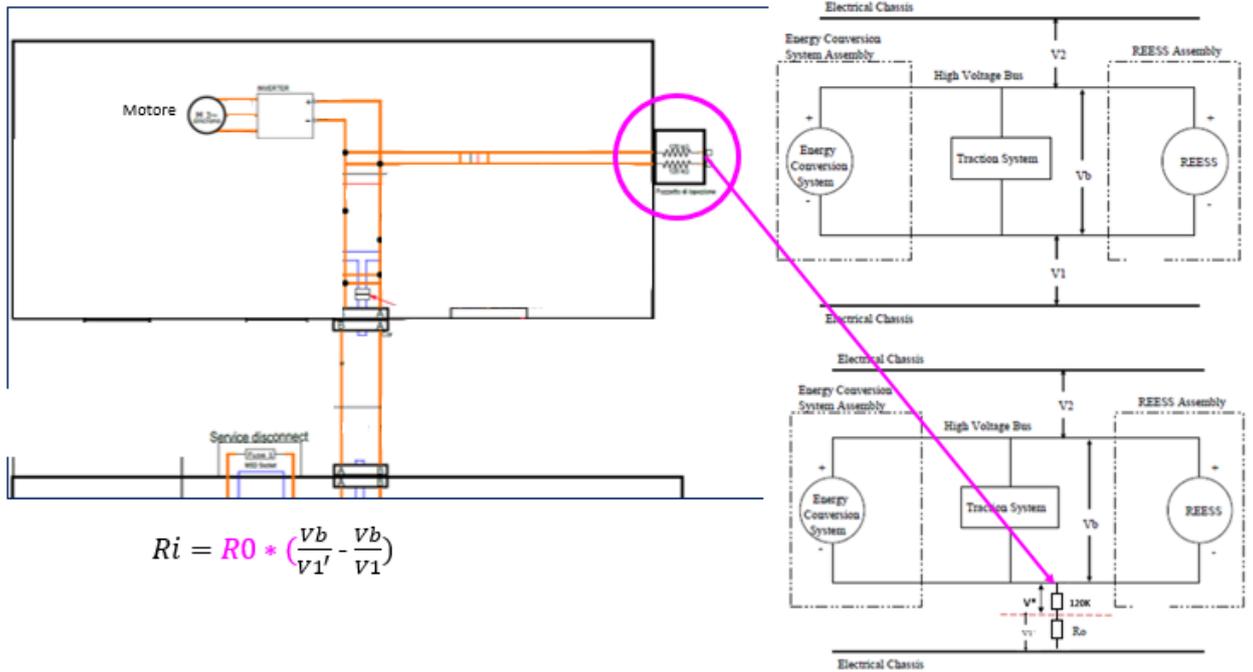
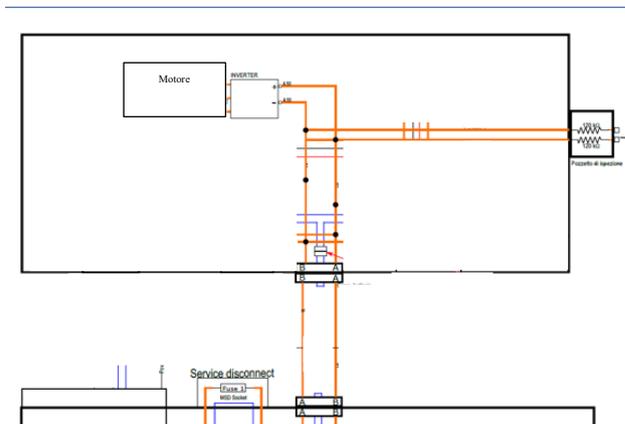


Figura 118.-Misurazione Ri dal pozzetto



La resistenza di isolamento, in questo caso, dipende dalla somma di tre contributi:

- R del pozzetto;
- R del cavo;
- R del multimetro.

Per cui:

$$R_0 = 120 \text{ K}\Omega + R_{\text{cavo}} + R_{\text{multimetro}}$$

R_{cavo} è direttamente proporzionale alla sua lunghezza:

$$R = \frac{\rho l}{S} \quad (\rho = \text{resistività})$$

Figura 119.-Ri dal pozzetto

La differenza dipende dal diverso valore di R_0 . Nel secondo caso è maggiore in quanto è presente una resistenza di 120 k Ω nel pozzetto di ispezione che fa aumentare l'isolamento totale.

