

Politecnico di Torino

Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

Propulsione dei veicoli terrestri

A.a. 2023/2024



Analisi e studio dei processi legati alla realizzazione di un banco prova per motori elettrici

Relatori

Prof. Alessandro Vigliani

Prof. Enrico Galvagno

Tutor Aziendale

Ing. Grazia di Nola

Ing. Simone Rinaldi

Candidato

Antonio Pasqua di Bisceglie

Sommario

1. Introduzione	8
1.1 Dualismo tra motori a combustione interna ed elettrificazione del powertrain	8
2. Architettura powertrain ibrido	14
2.1 Ibrido serie	17
2.2 Ibrido parallelo	19
2.3 Duple drive	20
2.4 Duple shaft	20
2.5 Single shaft	20
3. Definizione modello di studio	22
3.1 Motore elettrico	23
3.2 Macchina elettrica	24
3.2.1 Nucleo	25
3.2.2 Avvolgimenti	25
3.2.3 Isolanti e strutture meccaniche	26
3.2.4 Tipologie di Motori Elettrici	26
3.3 Inverter	26
3.4 Batterie per veicoli elettrici	27
4. Test vari componenti	28
4.1 Macchina elettrica	28
4.1.1 Statore	28
4.1.2 Rotore	31
4.1.3 Prove dinamiche	34
4.2 Batteria	36
4.3 Assale Elettrico	46
5 Contesto normativo	49
5.1 Regolamentazione N 85	50
5.2 R100	51
5.3 R10	59
5.4 ISO 60243	67
Prova di aumento rapido della tensione	69
20 s step-by-step test	70
5.5 ISO 20653	71

6. Validazione componenti	73
6.1 APQP	74
6.2 PPAP	76
6.3 DV e PV	79
6.4 Design verification	79
6.5 Product validation	80
7 Definizione del testing plan	83
8. Ottimizzazione del testing plan	95
9. Conclusioni	99
Bibliografia	Errore. Il segnalibro non è definito.

Sommario Figure

Figure 1.1 number of electric vehicle	9
Figure 1.2 global passenger cars forecast.....	9
Figure 1.3 costo potenza/peso	10
Figure 1.4 rapporto peso potenza	11
Figure 1.5 confronto tipologie di energia	11
Figure 1.6 spazio occupato dalle fonti di energia	12
Figure 1.7 metodi di analisi.....	13
Figure 2.8 coppia veicolo elettrico.....	14
Figure 2.9 motore convenzionale	15
Figure 2.10 dispendio energia	15
Figure 2.11 livello carica	16
Figure 2.12 necessità di potenza veicoli	17
Figure 2.13 architettura ibrido serie.....	17
Figure 2.14 rapporto di ibridizzazione	18
Figure 2.15 architettura ibrido parallelo	19
Figure 2.16 tipologie ibrido non coassiale	21
Figure 2.17 livello ibridizzazione	22
Figure 3.18 architettura veicolo scelta	23
Figure 4.19 stator core test.....	29
Figure 4.20 andamento corrente.....	31
Figure 4.21 test caduta di tensione	32
Figure 4.22 vibrazioni ammissibili.....	33
Figure 4.23 circuito prove dinamiche	34
Figure 4.24 componenti prova.....	35
Figure 4.25 profilo test HPPC.....	37
Figure 4.26 profilo di test 2.....	38

Figure 4.27 profilo peak power test	39
Figure 4.28 profilo 2 peak power test	39
Figure 4.29 strumentazione	40
Figure 4.30 OCV test	41
Figure 4.31 strumentazione	41
Figure 4.32 strumentazione 2	42
Figure 4.33 profilo di test.....	44
Figure 4.34 calendar life test profilo.....	46
Figure 5.35 RESS.....	51
Figure 5.36 disposizione prova	52
Figure 5.37 disposizione prova 2	53
Figure 5.38 disposizione prova 3	53
Figure 5.39 disposizione pezzo per test urto.....	56
Figure 5.40 resistenza al fuoco esecuzione prova	57
Figure 5.41 resistenza al fuoco esecuzione prova fase b	58
Figure 5.42 resistenza al fuoco esecuzione prova fase c.....	58
Figure 5.43 resistenza al fuoco esecuzione prova fase d	59
Figure 5.44 configurazione prova emissioni elettromagnetiche veicolo	60
Figure 5.45 prova emissioni elettromagnetiche 2	61
Figure 5.46 prova emissioni da flicker-monofase.....	63
Figure 5.47 11 prova emissioni da flicker- trifase.....	63
Figure 5.48 prova dell'emissione di disturbi – collegamento rete elettrica.....	65
Figure 5.49 prova dell'emissione di disturbi – collegamento rete elettrica 2.....	65
Figure 5.50 disposizioni prova	68
Figure 5.51 disposizione pezzo per prova IP con getto d'acqua	73
Figure 6.52 esempio APQP timing plan	76
Figure 6.53 differenza fra PV e DV	82
Figure 6.54 differenza fra validation e verification	82
Figure 7.55 requisiti	87
Figure 7.56 testing plan design verification.....	87
Figure 7.57 focus prima parte testing plan.....	88
Figure 7.58 focus seconda parte testing plan.....	90
Figure 7.59 focus terza parte design verification	92
Figure 60 6 product validation.....	93
Figure 7.61 prima parte product validation.....	93
Figure 7.62 seconda parte product validation.....	94
Figure 7.63 terza parte product validation	95
Figure 8.64 ottimizzazione testing plan: test più gravosi	98
Figure 8.65 ottimizzazione testing plan: test consecutivi	98
Figure 8.66 ottimizzazione testing plan: test consecutivi 2	99

Indice delle tabelle

Tabella 4.1 HPPC	37
Tabella 4.2 valori test.....	44
Tabella 4.3 valori step profilo calendar life test	46
Tabella 5.4 correlazione frequenza accelerazione	55
Tabella 5.5 parametri analisi spettro	62
Tabella 5.6 parametri rilevatore scanner	62
Tabella 5.7 max consentito di armoniche.....	64
Tabella 5.8 analizzatore di spettro.....	66
Tabella 5.9 ricevitore scanner.....	66
Tabella 5.10 massimi disturbi su linee AC e CC	67
Tabella 5.11 test step by step	70
Tabella 5.12 elementi codice IP	72

1. Introduzione

Negli ultimi anni, l'industria automobilistica ha subito una profonda trasformazione, guidata dalle preoccupazioni ambientali, dai progressi tecnologici e dal cambiamento delle preferenze dei consumatori. Uno degli sviluppi più importanti di questa trasformazione è stata l'elettrificazione dei veicoli.

L'elettrificazione dei veicoli, che comprende i veicoli ibridi elettrici (HEV), i veicoli ibridi elettrici plug-in (PHEV), i veicoli elettrici a batteria (BEV) e i veicoli elettrici a celle a combustibile (FCEV), rappresenta un cambiamento di paradigma che promette di rimodellare il modo in cui pensiamo ai trasporti.

L'urgente necessità di ridurre le emissioni di gas serra, la dipendenza dai combustibili fossili e l'impatto ambientale dei sistemi di trasporto ha spinto l'elettrificazione dei veicoli in prima linea nell'ingegneria automobilistica. Questo cambiamento di paradigma non si limita alla catena cinematica, ma si estende all'intera architettura del veicolo, comprendendo l'accumulo di energia, i sistemi di propulsione, le strategie di controllo e lo sviluppo delle infrastrutture.

Questa tesi di laurea magistrale in Ingegneria meccanica intraprende un'esplorazione completa dell'elettrificazione dei veicoli, approfondendo gli aspetti tecnici, economici e ambientali che definiscono questo percorso di trasformazione. Attraverso un'analisi rigorosa, soluzioni ingegneristiche innovative e una comprensione olistica delle sfide e delle opportunità, questa tesi cerca di contribuire al corpo di conoscenze nel campo dell'elettrificazione dei veicoli.

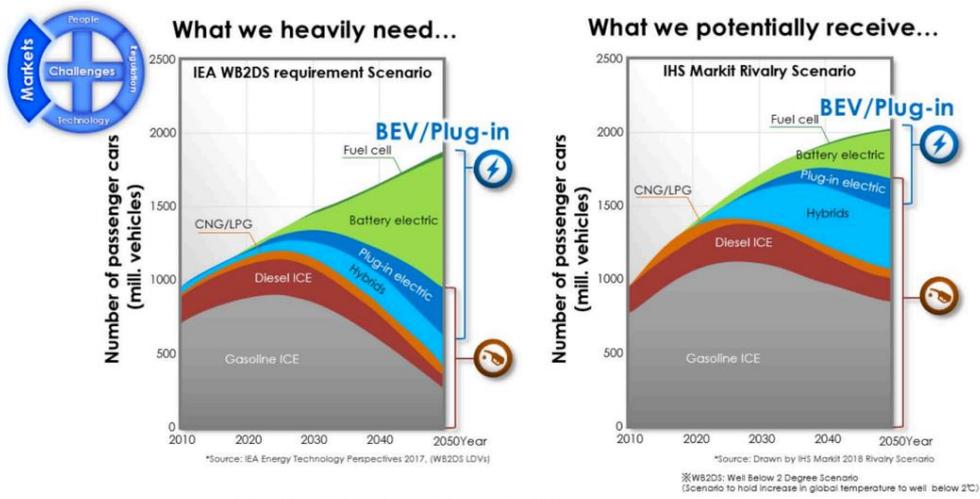
Gli obiettivi di questa ricerca sono molteplici. In primo luogo, mira a chiarire i principi alla base delle tecnologie dei veicoli elettrici, facendo luce sulle diverse architetture dei motopropulsori, sulle soluzioni di stoccaggio dell'energia e sulle strategie di controllo che sono alla base di questa rivoluzione. In secondo luogo, cerca di valutare le prestazioni e l'efficienza dei veicoli elettrici rispetto alle loro controparti con motore a combustione interna, considerando fattori quali l'autonomia, l'infrastruttura di ricarica e l'impatto ambientale. In terzo luogo, cerca di proporre nuove soluzioni ingegneristiche e ottimizzazioni per migliorare l'integrazione, le prestazioni e la sostenibilità dei veicoli elettrificati.

1.1 Dualismo tra motori a combustione interna ed elettrificazione del powertrain

Il dualismo tra motori a combustione interna (ICE) e motori elettrici rappresenta una dicotomia fondamentale nel cuore dell'evoluzione dell'industria automobilistica. Da un lato, abbiamo la tecnologia consolidata e centenaria dei motori elettrici, noti per la loro alta densità energetica e l'ampia disponibilità di combustibili fossili. Dall'altro lato, abbiamo il futuro emergente ed elettrificato rappresentato dai motori elettrici, celebri per la loro efficienza, il rispetto dell'ambiente e il potenziale di ridefinizione dei trasporti. Questo dualismo racchiude un momento cruciale nella storia del settore, in cui il vecchio e il nuovo

coesistono, offrendo ai consumatori la possibilità di scegliere tra tradizione e innovazione. Mentre i veicoli elettrici continuano a dominare le strade, i motori elettrici stanno rapidamente guadagnando terreno, rimodellando non solo i veicoli stessi, ma anche le infrastrutture, le fonti di energia e i comportamenti dei consumatori associati alla mobilità. Questo dualismo ci costringe a confrontarci con questioni di sostenibilità, emissioni, utilizzo delle risorse e con le più ampie implicazioni sociali ed economiche di questo braccio di ferro tecnologico. In definitiva, è un dualismo che sottolinea i profondi cambiamenti in atto nel panorama automobilistico mentre navighiamo verso un futuro più sostenibile ed elettrificato.

D'altro canto, è necessario verificare la reale futuribilità del passaggio alla totalità di veicoli elettrici.



3rd International FEV Conference "Zero CO₂ Mobility" Honda R&D Europe GmbH. All Rights Reserved

Figure 1.1 number of electric vehicle

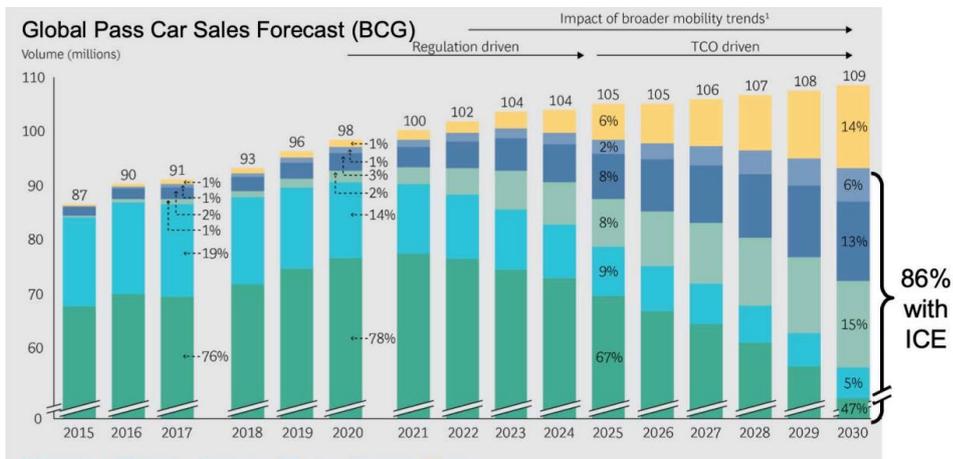


Figure 1.2 global passenger cars forecast

Osservando delle stime fatte da enti o case automobilistiche, possiamo osservare come sia complesso, in un prossimo futuro, avere una concentrazione di veicoli puramente elettrici, tale da soverchiare il mercato dei combustibili fossili. Dobbiamo quindi interrogarci sulla fattibilità di una transizione così rapida. Fino ad oggi la propulsione dei veicoli terrestri è stata affidata, ad eccezione dei veicoli su rotaia, a motori a combustione interna, in ragione del loro favorevole rapporto peso-potenza della loro semplicità e compattezza e del loro ridotto costo di fabbricazione ed esercizio.