La misura conservativa, quindi, è quella fatta in prossimità della batteria.

2. SECONDO SISTEMA: PULSANTE DI EMERGENZA

Il secondo sistema è un pulsante a fungo di emergenza:



Figura 120.-Pulsante emergenza.

Esso è utilizzato come dispositivo di emergenza qualora, dopo un urto, la misura delle tensioni non dovesse dare un esito positivo ovvero tensione maggiore di 60V.

Tale pulsante va ad interrompere l'HVIL del sistema bloccando così l'alto voltaggio.

3. TERZO SISTEMA: RELE' BISTABILE

Il terzo sistema di emergenza adottato è un relè bistabile che viene utilizzato qualora il pulsante di emergenza non riuscisse a bloccare l'alta tensione:



Figura 121.-Relè bistabile.

In particolar modo anche tale relè è collegato all'HVIL ed è in grado di interrompere correnti fino a 1500 A. Esso si attiva collegando una batteria ausiliaria da 12 V ai poli 2 e 4 del dispositivo di interruzione:

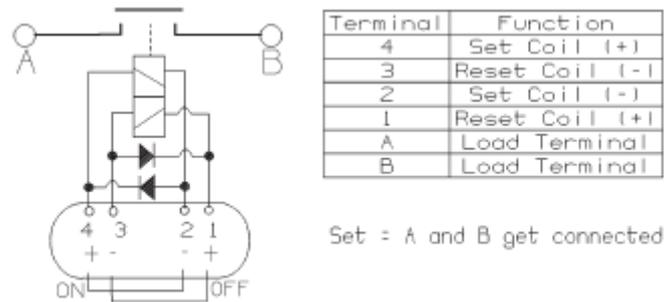


Figura 122.-Attivazione relè.

In conclusione la metodologia utilizzata in prova è la seguente:

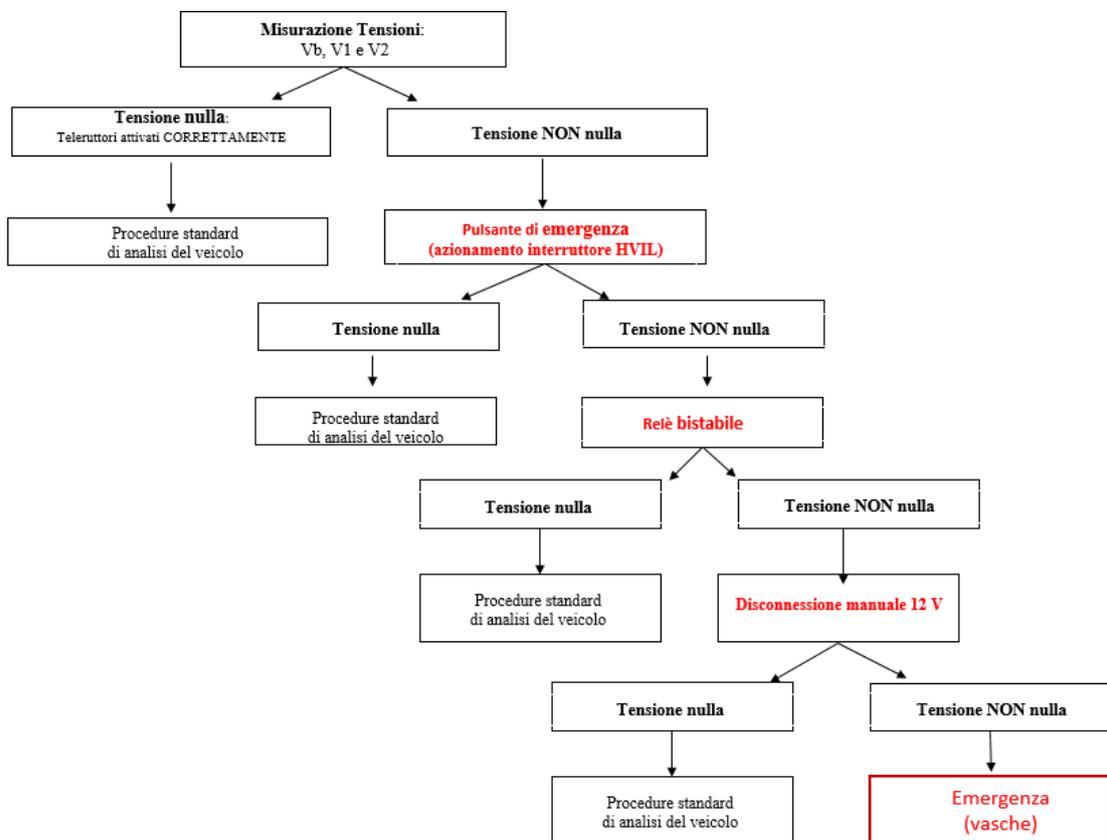


Figura 123.- Metodologia adottata

La situazione di emergenza consiste nel trasferimento, attraverso il muletto isolato guidato da una squadra dei Vigili del Fuoco, del veicolo all'esterno del centro dove vi sono collocate le vasche d'acqua.

4. QUARTO SISTEMA: DISPOSITIVO FRENANTE

Oltre ai sistemi di sicurezza riguardanti l'apparato elettrico, è stato aggiunto un dispositivo frenante addizionale collegato direttamente alle tubazioni freno anteriori/ posteriori. Esso viene posto in una zona indeformabile e viene attivato nel caso di necessità.

7.3 PROCEDURE POST-PROVA

Come in qualsiasi altro ambito dove si praticano attività di lavoro che comportano la possibilità di rischi elettrici, anche nel campo automotive con vetture ibride ed elettriche, il personale deve essere qualificato e deve aver seguito un percorso formativo dedito all'abilitazione della figura professionale.

Dunque è necessario che in questi settori le figure operanti siano preparate e professionalmente istruite per lavori sotto tensione.

L'addetto ai lavori può ricevere tre nomine differenti:

PES. Acronimo di *Persona Esperta*, con istruzione, conoscenza ed esperienza rilevanti tali da consentirle di analizzare i rischi e di evitare i pericoli che l'elettricità può creare. Egli deve saper illustrare con chiarezza il funzionamento delle apparecchiature elettroniche in questione agli altri operatori, inoltre, nel caso della riparazione meccanica, una dovuta conoscenza in ambito motoristico ed elettrico.

PAV. Acronimo di *Persona Avvertita*, ovvero personale adeguatamente avvisato da PES per metterlo nelle condizioni di evitare pericoli concernenti al rischio elettrico. Esso non possiede tutte le caratteristiche per soddisfare lo status di PES, soddisfacendone solo alcuni in parte. La figura di PAV non è una figura lavorativa autonoma, ovvero deve sempre fare riferimento a indicazioni provenienti da PES.

PEC. Acronimo di *Persona Comune*, non esperta e non avvertita al rischio generico elettrico. Autonomamente il PEC può eseguire piccoli interventi come sostituzione di batterie 12V o lampadine, altrimenti cablaggi o fusibili, purché il materiale utilizzato sia conforme e la PEC sia stata adeguatamente informata sulle problematiche inerenti all'intervento che deve eseguire.

ATTIVITA'	PES	PAV	PEC
Disinserire	SI	NO	NO
Verificare l'assenza tensione	SI	NO	NO
Lavori sui sistemi HV disattivati	SI	SI	NO
Intervenire su accumulatori sotto tensione	NO, o solo con una formazione complementare speciale	NO	NO
Lavori di officina convenzionali sui veicoli	SI	SI	NO
Manutenzione di routine	SI	SI	SI

Tabella 29.-Divisione mansioni.

A tal proposito le operazioni post-crash sono state svolte dal **PES**. Gli steps eseguiti, in ordine di tempo, sono:

1. **Posizionamento misuratore di idrogeno e ossigeno** (vedere pag. 136);
2. **Verifica delle tensioni** mediante il sistema descritto precedentemente. Si è misurato un valore di tensione al di sotto dei limiti omologativi;
3. **Verifica della temperatura delle celle.**
Subito dopo la prova si è misurata una temperatura delle celle all'interno del range previsto.
NB: Qualora la temperatura fosse minore di zero sarebbe indice di una rottura di uno dei sensori di temperatura posizionati nel pacco batteria;

4. Verifica della resistenza di isolamento.

E' stata misurata tra il positivo della batteria e la scocca e tra il negativo e la scocca. Tale resistenza risulta maggiore di 500 Ω/V .