RAPPORTO POTENZA/PESO				
MACCHINE ELETTRICHE E FUEL CELLS				
VEICOLO	PESO (KG)	POTENZA (KW)	RAPPORTO PESO/POTENZA (KW/KG)	TIPO
TOYOTA PRIUS	36.3	50	1.37	BRUSHLESS AC MOTOR
HONDA FCX	43	43	1	PEFMC
MOTORE TERMICO				
CHEVROLET KODIAK	378	246	0.65	6.6L DIESEL ENGINE
MAZDA RX-8	123	184	1.5	1.3 WANKEL ENGINE
WILLIAM F1 RACING	95	690	7.5	BMW V10

Figure 1.3 costo potenza/peso

Osservando la tabella sovrastante, possiamo notare come il rapporto peso-potenza di un veicolo elettrico, è paragonabile con quello di un veicolo convenzionale; sembra quindi venir meno uno dei vantaggi fondamentali dei motori convenzionali rispetto all'elettrico. Effettivamente, ciò che realmente crea divario fra le due tipologie di propulsione, è lo stoccaggio dell'energia.

Battery type	Volts	Temp.	Energy-to-weight ratio	Power-to-weight ratio
Panasonic CGA103450A 1.95Ah LiCoO ₂ Lithium-ion battery ^[49]	3.7 V	20 °C	666 kJ/kg C/5.3 to 2.75 V	35 W/kg C/5.3
		0 °C	633 kJ/kg C/1 to 2.75 V	176 W/kg C/1
		20 °C	655 kJ/kg C/1 to 2.75 V	182 W/kg C/1
		20 °C	641 kJ/kg 2C to 2.75 V	356 W/kg 2C
Electric Fuel Battery Corp. UUV 120Ah Zinc-air fuel cell ^[60]			630 kJ/kg	500 W/kg C/1
Sion Power 2.5Ah Li-S Lithium-ion battery ^[51]	2.15 V	25 °C	1260 kJ/kg	70 W/kg C/5
Maxell / Yuasa / AIST Nickel-metal hydride lab prototype ^[62]		25 °C	1209 kJ/kg	672 W/kg 2C
		45 °C		980 W/kg
Toshiba SCIB cell 4.2Ah Li ₂ TiO ₃ Lithium-ion battery ^{[53][54]}	2.4 V	25 °C	242 kJ/kg	67.2 W/kg C/1
			218 kJ/kg	4000 W/kg 12C
Ionix Power Systems LiMn ₂ O ₄ Lithium-ion battery lab model ^[65]		lab	270 kJ/kg	1700 W/kg
		lab	29 kJ/kg	4900 W/kg
A123 Systems 26650 Cell 2.3Ah LiFePO ₄ Lithium ion battery ^{[66][67]}	3.3 V	-20 °C	347 kJ/kg C/1 to 2V	108 W/kg C/1
		0 °C	371 kJ/kg C/1 to 2 V	108 W/kg C/1
		25 °C	390 kJ/kg C/1 to 2 V	108 W/kg C/1
		25 °C	390 kJ/kg 27C to 2 V	3300 W/kg 27C
		25 °C	57 kJ/kg 32C to 2 V	5657 W/kg 32C
Saft VL 6Ah Lithium-ion battery ^[58]	3.65 V	-20 °C	154 kJ/kg 30C to 2.5 V	41.4 W/kg 30C (180 A)
			182 kJ/kg 1C to 2.5 V	67.4 W/kg 1C
			232 kJ/kg 1C to 2.5 V	64.4 W/kg 1C
		25 °C	233 kJ/kg 58.3C to 2.5 V	3757 W/kg 58.3C (350A)
			34 kJ/kg 267C to 2.5 V	17176 W/kg 267C (1.6kA)
			4.29 kJ/kg 333C to 2.5 V	21370 W/kg 333C (2kA)

Figure 1.4 rapporto peso potenza

Come si può notare dalla tabella sovrastante, i veicoli con motore a combustione interna, che utilizzano combustibili liquidi, sono nettamente avvantaggiati grazie al miglior rapporto peso potenza dovuto al minor peso del combustibile. Dal grafico sottostante, possiamo comprendere tutti i problemi legati alle fonti di energia che non siano liquide.

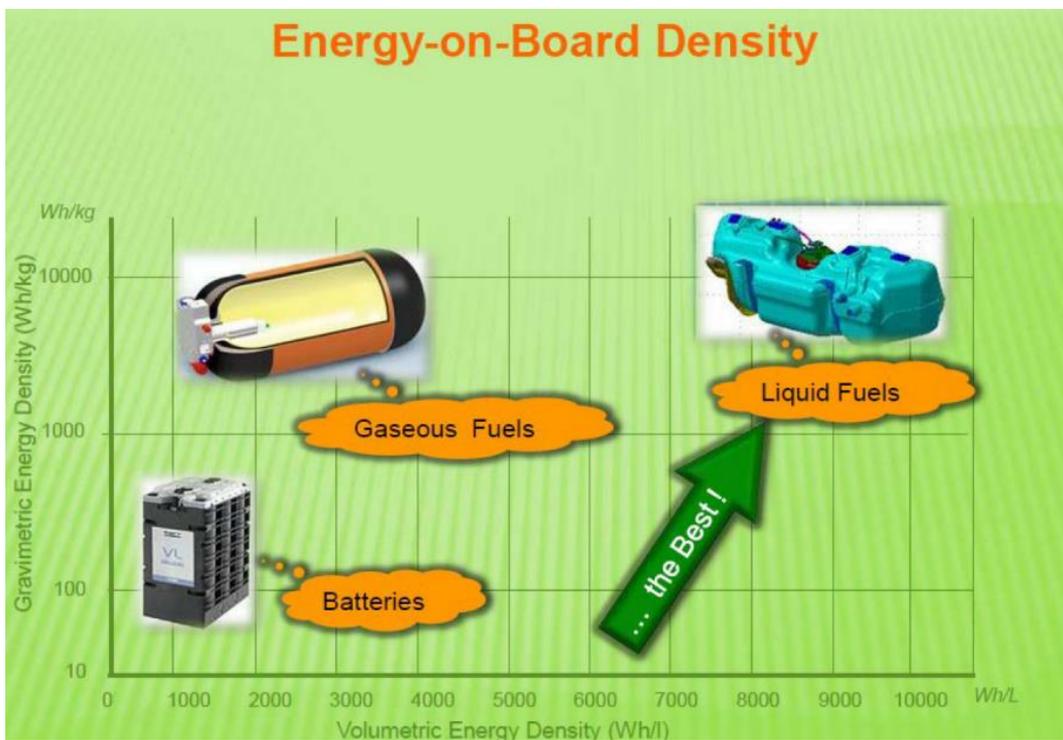


Figure 1.5 confronto tipologie di energia

- **Combustibili gassosi:** ogni kg di energia combustibile permette di immagazzinare tanta energia, ma il volume occupato è molto alto;
- **Batterie:** ogni Kg di batteria occupa un volume ridotto, ma permette di immagazzinare poca energia ed è molto pesante;
- **Combustibile liquido:** soluzione migliore, con densità di energia massica di riferimento 10000 Wh/Kg;

Si potrebbe anche pensare di condurre un confronto, fra le diverse soluzioni, a parità di autonomia del veicolo;

Nel seguente grafico, sono riportati i risultati di un'analisi condotta per valutare il peso della fonte di energia, necessario per fare 500 km.

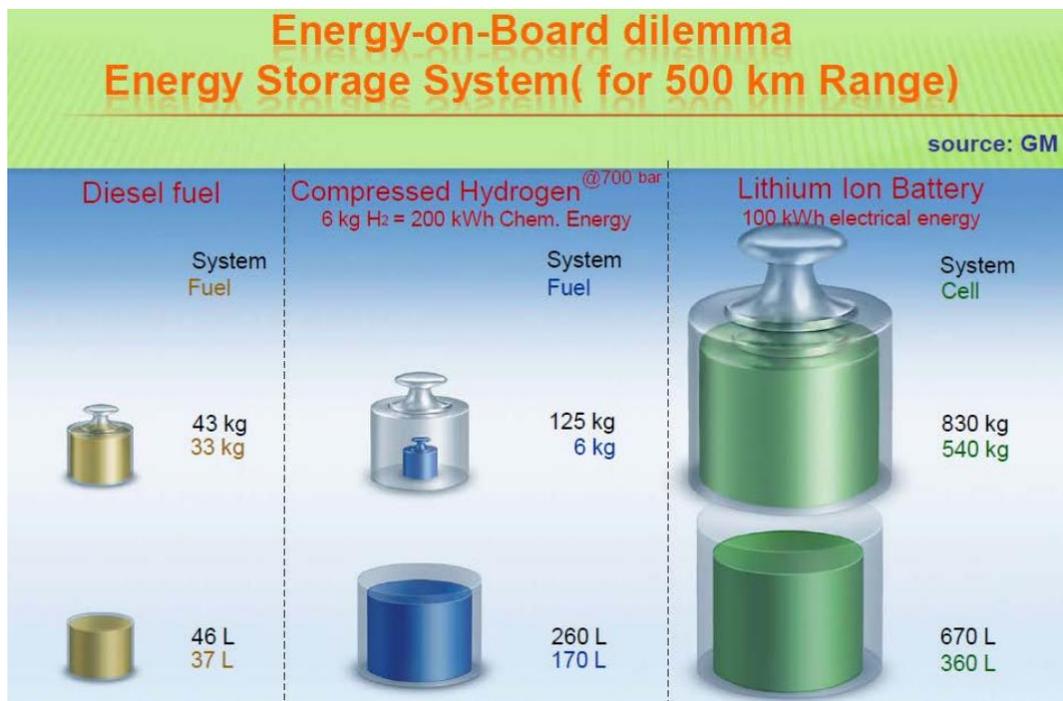


Figure 1.6 spazio occupato dalle fonti di energia

I risultati evidenziano come, a parità di Kilometri svolti dalla vettura, il sistema fuel cell necessita di un peso 7 volte maggiore rispetto al sistema tradizionale, mentre una batteria a litio necessita addirittura di un peso 20 volte maggiore. Ecco spiegato qual è il reale punto di forza del power train convenzionale. Inoltre, non è possibile, per un veicolo elettrico, apportare un contemporaneo miglioramento di densità di potenza e di densità di energia. In parallelo va anche considerato il costo maggiore di tutto il battery management system (BMS).

In conclusione, i motori a combustione interna in grado di utilizzare combustibili liquidi risultano pertanto più adatti per la trazione terrestre rispetto a sistemi di propulsione elettrica che debbano ricorrere per lo stoccaggio dell'energia a bordo ad accumulatori elettrochimici.

Per contro l'utilizzo di combustibili liquidi, generalmente idrocarburi di origine fossili, pone problemi legati a:

- Dipendenza da combustibili fossili (energie non rinnovabili)
- Produzione di CO2 (effetto serra)
- Produzione di sostanze inquinanti quali CO, HC, NOx, PM

Inoltre, i combustibili liquidi portano delle limitazioni nella scelta della filiera energetica con cui si intende alimentare il sistema di trasporto.

La propulsione elettrica permette l'introduzione di una serie di energie rinnovabili, quali eolico, idroelettrico e solare, che si adattano meglio a questo tipo di processi piuttosto che a quelli legati ad un powertrain convenzionale. Questa differenza tra i due tipi di filiera energetica, aumenta il divario dal punto di vista emissivo, in quanto l'utilizzo di energie rinnovabili, rende meno impattanti i processi legati all'elettrificazione dei veicoli.

Però un confronto corretto tra sistemi di propulsione tradizionali e propulsione elettrica per quanto riguarda la riduzione delle emissioni, non può avvenire considerando solo le emissioni del motore (analisi Tank To Wheel, TTW). Infatti, è più corretto prendere un'analisi che consideri l'intero processo di produzione dell'energia (analisi Well To Wheel, WTW) o, meglio, l'intero ciclo di vita del veicolo e del sistema di propulsione (analisi LCA, Life Cycle Assessment), in modo da avere una visione completa dei processi.

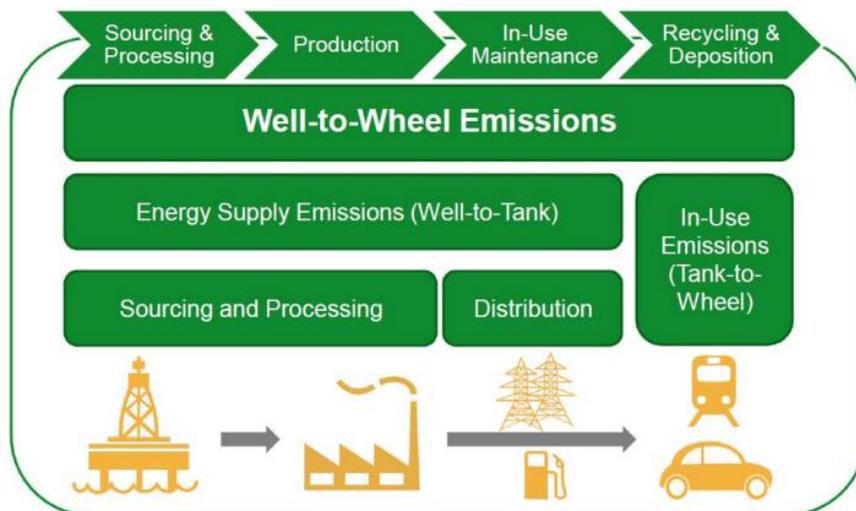


Figure 1.7 metodi di analisi

La totale elettrificazione del powertrain è destinata ad avere una penetrazione limitata nel prossimo futuro a causa dei fattori limitanti rappresentati dai costi delle batterie e dalla mancanza di una rete di infrastrutture adeguata ad una diffusione più ampia dei veicoli.

Una soluzione di transizione e più immediata può essere il powertrain ibrido. Questa è una scelta più cauta, che permette di addentrarsi in uno scenario di mobilità innovativa in maniera più graduale, in modo da modellare il mercato e facilitare, in futuro, una transizione all'elettrificazione, meno drastica e più consapevole.

2. Architettura powertrain ibrido

L'elettrico è una soluzione di mobilità interessante, per tre motivi principali:

- Non producono, localmente, inquinanti. Anche se, come detto in precedenza, considerando l'intera filiera produttiva, questo concetto non è corretto;
- Efficienza di conversione dell'energia molto elevata e possibilità di utilizzarle sia come motore che come generatore per il recupero dell'energia.
- Coppia massima erogabile anche a velocità basse.

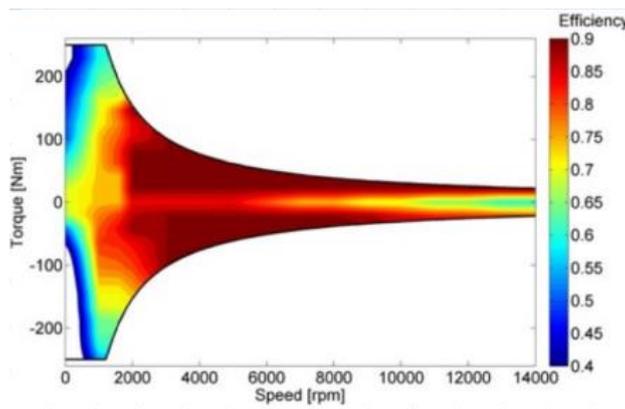


Figure 2.8 coppia veicolo elettrico

D'altro canto, presenta anche delle evidenti criticità che ne rendono complessa la diffusione immediata, come:

- Costo elevato;
- Lunghi tempi di ricarica;
- Autonomia non paragonabile con un veicolo convenzionale;

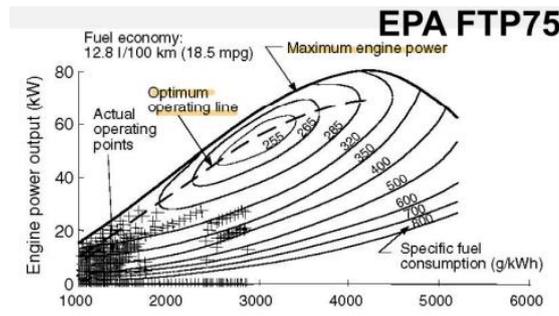


Figure 2.9 motore convenzionale

Nel grafico sovrastante, possiamo osservare il piano quotato di un motore convenzionale, in cui sono presenti dei parametri fondamentali:

- Optimum operating line (OOL);
- Maximum engine power;
- Curve iso consumo specifico (g/Kwh);

Le crocette rappresentano invece, i reali punti di funzionamento di un motore convenzionale, su ciclo di omologazione americano (FTP75).

Tutti i punti di funzionamento sono molto lontani da OOL; con l'ibrido si cerca di ovviare a questo problema.

Nei punti della mappa motore più distanti dalla massima efficienza, possiamo far andare il veicolo in full electric; inoltre possiamo, idealmente, posizionarci sempre lungo la linea a massima efficienza immagazzinando con la batteria il delta di coppia.

Un'altra metodologia applicabile per il recupero dell'energia è la frenata rigenerativa. Ricarico la batteria, sfruttando l'energia dissipata durante la frenata, che rappresenta, in un normale ciclo di funzionamento urbano, una grossa fetta dell'energia totale persa.

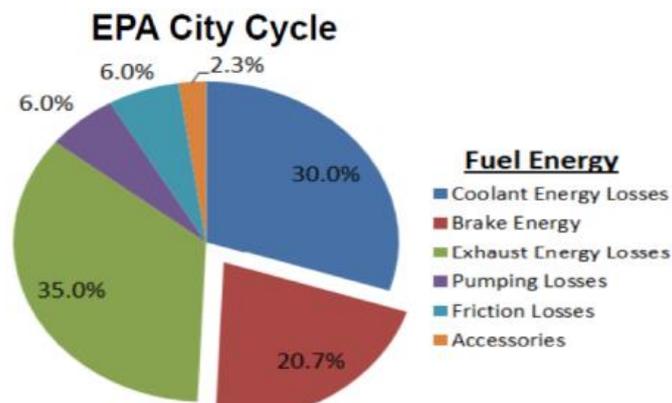


Figure 2.10 dispendio energia

L'obiettivo di HEV (hybrid electric vehicle) è quello di combinare le caratteristiche desiderabili dei veicoli elettrici con la capacità di autonomia dei veicoli convenzionali, al fine di offrire agli automobilisti la stessa autonomia dei motori a combustione interna convenzionali.

In parallelo a questo si cerca di abbinare anche i vantaggi ambientali dei veicoli elettrici per le brevi distanze.

Esistono, inoltre, diverse architetture di veicolo ibrido quali:

- Ibrido serie;
- Ibrido parallelo;
- Ibrido complesso;

Prima di parlare delle varie tipologie di architettura, è importante soffermarsi sulla differenziazione fra ibrido e ibrido plug-in.

La differenza fra le due, è il metodo di ricarica; l'ibrido plug-in permette di ricaricare la batteria dall'esterno, tramite la rete.

Un'altra differenza è la tipologia di ciclo di carica-scarica del veicolo; il veicolo plug-in lavora in modalità charge depleting, ovvero la batteria parte da un livello di carica massima 80%, e non viene ricaricata finché non raggiunge un livello di carica minima.

Al contrario, un ibrido convenzionale, lavora in modalità charge sustaining, ovvero il livello di carica oscilla sempre attorno ad un valore medio.

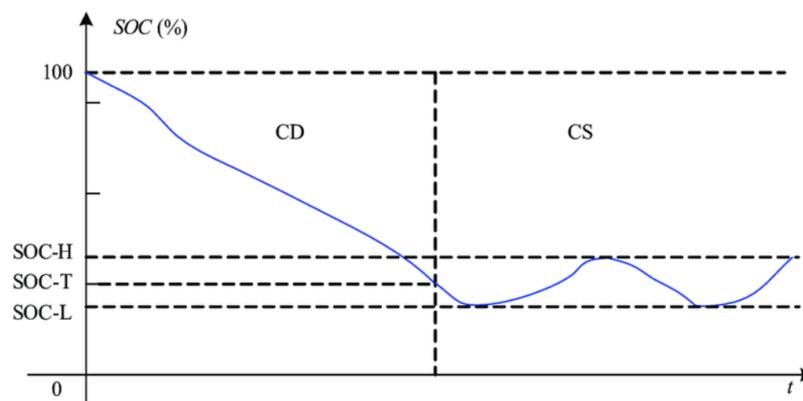


Figure 2.11 livello carica

Questa differenza sulla modalità del processo di carica e scarica, porta anche delle differenze sulle dimensioni della batteria dei veicoli.

Infatti, un veicolo non plug-in, presenta generalmente una batteria più piccola, in quanto non deve garantire una lunga percorrenza in elettrico.

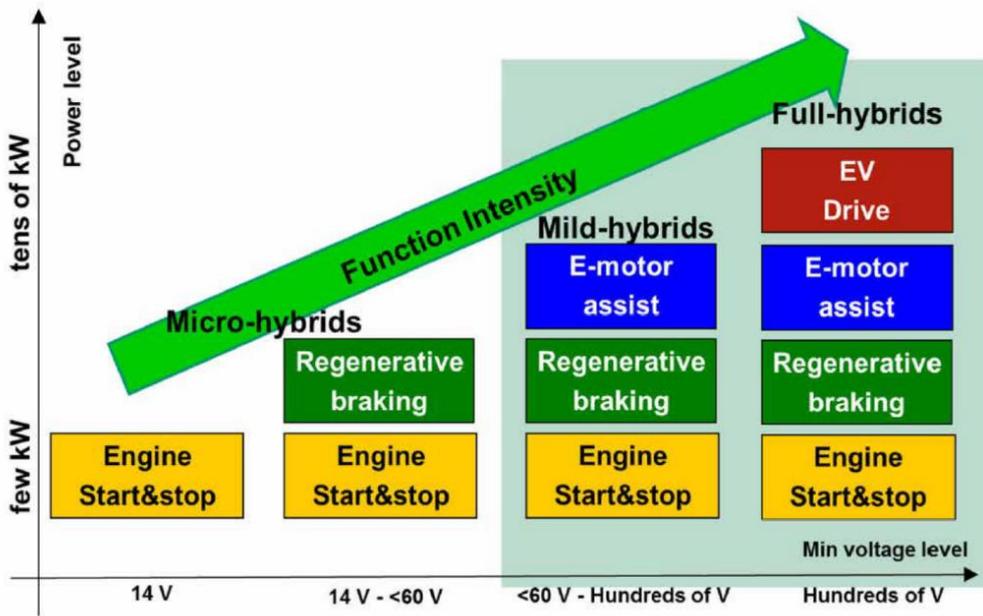


Figure 2.12 necessità di potenza veicoli

2.1 Ibrido serie

Nel caso di una architettura di tipo serie, il collegamento tra motore elettrico e termico è di tipo elettrico.

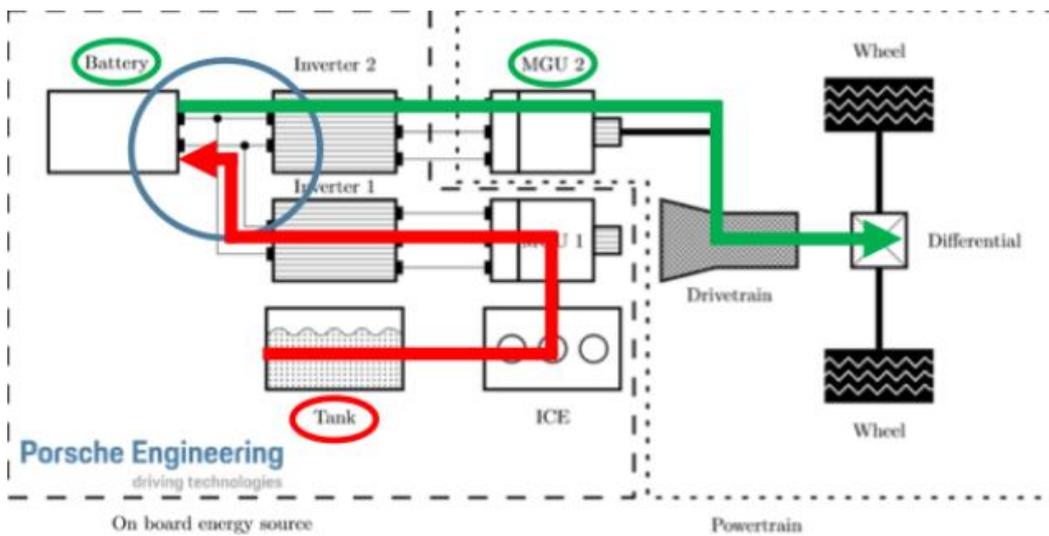


Figure 2.13 architettura ibrido serie

Come si può notare dall'immagine sovrastante, l'unico motore collegato direttamente alle ruote è quello elettrico.