NB: Un indice della bontà del progetto può essere la differenza tra i valori di resistenza post-prova e pre-prova. Ovvero i valori attesi dovrebbero essere uguali o poco minori ai valori pre-prova.

Inoltre, qualora i valori dovessero essere molto maggiori ciò potrebbe indicare un "guasto" ai cavi uscenti dalla batteria. Ad esempio se si dovessero tranciare i cavi nell'urto, durante la misura post-analisi, si dovrebbero leggere delle resistenze molto maggiori di quelle iniziali (ordine dei mega Ohm -circuitto aperto).

5. Trasporto del veicolo all'esterno.

Evitare di far stazionare il veicolo, dopo la prova, all'interno del padiglione per motivi di sicurezza. Qualora non avvenissero fenomeni termici nell'arco di 12/24 ore, è possibile trasportare il veicolo all'interno per effettuare le analisi di routine.

7.4 PROCEDURE GIORNI SEGUENTI LA PROVA

Nei giorni seguenti sono stati effettuati due test previsti anche dal regolamento ECE 100:

1. Protezioni contro il contatto diretto con parti sotto tensione:

In questo test si vanno a verificare le protezioni delle persone contro il contatto con parti vive (parti sotto tensione).

Un generatore di corrente (tensione tra 40 e 50 V), in serie ad una lampadina, viene connesso tra la sonda e la parte in tensione. E' possibile sostituire il generatore e la lampadina con un multimetro.

Figure 1
Jointed test finger

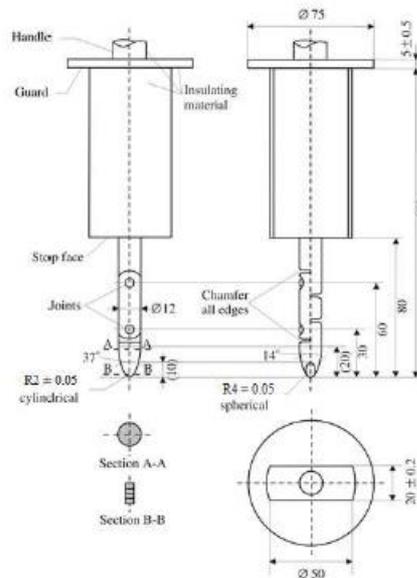


Figura 124.-Finger test.

Il “finger” deve essere appoggiato alla zona che si vuole analizzare e, a partire dalla posizione iniziale dritta (perpendicolare alla superficie), si vanno a piegare entrambe le articolazioni della sonda fino a raggiungere un angolo di 90° rispetto alla posizione di inizio.

Il test si può considerare superato quando NON si verifica l’accensione della lampadina. Ciò implica che la parte che si sta analizzando non è in tensione e, quindi, qualsiasi contatto con essa non è pericoloso per l’occupante.

2. Protezioni contro il contatto indiretto con parti sotto tensione:

In questo caso si va a misurare la resistenza tra tutte le parti conduttive e la terra veicolo attraverso un milliohmetro. La resistenza deve essere inferiore a 0.1 Ohm facendo scorrere una corrente di 0.2 A.

Prima di effettuare la prova è necessario azzerare la resistenza del tratto di cavo utilizzato per la misura stessa.

Per esempio sono stati verificati i valori tra:

- Scontrino fiancata e carcassa motore;

- Scontrino fiancata e portellone posteriore;
- Scontrino fiancata e fissaggio della staffa laterale della batteria;
- Un punto di massa e carcassa motore.

8. CONCLUSIONI

In conclusione lo scopo della mia tesi è stato quello di definire un flusso di operazioni da effettuare, su un veicolo elettrico, al fine di operare in condizioni di massima sicurezza. In particolar modo, l'aspetto principale di tale attività è stato quello di individuare dei sistemi di protezione in grado di disattivare l'alto voltaggio a seguito di un crash.