Il motore termico, invece, è collegato meccanicamente ad un secondo motore elettrico, che però non è collegato alle ruote e non può fornire energia; quest'ultimo funziona solo da generatore producendo energia da immagazzinare nella batteria o da mandare direttamente alla macchina elettrica.

Il vantaggio di questa architettura è che, essendo il motore termico scollegato dalle ruote, può lavorare sempre nel punto di massima efficienza.

Però il motore termico deve anche assicurare un normale funzionamento del veicolo, nel momento in cui la batteria è scarica; per questo motivo non può essere tanto piccolo, perché va considerato come unica sorgente di trazione. Solitamente, soluzioni del genere, vengono adottate per un utilizzo urbano in configurazione plug-in.

Questa configurazione presenta però anche degli svantaggi; tra energia chimica del termico e potenza fornita alle ruote, si interpongono varie efficienze.

Si ha una doppia conversione dell'energia:

- Meccanica ICE – elettrica generatore/motore elettrico;
- Elettrica motore elettrico – meccanica alle ruote;

Possiamo introdurre il concetto di grado di ibridizzazione; questo dipende dalla potenza dell'APU (Auxiliary power unit: ovvero insieme di motore termico, generatore elettrico e power unit).

A seconda del livello di potenza dell'APU, rapportata al livello di potenza del motore elettrico, si ottengono diversi livelli di rapporto di ibridizzazione.

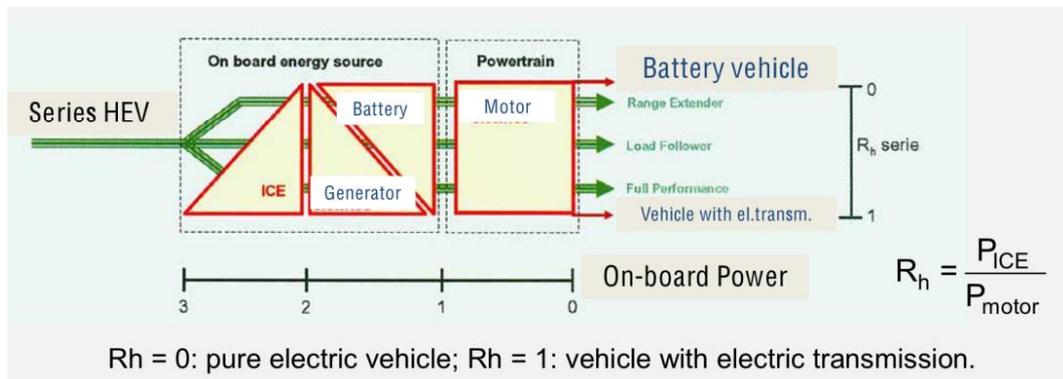


Figure 2.14 rapporto di ibridazione

- **Rh = 0**: Non ho motore termico, ho un veicolo puramente elettrico;
- **Rh = 1**: Non ho la batteria, ma il motore termico aziona un generatore che alimenta l'elettrico;

Quest'ultima soluzione è un caso limite che non sembra avere molto senso, in quanto introduciamo delle conversioni di energia, che comportano delle efficienze, inutilmente.

Tutto ciò è vero, infatti questa soluzione potrebbe essere adottata solo nel caso in cui si abbiano esigenze specifiche di packaging; situazioni in cui non si ha spazio per una trasmissione meccanica, allora se ne adotta una elettrica che non occupa spazio accettando delle perdite.

Al giorno d'oggi, l'ibrido di tipo serie viene usato solo come "Range Extender" in modo da ridurre la "driver anxiety".

2.2 Ibrido parallelo

Nel caso di ibrido parallelo, il collegamento fra motore termico e motore elettrico è di tipo meccanico; inoltre, entrambi sono collegati meccanicamente alle ruote mediante la trasmissione.

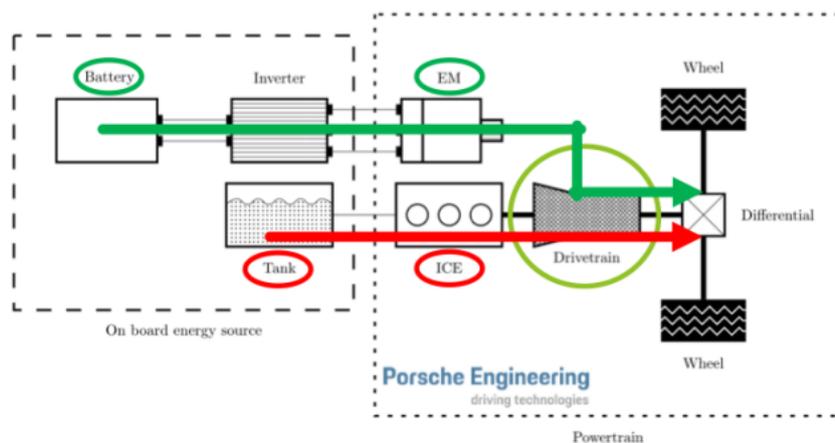


Figure 2.15 architettura ibrido parallelo

Poiché sia il termico che l'elettrico possono fornire energia meccanica alle ruote, si hanno due flussi di energia in parallelo.

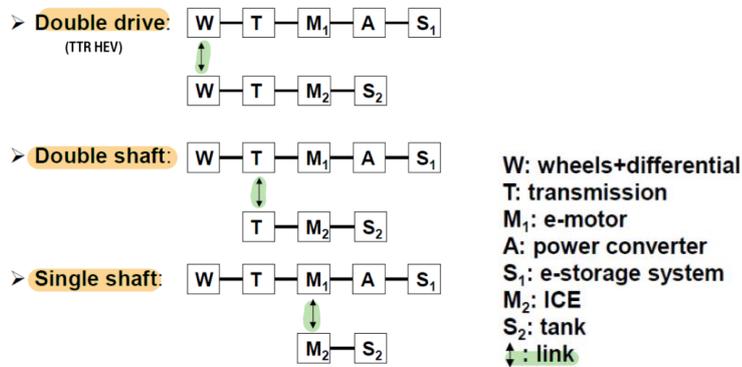
Questo permette di avere una macchina elettrica di dimensioni minori, il che comporta dei vantaggi:

- Possibilità di downsizing migliorando l'efficienza;
- Riduzione degli ingombri;

Un altro vantaggio del parallelo è che non è necessaria la multi-conversione di potenza, quindi ho efficienze maggiori.

D'altra parte, il collegamento meccanico del motore termico, non gli permette di lavorare sempre al massimo di efficienza e inoltre ho una maggiore complessità nel controllo motore.

Esistono tre diverse tipologie di ibrido parallelo:



2.3 Double drive

Si ha una doppia driveline, e solitamente il collegamento fra le due avviene a livello delle ruote.

Il motore termico è montato sull'assale anteriore e l'elettrico sull'assale posteriore; la strada funziona da collegamento meccanico e il veicolo è 4VD (quattro ruote motrici).

2.4 Double shaft

Il collegamento avviene a valle della trasmissione. Questa soluzione non viene utilizzata perché comporta l'utilizzo di due trasmissioni, e quindi aumenta la complessità dell'architettura.

2.5 Single shaft

La connessione avviene a livello dei motori, ovvero essi sono collegati da un albero con relativa frizione o tramite una cinghia.

Questa soluzione è la più utilizzata nei veicoli tipologia ibrido parallelo e merita un approfondimento.

Si possono avere due tipologie di single shaft:

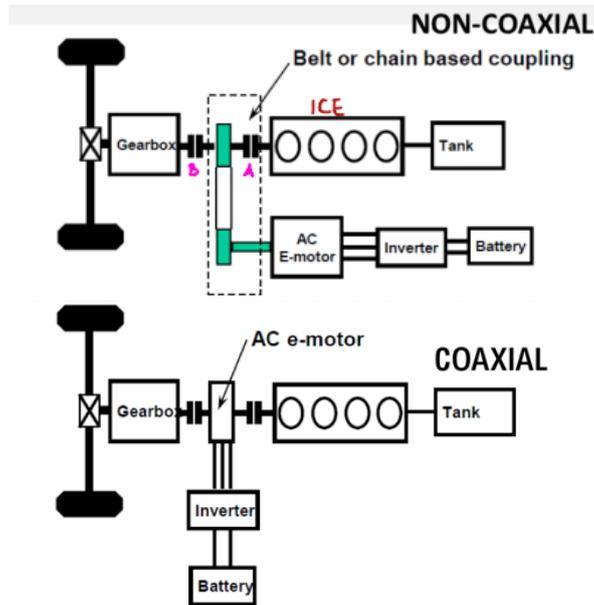


Figure 2.16 tipologie ibrido non coassiale

Non-coassiale

Si ha un collegamento meccanico tra motore termico ed elettrico, ma questi si trovano su due assali differenti; di conseguenza il collegamento avviene tramite catena o cinghia. Rispetto ad una cinghia motore-alternatore utilizzata nei veicoli tradizionali, si deve far molta attenzione al tensionamento poiché bisogna avere un flusso di potenza in entrambe le direzioni.

O si usano cinghie molto tensionate, perdendo in efficienza, oppure sistemi di tensionamento intelligenti.

Dalla figura possiamo notare la presenza di due frizioni, bisogna capirne l'utilità. Immaginando di voler lavorare in puro elettrico, si può pensare di aprire la frizione A, a valle del motore termico, in modo da avere un flusso di potenza batteria-motore elettrico-ruote senza trascinare il motore termico e riducendo le perdite.

Però, in un sistema del genere dovendo trasferire potenza tramite una cinghia, si hanno dei limiti sulla potenza massima. Solitamente la taglia del motore elettrico è sempre contenuta (circa 10 Kw).

Scollegando A si possono ottenere anche ulteriori vantaggi, quali:

- Frenata rigenerativa efficiente perché non ho influenza del motore termico;
- Partenza da fermo in elettrico;

La frizione B è presente nel caso in cui si voglia ricaricare la batteria del veicolo con il motore termico a macchina ferma.

Coassiale

Tutto ciò che può essere realizzato in modo non-coassiale, lo si può fare in maniera più efficiente con un'architettura coassiale.

La macchina elettrica è inserita sullo stesso assale della termica; avendo un collegamento tramite albero, è possibile avere macchine elettriche di taglia maggiore garantendo una marcia in puro elettrico con campo di velocità più ampio.

Anche nel caso di ibrido parallelo, è possibile definire un grado di ibridizzazione R_h ; questo è definito sempre come il rapporto tra la potenza del motore elettrico, e la potenza totale del powertrain.

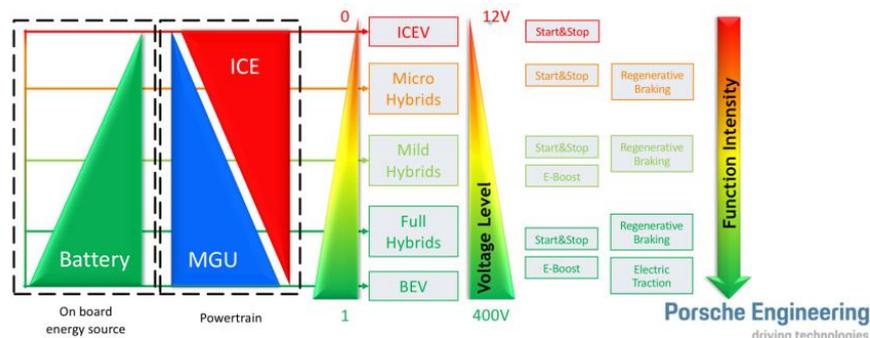


Figure 2.17 livello ibridizzazione

3. Definizione modello di studio

Per poter successivamente soffermarci sulla fase di processo di tutti i componenti elettrici, è stato necessario partire da un modello di studio di riferimento.

In maniera concorde con tutta l'analisi introduttiva, si è scelto di prendere in considerazione una configurazione ibrida.

Questo perché, come abbiamo detto precedentemente, si tratta di una architettura con un background di mercato più solido e molto più attuale.

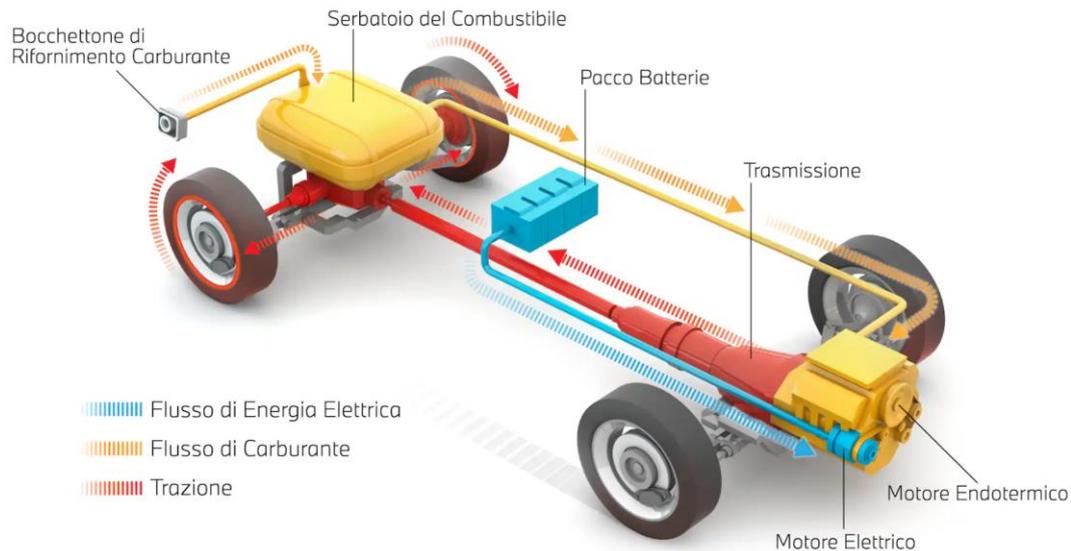


Figure 3.18 architettura veicolo scelta

L'immagine soprastante si riferisce ad una configurazione plug-in hybrid, attualmente sul mercato, di jeep.

I componenti principali che compongono la parte elettrica di una architettura di questo tipo sono:

- Batteria;
- Inverter;
- Motore elettrico;
- Trasmissione;

Analizziamo le caratteristiche di questi componenti, in modo da farne un quadro generale, per poi passare a tutti i processi legati ad essi.

3.1 Motore elettrico

Un motore elettrico è una particolare macchina elettrica, che trasforma l'energia elettrica in ingresso, applicata ai morsetti di alimentazione, in energia meccanica in uscita resa disponibile sull'asse del motore. Questa tipologia di macchina elettrica è fondata, analogamente a quanto accade nel generatore elettrico, sulle forze elettromagnetiche che intervengono nell'interazione tra un sistema di correnti e un campo magnetico.

È conveniente, prima di parlare delle varie tipologie di motori elettrici, fare un piccolo approfondimento sulla macchina elettrica, in modo da spiegarne il funzionamento e le caratteristiche.

3.2 Macchina elettrica

In elettrotecnica una macchina elettrica è una macchina capace di convertire una forma di energia elettrica in un'altra forma di energia, o viceversa. Al limite, può anche convertire energia elettrica di un tipo in energia elettrica di un altro tipo.

Per macchina elettrica si intende un dispositivo reversibile il cui funzionamento è basato sulle leggi:

- Dell'induzione elettromagnetica;
- Delle azioni elettrodinamiche;

Quindi la macchina elettrica è quel dispositivo in cui le trasformazioni energetiche coinvolgono, nello stato iniziale e in quello finale, l'energia elettrica e l'energia meccanica, oppure la sola energia elettrica.

Nella tabella seguente possiamo vedere una classificazione delle macchine elettriche e le applicazioni:

Macchine	Rotanti		Statiche
Per corrente alternata monofase e trifase	sincrone	generatori	Trasformatore; Regolatori ad induzione; Variatori di fase; Ciclo convertitori
		motori	
		compensatori	
	asincrone	motori	
		generatori	
		compensatori	
a commutazione	motori monofase in serie		
	convertitori di frequenza		
Per corrente continua	a commutazione	generatori	chopper
		motori	
		compensatori	
Per corrente continua e alternata	a commutazione	motori universali	raddrizzatori
		convertitrici	inverter

Tabella 3.1 tipologie macchine elettriche

Una macchina elettrica comprende le seguenti parti fondamentali:

- struttura magnetica, o nucleo, in materiale ferromagnetico
- avvolgimenti
- isolamenti
- strutture meccaniche

Il nucleo e gli avvolgimenti costituiscono la parte attiva, mentre le strutture metalliche sono dette massa e normalmente non sono in tensione.

3.2.1 Nucleo

I nuclei delle macchine elettriche sono realizzati mediante materiali ferromagnetici che presentano una permeabilità magnetica relativa molto maggiore dell'unità. Questi materiali presentano il fenomeno della magnetizzazione residua e sono caratterizzati mediante le curve di magnetizzazione; si dividono in due gruppi:

- **ferromagnetici dolci:** vengono impiegati quando interessa limitare al massimo le correnti necessarie per produrre e controllare i flussi di induzione
- **ferromagnetici duri:** sono caratterizzati da elevati valori della induzione residua e vengono impiegati quando interessa realizzare flussi magnetici costanti nel tempo e pertanto conviene ricorrere al magnetismo permanente che a circuiti percorsi da corrente

Il nucleo, essendo presente un campo magnetico variabile nel tempo, è sede di correnti parassite che sono dannose perché associate a fenomeni dissipativi per effetto Joule. Altro problema che conduce a perdite nel nucleo è l'isteresi magnetica. In molte applicazioni, per porre rimedio a queste perdite, si provvede a costruire il nucleo mediante l'affiancamento di lamierini di materiale ferromagnetico, impacchettati e tenuti mediante viti passanti opportunamente isolate.

3.2.2 Avvolgimenti

In una macchina elettrica gli avvolgimenti sono realizzati mediante opportune interconnessioni di bobine induttive. Possono essere avvolgimenti induttori e indotti, ed essere posizionati indifferentemente su statore-rotore e viceversa. Si fa eccezione per i trasformatori in cui gli avvolgimenti sono detti primario e secondario. Dal punto di vista costruttivo possono essere concentrati (poli salienti) e distribuiti (a gabbia)

3.2.3 Isolanti e strutture meccaniche

I materiali isolanti hanno la funzione di mantenere separati elettricamente conduttori in tensione. Devono presentare alta rigidità dielettrica, buona resistenza alla temperatura e stabilità in funzione della tensione a cui sono sottoposti. Sono tutte quelle parti che non sono in tensione ma che hanno funzione strutturale, come alberi, cuscinetti e carcasse. Per la realizzazione di queste parti si utilizzano leghe di ferro con alta concentrazione di carbonio, ossia ghisa grigia per la costruzione delle carcasse, e ghisa malleabile per i pezzi di piccolo spessore e di forma complessa. Per usi particolari con specifiche più spinte vengono impiegati acciai speciali.

3.2.4 Tipologie di Motori Elettrici

Esistono varie tipologie di motori elettrici, a causa della variabilità delle sue caratteristiche di funzionamento.

Nel settore automobilistico, attualmente la maggior parte dei motori elettrici sono dei motori elettrici sincroni.

Il motore sincrono è un tipo di motore elettrico in corrente alternata la cui velocità di rotazione è sincronizzata con la frequenza elettrica. Comunemente si tratta di motori con alimentazione trifase, ma i motori sincroni di piccola potenza sono spesso alimentati con la comune tensione monofase disponibile nelle abitazioni. Il motore sincrono è anche detto motore vettoriale o motore Rowan.

La stessa macchina elettrica che funziona da motore sincrono può essere utilizzata anche come generatore elettrico, e in questo caso è detto alternatore; la maggioranza dei generatori elettrici è in effetti di questo tipo.

Non viene quasi mai usato con alimentazione diretta, ma accoppiato con un inverter, è il metodo più usato per azionare carichi variabili.

3.3 Inverter

In elettronica un inverter o invertitore è un apparato elettronico di ingresso/uscita in grado di convertire una corrente continua in ingresso in una corrente alternata in uscita e di variarne i parametri di ampiezza e frequenza. Esso è funzionalmente il dispositivo antitetico rispetto a un raddrizzatore di corrente.

Ovunque sia necessario nell'industria variare la velocità di un motore vengono usati inverter da corrente alternata a corrente alternata (CA-CA). In questi sistemi la tensione in entrata viene dapprima convertita in corrente continua da un raddrizzatore e livellata da condensatori, quindi applicata alla sezione di

inversione. Di fatto trattasi quindi di sistemi "raddrizzatori-invertitori" anche se vengono comunque indicati solamente come "inverter" (vale a dire solamente "invertitori"). Lo scopo di questa doppia operazione è unicamente quello di variare la frequenza a piacere entro un intervallo prestabilito e non è necessaria la presenza di un trasformatore, poiché non è necessario variare il valore della tensione in uscita che rimane uguale a quella in ingresso. La frequenza di uscita è determinata nei casi più semplici da un segnale analogico fornito all'inverter per esempio da un potenziometro, oppure da un segnale digitale inviato da un PLC. Dato che ovviamente dalla frequenza dipende anche l'impedenza degli avvolgimenti del motore e quindi la corrente che li attraversa, questi inverter sono programmati per correlare la tensione alla frequenza con una certa proporzionalità che può dipendere dall'applicazione (lineare, pompa, ventilatore, ecc.). Possono inoltre essere dotati di funzioni avanzate come rampe di accelerazione e decelerazione, funzione di frenatura, ingressi digitali per impostare velocità predefinite, e così via.

3.4 Batterie per veicoli elettrici

Le batterie per veicoli elettrici sono differenti rispetto alle batterie dei veicoli convenzionali; questo a causa del diverso utilizzo che se ne fa nell'architettura del veicolo.

Un veicolo convenzionale necessita di una batteria per l'avviamento e per rifornire gli accessori; quindi, deve poter fornire elevata potenza di spunto. Al contrario, una batteria per veicoli elettrici (EVB) o batteria da trazione è una batteria utilizzata per alimentare la propulsione dei veicoli elettrici a batteria (BEV). Le batterie dei veicoli sono generalmente ricaricabili; differiscono dalle batterie di avviamento illuminazione e accensione, dette "SLI" (acronimo della lingua inglese per *Starting, Lighting and Ignition*), perché sono progettate per fornire energia per periodi di tempo prolungati. Le batterie di trazione devono essere progettate con una capacità di ampere-ora elevata e sono caratterizzate da un rapporto potenza-peso relativamente elevato, energia specifica e densità energetica: batterie più piccole e leggere riducono il peso del veicolo e ne migliorano le prestazioni.

Il tipo di batteria più comune nelle moderne auto elettriche è quella al litio e ai polimeri di litio, per via della loro elevata densità energetica rispetto al loro peso.

La reazione chimica tradizionale agli ioni di litio prevede un catodo di ossido di litio cobalto e un anodo di grafite. Ciò produce cellule con una notevole energia specifica di oltre 200 Wh/kg ed un'elevata potenza specifica con un'efficienza di carica/scarica dall'80 al 90%. Il rovescio della medaglia delle batterie agli ioni di litio tradizionali comprende la breve durata del ciclo di vita (da centinaia a qualche migliaio di cicli di carica) e un significativo degrado con l'età. Anche il materiale catodico è alquanto tossico. Le tradizionali batterie agli ioni di litio sono esposte al rischio di incendio se forate o caricate in modo improprio.

Queste celle non accettano né forniscono carica quando sono estremamente fredde, e quindi un sistema di riscaldamento può essere necessario in presenza di climi particolarmente rigidi.

4. Test vari componenti

Dopo aver introdotto e spiegato il funzionamento dei vari componenti dell'architettura in analisi, possiamo passare ad analizzarne e a studiarne i test. Parliamo di tutta quella fascia di prove atte a verificare i parametri e l'integrità del componente, in modo da dimostrare che esso abbia superato tutta la fase di design e possa essere messo in commercio.

Va specificato che non esiste una lista di test ufficiale e globale, ma ogni casa produttrice, in base ad esigenze e priorità, sceglie di svolgere certe prove. In questa trattazione vengono analizzati solo alcuni test svolti sui vari componenti, come esempio per poter spiegare sommariamente, tutti i processi e le analisi dietro lo sviluppo di un pezzo, tenendo conto anche della impossibilità a volte di accedere a tutte le informazioni.

4.1 Macchina elettrica [1]

Per il motore elettrico, siamo partiti dall'analisi di alcuni test sull'integrità dei vari componenti del motore stesso; dopo di che siamo passati ad alcuni test di efficienza e prestazionali.

4.1.1 Statore

Test del nucleo dello statore

Il nucleo dello statore è costituito da migliaia di laminati di acciaio rivestiti di isolante, impilati insieme, pressati e fissati sotto pressione. L'integrità del nucleo può essere confermata dal test del loop del nucleo.

Questo test, come illustrato nella figura sottostante, applica una densità di flusso al nucleo dello statore mediante il passaggio di una corrente alternata monofase attraverso un anello di cavo isolato, avvolto nel nucleo.

Mentre la corrente è applicata al nucleo, la temperatura del nucleo stesso viene monitorata con una termocamera a infrarossi o al tatto. Tutte le superfici all'interno del foro e delle fessure dello statore non devono essere più calde di 5°C della temperatura media del nucleo in un test di 30 minuti.