Inoltre, la metodologia proposta è stata confrontata con quella concordata con un ente esterno per effettuare le prove di delibera. In particolar modo la differenza principale riguarda il mancato utilizzo del semaforo proposto nel QdB. Nel laboratorio esterno, infatti, dopo aver indossato gli appositi DPI, verificata l'assenza della fuoriuscita di idrogeno, il PES ha verificato direttamente lo stato della tensione attraverso un multimetro assicurandosi di essere nei limiti previsti.

Lo sviluppo futuro dell'attività di questa tesi sarà quello di andare ad applicare la metodologia sperimentale proposta a più urti al fine di affinarla e consolidarla tenendo conto anche dei prossimi sviluppi della normativa ECE R100 (Thermal Runaway).

RINGRAZIAMENTI

I primi che sento di ringraziare sono i miei genitori per avermi sempre sostenuta in ogni decisione, per aver fatto tanti sacrifici senza farli pesare pur di consentirmi di conseguire questo titolo, per aver cercato sempre di trasmettermi la loro positività prima di ogni prova, per aver creduto in ogni istante in me e, cosa più importante, per avermi sopportato in questi anni in particolare quando ero nervosa ed irascibile. Questa laurea è soprattutto merito vostra e della piccola Mia.

In secondo luogo vorrei ringraziare la Professoressa Bignardi per avermi dato l'opportunità di svolgere la tesi al Centro Sicurezza Fiat consentendomi di vivere un'esperienza molto formativa ed indimenticabile sia sotto l'aspetto umano che professionale.

Dopodiché vorrei ringraziare:

- Matteo per essere stato un fantastico tutor, per avermi aiutata in ogni momento con la tesi, per avermi coinvolta in molte attività e per aver fatto gli "scienziati insieme";
- Marco per avermi accolta subito nell'ufficio, per avermi trasmesso un pizzico della sua immensa passione per questo lavoro e soprattutto per avermi dedicato tanto tempo nelle ripetizioni di elettronica. E' merito tuo se ho imparato a collegare un relè;
- Andrea, Gianpo, Eraldo e Max per avermi fatto sentire subito parte del gruppo e per avermi rallegrato le giornate. A voi va il merito di aver reso questi 8 mesi ancora più speciali;
- Chiara, "regina indiscussa delle presentazioni", per avermi accolta i primi giorni quando non conoscevo nessuno, per essermi stata vicina anche quando pensavo di non farcela più, per essere stata un'ottima spalla quando avevo bisogno di sfogarmi e soprattutto grazie per aver fatto nottata con me all'interno del Centro Sicurezza.
- Infine per ultimi, ma di certo non meno importanti, i miei ringraziamenti vanno a Linda, Lucia, Carlo, Giorgio e Pierangelo.

"BRAVI SIETE BRAVI PERO'"

Per concludere, un super ringraziamento speciale va alla mia madrina Silvana per essere sempre partecipe nella mia vita e anche in questo mio percorso.

BIBLIOGRAFIA

- An Industry Study on Electric Vehicle Adoption in Hong Kong (Hong Kong Productivity Council, October 2014);
- Lithium-Ion Batteries Hazard and Use Assessment (Fire Protection Research Foundation, July 2011);
- Guida alla ricarica dei veicoli elettrici (e-station store);
- Lithium Batteries Special Infographic Printable (labelmaster);
- Safety Companion 2018 (Carhs Empowering Engineers);
- Batterie Litio-ione: sulla catena degli eventi termici che può condurre a esplosione ed incendio (EMEA);
- Thermal runaway mechanism of lithium ion battery for electric vehicles: a review (Elsevier);
- Linee guida manutenzione sicura veicoli elettrici (CFSL);
- Automotive High-Voltage Interlock Reference Design (Texas Instruments);
- Raccomandazioni di sicurezza: RS23-proprietà e rischi dell'idrogeno (Lindle);
- Automotive Relays High Current Devices (TE Relay Products);
- Sicurezza passive degli autoveicoli (Luigi Piano, Biblioteca tecnica Hoepli);

SITOGRAFIA

- www.unece.org;
- www.euroncap.com;