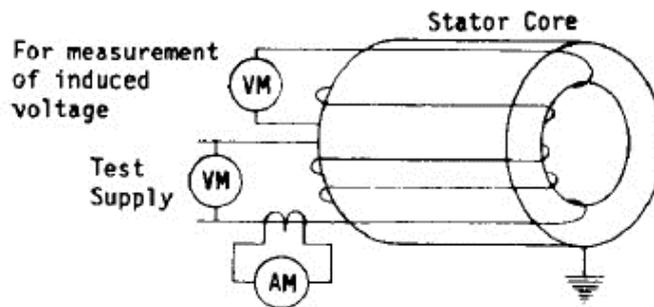


Fig. 1. Stator core test.

Figure 4.19 stator core test

Test di confronto delle sovratensioni

Le bobine dello statore devono essere testate per verificare l'integrità dell'isolamento da giro a giro in quanto, un giro di bobina internamente cortocircuitato porta alla distruzione dell'avvolgimento.

Il momento migliore per testare l'isolamento delle bobine è dopo che le bobine sono state assemblate nel nucleo dello statore e dopo aver completato l'incuneamento e la controventatura delle stesse, ma prima di effettuare i collegamenti elettrici tra le bobine. Il test non è molto significativo dopo che sono stati effettuati i collegamenti in quanto una sovracorrente viene attenuata in modo significativo dopo la prima bobina.

Test di immersione dell'avvolgimento

Il test di immersione degli avvolgimenti statorici è una pratica industriale, per qualificare l'isolamento dei sistemi "sigillati".

Questi "sistemi sigillati" sono stati testati in modo esaustivo secondo la norma IEEE 429" per verificarne la resistenza agli elementi e alla temperatura.

Una parte del test di prova di immersione di questa procedura è stata successivamente trasferita alla NEMA MG-1-20.4g2 dove oggi rappresenta il test standard di qualità del settore per gli avvolgimenti sigillati.

Prima del NEMA MG-1-20.49 gli utilizzatori di motori dell'industria petrolchimica avevano sviluppato varie procedure di prova a immersione, ciascuna con requisiti

diversi. Con il NEMA TEST, queste procedure sono state consolidate in un unico standard.

Il seguente è un riassunto tratto da MG1-20.49:

1. Un serbatoio d'acqua viene "condizionato" con un agente umidificante per ridurre la tensione superficiale a un valore "standard" di 31 dyne/cm @ 25°C. o inferiore;
2. Subito dopo l'immersione in acqua viene effettuato un test di polarizzazione.
Questo test consiste nell'applicare una corrente continua di 500 Volt all'avvolgimento dello statore, registrando la resistenza di isolamento a intervalli di un minuto per dieci minuti (secondo la norma IEEE 43). Il rapporto tra il valore di 10 minuti e il valore di un minuto della resistenza d'isolamento è "indice di polarizzazione". Questo rapporto deve essere uguale o superiore a 1.
Inoltre, la grandezza di 10 minuti di resistenza di isolamento deve essere pari o superiore al valore nominale KV da linea a linea + 1 MEG OHMS. Se l'avvolgimento non soddisfa i limiti, è presente una carenza che deve essere corretta prima di passare al test ad alto potenziale in corrente alternata;
3. Test Hi-Potential: Una tensione alternata a 60 Hz pari a 1,15 volte il valore nominale viene applicata all'avvolgimento per un minuto mentre è ancora immerso.
4. Immediatamente dopo, vengono riapplicati 500 volt in corrente continua per un minuto. Anche in questo caso la resistenza di isolamento deve essere uguale o superiore a quella nominale della linea KV +1 Meg ohm.
5. Lo statore viene rimosso dal serbatoio, risciacquato e asciugato per eliminare l'umidità.
6. Gli statori troppo grandi o troppo poco pratici per essere completamente immersi possono essere spruzzati con acqua condizionata per bagnare completamente gli avvolgimenti per 30 minuti, e si applica la stessa procedura di test.

Il test di polarizzazione, che applica 500 volt in corrente continua all'avvolgimento, misura il grado di corrente di dispersione direttamente attraverso la superficie dell'isolamento.

Subito dopo l'applicazione della tensione, la corrente è relativamente alta e diminuisce in modo esponenziale man mano che si carica la capacità dello statore e dell'isolamento.

Ognuno dei valori di resistenza dell'isolamento di dieci minuti di resistenza dell'isolamento aumentano in modo direttamente proporzionale a questa esponenziale della corrente.

La "conduzione di corrente" rimanente è essenzialmente quella che fluisce nel sistema di isolamento. Parte di questa corrente fornisce l'energia "assorbita" dall'isolante, polarizzando la sua composizione molecolare. Quando l'umidità penetra in questa struttura, si verifica un aumento sostanziale della corrente di conduzione. Questo limita la variazione di resistenza e l'"indice di polarizzazione" indica un sistema carico di umidità.

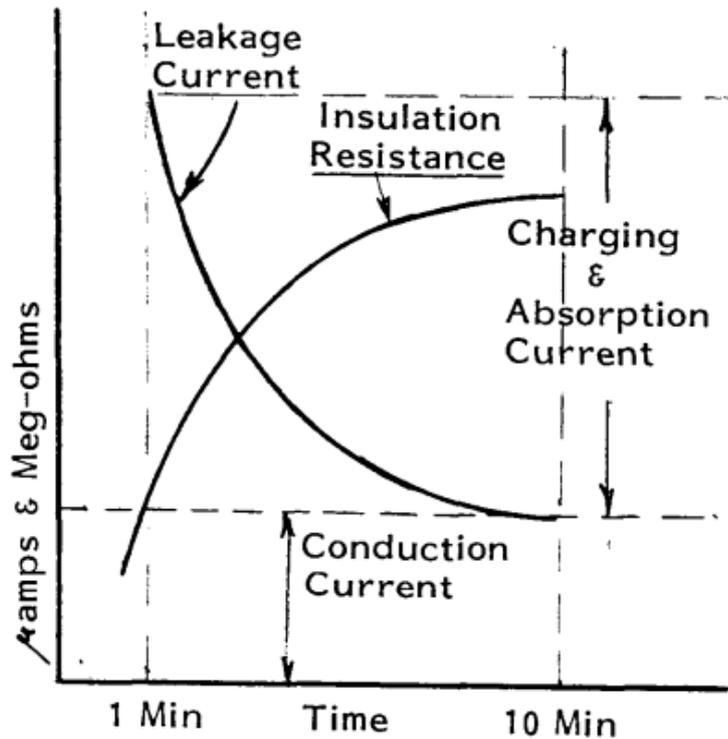


Figure 4.20 andamento corrente

4.1.2 Rotore

Test di caduta di tensione dei poli

Prima di assemblare la macchina, misurare la resistenza in corrente continua di ciascun polo. La variazione non deve superare il 2% rispetto alla resistenza media.

Dopo l'interconnessione dei poli del campo, verificare l'assenza di spire in cortocircuito applicando 120 V ac sull'intero campo e misurando la caduta di tensione su ogni polo. Se una spira è in cortocircuito si comporterà come un avvolgimento secondario in cortocircuito di un trasformatore (vedi Fig. 2) e riduce fortemente la caduta di tensione ac attraverso il polo. Le cadute di tensione su ciascun polo non dovrebbero variare di oltre il 10%.

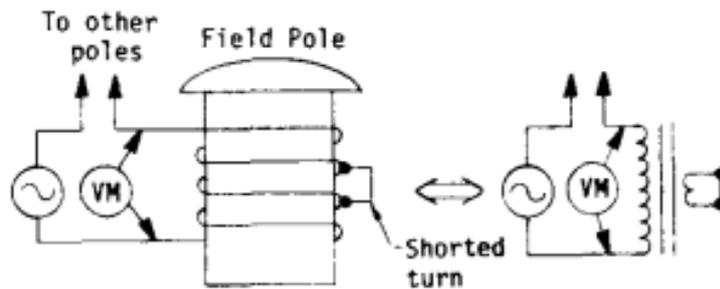


Figure 4.21 test caduta di tensione

Sequenza generica di test raccomandati

Oltre a questa serie di prove per verificare alcuni parametri fisici dei componenti, è possibile effettuare anche alcuni test meccanici sul corretto dimensionamento, o corretto montaggio e serraggio delle parti.

Alcune operazioni fondamentali possono essere ad esempio confermare le dimensioni delle aree critiche, come cuscinetti, albero, oppure verificare gli accoppiamenti tra l'albero e i mozzi della ventola, l'albero e il nucleo del rotore e l'albero e il giunto in tutti i punti assiali, per garantire che non vi siano conicità nelle parti lavorate.

Altro parametro da controllare è il run-out radiale dei punti critici come i perni dell'albero o i punti adiacenti a parti lavorate. In questo modo si evita di avere problemi nel momento in cui si procede al montaggio.

Il rispetto dei limiti di scostamento richiede ovviamente che i limiti siano dichiarati dal produttore "in anticipo" e che sia conservata la documentazione. Questo aspetto è particolarmente critico per le macchine ad alta velocità, principalmente 3000 giri/min e oltre.

In conclusione, i Test elettrici di routine raccomandati per i motori, sono:

- misurazione della corrente a vuoto
- determinazione della corrente di rotore bloccato per i motori;
- prove per la costruzione della curva V a vuoto;
- prova ad alto potenziale delle armature e dell'eccitatore;
- prova di isolamento;
- misurazione della resistenza degli avvolgimenti di armatura e di campo;
- misurazione dell'isolamento dei cuscinetti;
- misura della tensione dell'albero per le macchine senza cuscinetti isolati.

Per passare ad avere un controllo completo, a questi test se ne raccomandano altri, elencati di seguito:

- determinazione dell'efficienza a 50%, 75%, 100%;

- misura della corrente a rotore bloccato, del fattore di potenza e la determinazione della coppia di rottura e di strappo per i motori;
- prove per la costruzione della curva di saturazione a circuito aperto e di perdita del nucleo e del cortocircuito;
- prova di calore dell'eccitatore;
- prova di calore a dell'armatura a funzionamento nominale;

Vibrazioni dell'alloggiamento del cuscinetto

Vibrazioni dell'alloggiamento del cuscinetto: Lo spostamento delle vibrazioni, da picco a picco (p-p), rappresenta la capacità dell'alloggiamento del cuscinetto, o di altri supporti, di contenere le forze di sbilanciamento del rotore, le forze magnetiche dello statore e le forze magnetiche tra rotore e statore.

Il sensore utilizzato per misurare le vibrazioni dell'alloggiamento del cuscinetto è un rilevatore di velocità o un accelerometro. Per ottenere spostamento, il segnale di uscita del pickup viene integrato una volta o l'uscita del segnale dell'accelerometro viene integrata due volte.

Se si considera la frequenza di vibrazione, lo spostamento è più significativo fino a circa 20 Hz (1200 giri/min); l'ampiezza dello spostamento dell'alloggiamento deve essere entro limiti definiti.

Nella figura sottostante, è mostrato il limite di spostamento in funzione della velocità.

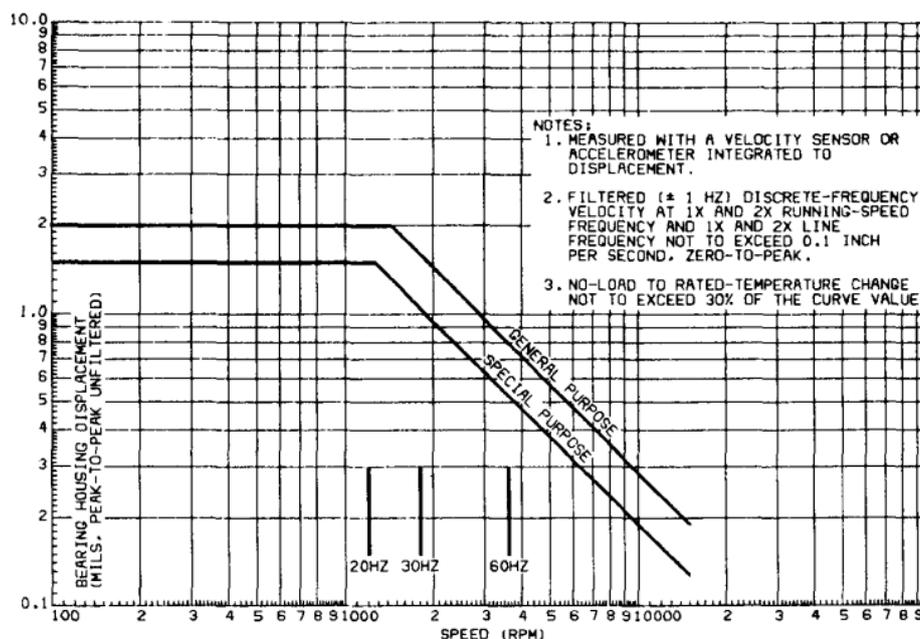


Figure 4.22 vibrazioni ammissibili

Come possiamo notare, sono presenti due spezzate, una è riferita a macchine con utilizzo generico, mentre la seconda è riferita a macchine con utilizzo speciale, infatti presenta valori più stringenti.

4.1.3 Prove dinamiche

Per il controllo del moto di un end-effector, si fa generalmente ricorso a servomotori elettrici, siano essi brushless o asincroni a controllo vettoriale del flusso. Nella maggior parte dei casi, per la scelta del tipo e della taglia di motore più adeguato, è sufficiente affidarsi ai dati forniti dai costruttori. Quando, però, si tratta di applicazioni in cui le prestazioni dinamiche sono di importanza fondamentale, occorre conoscere in maniera accurata il comportamento del motore, in particolare la sua risposta a carichi variabili.

Per una simulazione più realistica, ci si può affidare ad un banco prova che consente, oltre alla determinazione delle caratteristiche di funzionamento a regime di motori elettrici, anche l'applicazione di carichi variabili con legge armonica a frequenza variabile o di generici spettri di carico con cui poter simulare reali condizioni di funzionamento.

Lo schema funzionale del banco prova progettato e rappresentato nella figura sottostante; la sua struttura è di tipo modulare, in modo da poter essere agevolmente configurata a seconda del tipo di misura che si vuole eseguire.

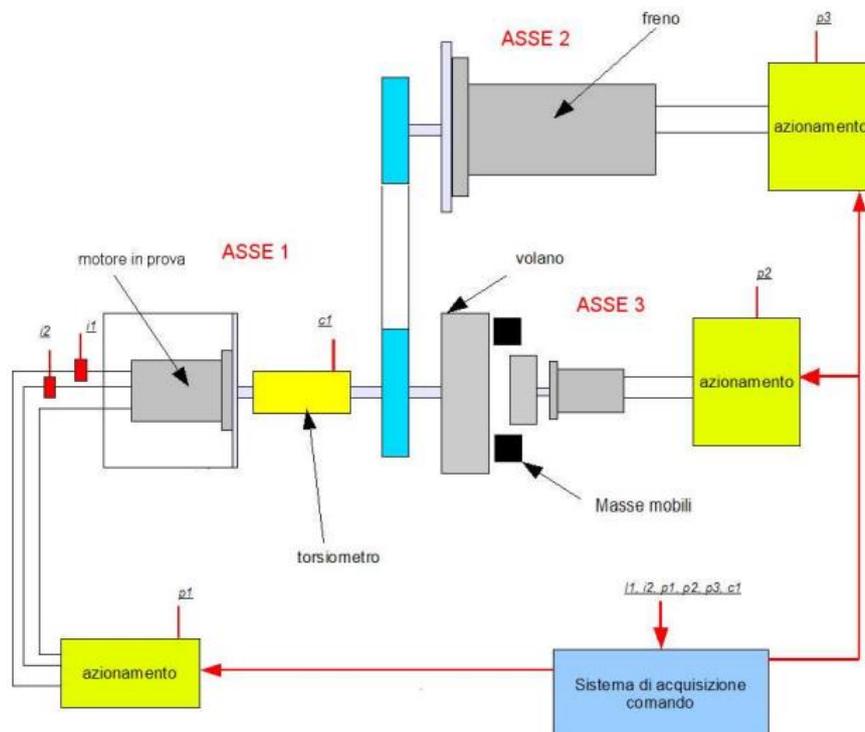


Figure 4.23 circuito prove dinamiche

Il sistema permette di effettuare diversi tipi di prove:

- prove per la determinazione dei campi di funzionamento del motore relativi a differenti tipi di servizio;
- prove in cui il motore viene sottoposto ad un carico con andamento generico in funzione del tempo;
- prove in cui il motore viene sottoposto a carichi variabili con legge armonica.

In figura, è mostrata la configurazione del banco, e vengono evidenziati i vari componenti:

1. il servomotore in prova, montato su una slitta in modo da facilitarne la sostituzione;
2. il torsionmetro per la misura della coppia motrice erogata;
3. la trasmissione a cinghia dentata, con relativo sistema di tensionamento;
4. il volano;
5. il servomotore per la generazione del carico;

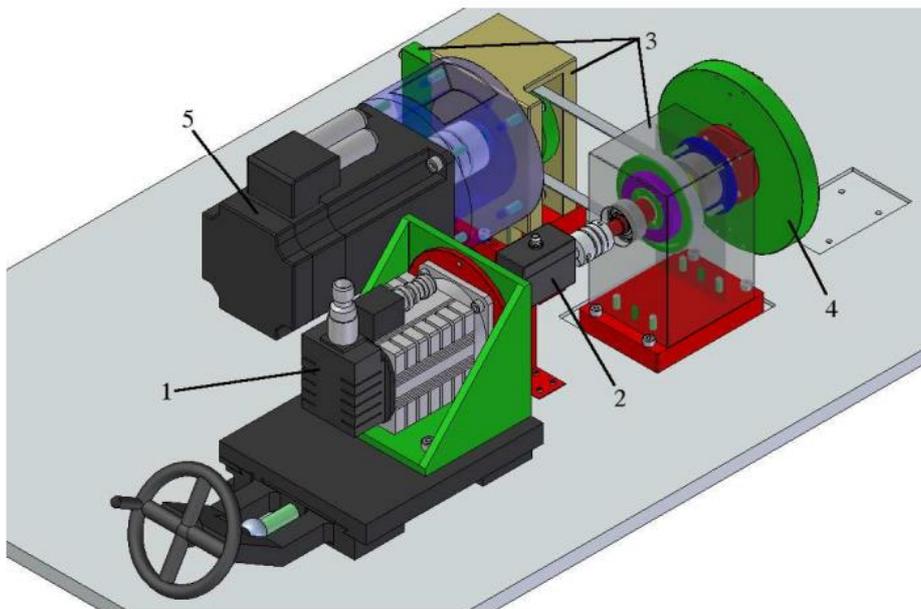


Figure 4.24 componenti prova

4.2 Batteria

L'affidabilità, le prestazioni e la longevità di questo sistema di accumulo dell'energia sono fondamentali per il successo complessivo e l'accettazione dei veicoli.

Esaminare in maniera approfondita le batterie fornisce preziose indicazioni sulle capacità funzionali, sui limiti e sui progressi dei sistemi di accumulo [2] di energia dei veicoli ibridi.

Test di capacità statica

Questo test misura la capacità del dispositivo in ampere-ora a una velocità di scarica a corrente costante $C/3$ corrispondente alla capacità nominale.

La scarica inizia dopo un periodo di riposo predefinito da uno stato di carica completa a V_{max100} e termina a un limite di tensione di scarica specificato dal produttore (V_{min0}), seguito da un riposo predefinito a tensione a circuito aperto. Se la capacità misurata è significativamente diversa da quella nominale (cioè, più del $\pm 10\%$), informare il responsabile del programma tecnico prima di continuare le prove e determinare se la capacità deve essere rivalutata.

La prova di capacità statica deve essere eseguita fino a quando tre capacità di scarica consecutive sono stabili entro $\pm 2\%$ fino a un massimo di 10 scariche. Se il dispositivo non è in grado di raggiungere stabilità dopo 10 scariche, è necessario informare il responsabile del programma tecnico.

Nel caso in cui il limite di tensione operativa sia diverso dall'intervallo di tensione elettrochimica la prova di capacità statica deve essere ripetuta utilizzando la capacità operativa, che deve essere specificata dal produttore.

The Hybrid Pulse Power Characterization test (HPPC)

Il test Hybrid Pulse Power Characterization (HPPC) ha lo scopo di determinare la capacità di potenza dinamica nell'intervallo di tensione utilizzabile del dispositivo, utilizzando un profilo di test che incorpora impulsi di scarica e di rigenerazione.

Tutti i dati ricavati con lo svolgimento di questo profilo, come capacità di potenza ed energia, possono essere utilizzati per valutare il degrado della resistenza durante i test di durata successivi e per sviluppare modelli di prestazioni delle batterie ibride per l'analisi dei sistemi dei veicoli.

L'obiettivo di questo test è quello di determinare le capacità di potenza dell'impulso di scarica di 30 secondi e dell'impulso di rigenerazione di 10 secondi ad ogni incremento del 10% rispetto alla capacità operativa BOL per gli obiettivi EV (ad esempio, per una cella da 2 Ah, le capacità di potenza sono valutate con incrementi di 0,2 Ah tra V_{maxop} e V_{min0}).

Tra ogni coppia di impulsi di scarica e rigenerazione, il dispositivo viene scaricato fino all'incremento successivo del 10 % in base alla capacità operativa, utilizzando la velocità C/3. I profilo degli impulsi è illustrato nella Tabella e nella Figura sottostanti.

Time Increment (s)	Cumulative Time (s)	Relative Currents
30	30	1.00
40	70	0
10	80	-0.75

Tabella 4.1 HPPC

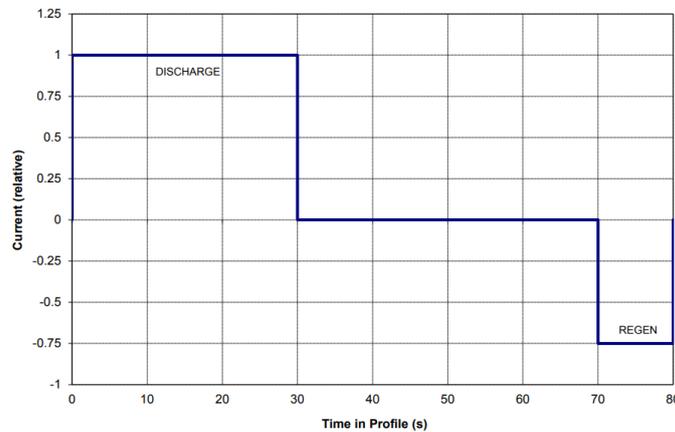


Figure 4.25 profilo test HPPC

Il test consiste in singole ripetizioni di questo profilo, seguite da una scarica al successivo incremento del 10% basato sul punto di capacità operativa utilizzando C/3, ogni volta seguita da un periodo di riposo predefinito per consentire alla cella di ritornare a una condizione di equilibrio elettrochimico e termico prima di applicare il profilo successivo.

Si noti che gli sviluppatori di batterie di solito specificano una capacità nominale, che corrisponde a una coppia di limiti di tensione che rappresentano lo 0% e il 100% di SOC all'inizio.

Separatamente, viene determinato un intervallo di tensione di funzionamento raccomandato, che può essere inferiore all'intervallo del 100% SOC associato alla capacità nominale.

Il limite superiore di tensione della finestra operativa prevista di funzionamento previsto è definito come V_{maxop} .

Il test HPPC inizia con un dispositivo carico a V_{maxop} ; dopo un periodo di riposo predefinito (nominalmente un'ora di riposo), viene eseguito un profilo HPPC immediatamente seguito da una scarica fino al successivo incremento del 10% della capacità nominale alla velocità C/3 e un riposo predefinito. Questa

sequenza viene ripetuta fino a quando profilo finale al 90% o quasi della capacità operativa rimossa.

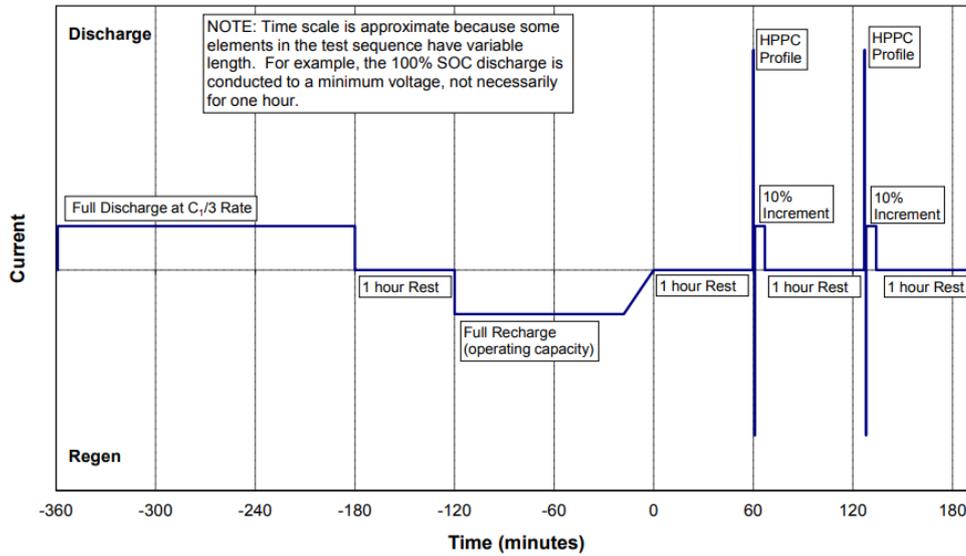


Figure 4.26 profilo di test 2

Dopo aver svolto il test, va fatto un test di verifica sulla capacità residua della batteria; se il dispositivo rispecchia i valori minimi di capacità, il test è superato.

Peak power test

Il test di potenza di picco serve a determinare la capacità di potenza dinamica degli impulsi nell'intervallo di tensione utilizzabile del dispositivo in condizioni di carico. Il test consiste in una scarica singola a una determinata corrente di base con impulsi di scarica periodici a una corrente di prova elevata a partire da V_{maxop} . In questa sequenza di test non sono inclusi periodi di riposo.

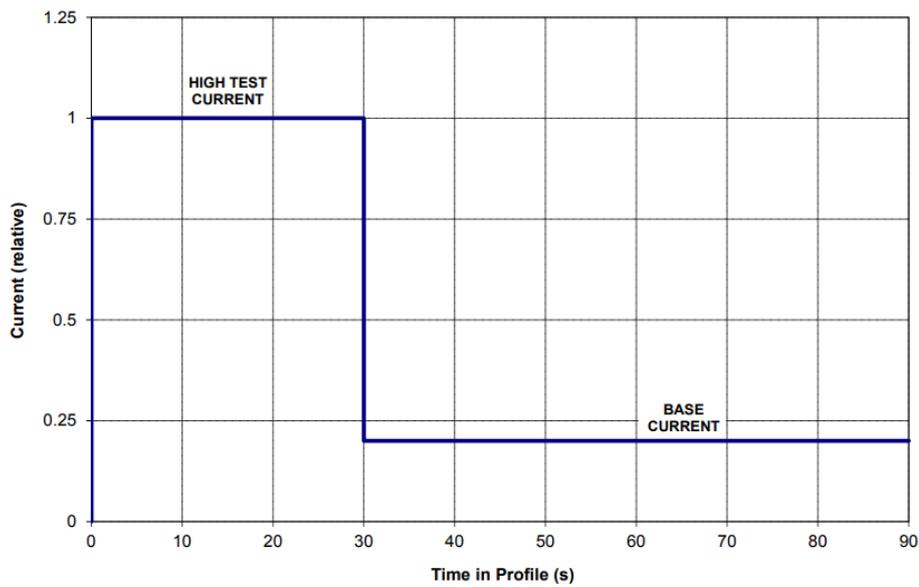


Figure 4.27 profilo peak power test

In figura è mostrato il ciclo utilizzato per effettuare il test; questo viene ripetuto aumentando ogni volta la corrente del 10 % rispetto all'intervallo $V_{maxop}-V_{min0}$ (se $V_{maxop} - V_{min0} > 2 \text{ Ah}$, eseguo test ad intervalli di 0.2 Ah) con il fine di determinale la potenza dell'impulso di scarica. In basso è mostrato il ciclo di test completo.

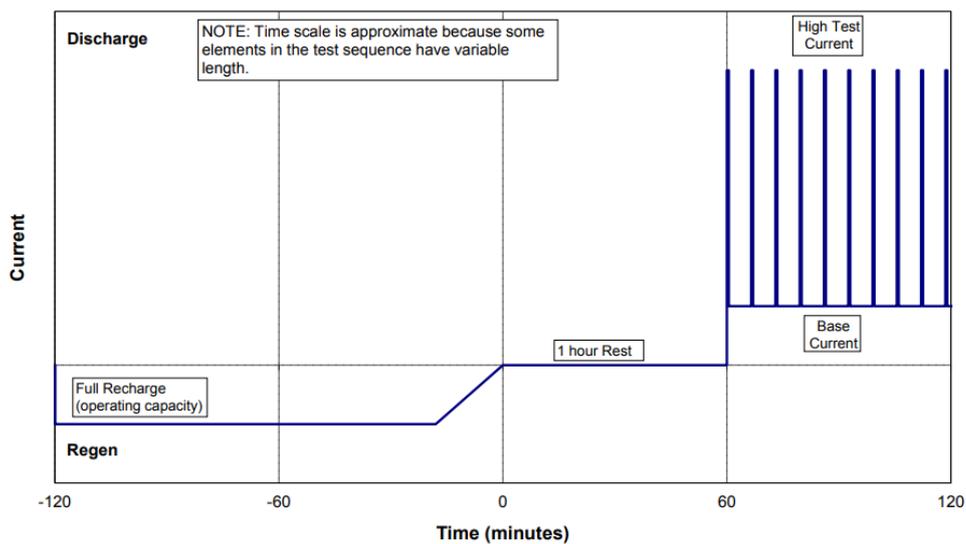


Figure 4.28 profilo 2 peak power test

Test di tensione circuito aperto

Il test della tensione a circuito aperto [3](OCV) per le batterie è un metodo comunemente utilizzato per determinare lo stato di carica (SoC) o la capacità residua di una batteria. Si tratta di misurare la tensione attraverso i terminali di una batteria quando non c'è carico o corrente che fluisce dentro o fuori la batteria, cioè quando il circuito è aperto.

Ecco come funziona di solito un test OCV per una batteria:

- ***Periodo di riposo:*** Per effettuare un test OCV, la batteria deve rimanere a riposo per un periodo sufficiente, spesso diverse ore o tutta la notte. Questo periodo di riposo consente alle reazioni elettrochimiche all'interno della batteria di stabilizzarsi e assicura che non vi sia corrente residua o "carica superficiale" presente sugli elettrodi della batteria.
- ***Misurazione della tensione:*** Dopo il periodo di riposo, si utilizza un voltmetro o un multimetro per misurare la tensione tra i terminali della batteria. Questo valore di tensione rappresenta l'OCV della batteria.
- ***Interpretazione dei risultati:*** Il valore OCV ottenuto dal test viene poi confrontato con una tabella o una curva di riferimento che mette in relazione l'OCV con lo stato di carica (SoC) per quel tipo specifico di chimica della batteria. Le diverse chimiche delle batterie (ad esempio, piombo-acido, ioni di litio, idruro di nichel-metallo) hanno relazioni OCV-SoC diverse; quindi, è essenziale utilizzare il riferimento corretto per la batteria in questione.
- ***Determinazione del SoC:*** In base all'OCV e alla curva di riferimento, è possibile stimare lo stato di carica della batteria. Un OCV più alto corrisponde in genere a una SoC più elevata, mentre un OCV più basso suggerisce una SoC più bassa. È importante notare che questo metodo fornisce una stima della SoC e potrebbe non essere del tutto accurato, soprattutto per le batterie più vecchie.

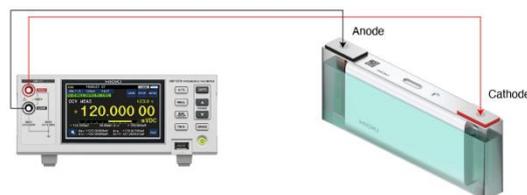


Figure 4.29 strumentazione

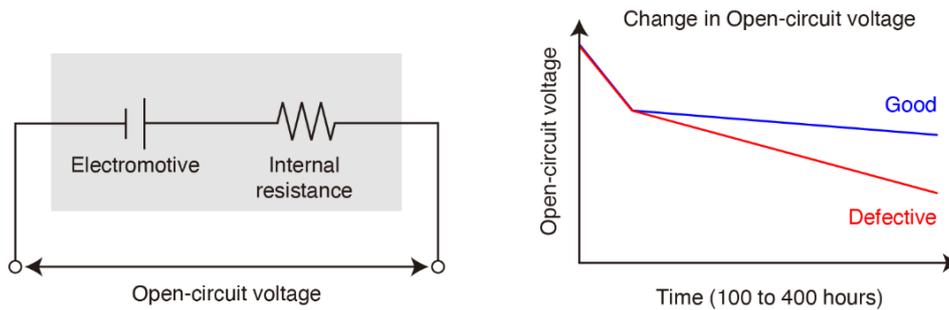


Figure 4.30 OCV test

Resistenza all'isolamento

La misurazione della resistenza di isolamento è un test importante per rilevare i difetti nelle linee di produzione delle batterie agli ioni di litio. Strutturalmente, è necessario mantenere l'anodo e il catodo, così come gli elettrodi e l'involucro, isolati l'uno dall'altro. [4] Il mancato isolamento di questi componenti, una resistenza di isolamento insufficiente, può comportare un rischio di accensione o di incendio.

Il test di resistenza dell'isolamento delle celle della batteria viene generalmente eseguito come segue:

- Prima di riempire di elettrolita le celle della batteria: Si applica una tensione continua tra l'anodo e il catodo di ogni cella e si misura la resistenza di isolamento.
- Dopo il riempimento di elettrolita nelle celle della batteria: Tra gli elettrodi di ciascuna cella e l'involucro viene applicata una tensione continua e viene misurata la resistenza di isolamento.

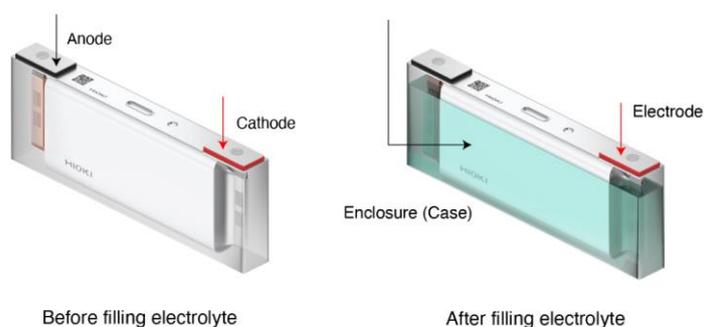


Figure 4.31 strumentazione

La resistenza di isolamento delle celle della batteria viene misurata con un tester, progettato specificamente per misurare l'alto isolamento. I misuratori di resistenza di isolamento applicano una tensione continua, rilevano la minuscola corrente che scorre quando viene applicata questa tensione e la utilizzano per calcolare il valore della resistenza. Sono dotati di un amperometro integrato ad alta sensibilità in grado di rilevare con precisione le correnti minime.

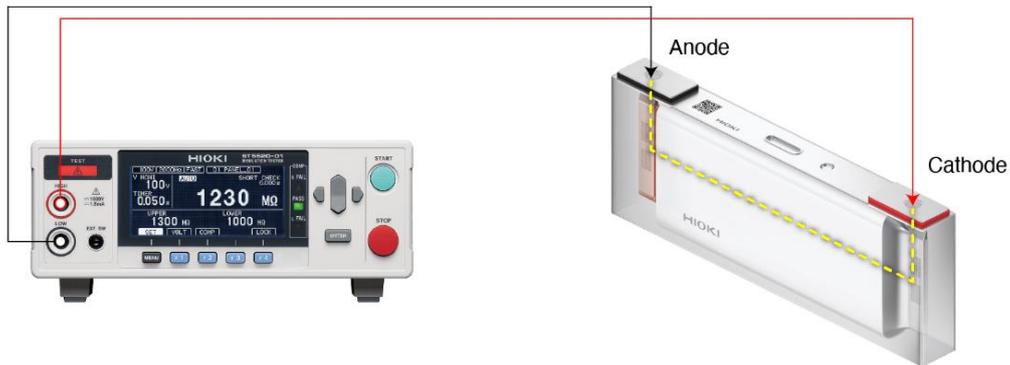


Figure 4.32 strumentazione 2

I valori di riferimento (resistenza) utilizzati per classificare le celle come difettose o non difettose dipendono dalla batteria in esame.

Test di sopravvivenza alla temperatura

Un obiettivo primario dei test sulle prestazioni termiche è dimostrare la capacità di raggiungere l'obiettivo di potenza di picco a varie temperature.

A livello di celle di laboratorio, questi test hanno due obiettivi:

- caratterizzare le prestazioni della tecnologia in funzione della temperatura;
- definire i limiti della gestione termica di celle o batterie di dimensioni reali;

Il test della temperatura di sopravvivenza viene generalmente eseguito su un gruppo di dispositivi che non verranno utilizzati per i test di durata in quanto, questa prova può influenzare o ridurre drasticamente le prestazioni del dispositivo.

Questo test può essere svolto a freddo o a caldo; vediamo le varie fasi di entrambe le tipologie:

Il test di conservazione a freddo

Il test di conservazione a freddo viene eseguito come segue:

- Da uno stato di carica completa (V_{maxop}), eseguire un test di scarica e carica seguito da HPPC.
- Da uno stato di carica completa a (V_{maxop}), portare il dispositivo alla tensione corrispondente a $V_{nominal}$ a $30^{\circ}C$ utilizzando la corrente costante $C/3$. Ridurre la corrente a $V_{nominal}$ seguendo la procedura raccomandata dal produttore.
- La camera termica viene portata alla temperatura minima di sopravvivenza specificata entro 1 ora e poi immergere il dispositivo a circuito aperto per un periodo di 24 ore.
- Riportare a $30^{\circ}C$ e far riposare per almeno 4-16 ore, a seconda delle dimensioni del dispositivo.
- Da uno stato di carica completa a V_{maxop} , eseguire un test di scarica e carica seguito HPPC.

Il test di conservazione a caldo

Il test di conservazione a caldo viene eseguito come segue:

- Da uno stato di carica completa (V_{maxop}), eseguire un test di scarica e carica seguito da HPPC.
- Da uno stato di carica completa a (V_{maxop}), portare il dispositivo alla tensione corrispondente a $V_{nominal}$ a $30^{\circ}C$ utilizzando la corrente costante $C/3$. Ridurre la corrente a $V_{nominal}$ seguendo la procedura raccomandata dal produttore.
- Portare la camera termica alla temperatura massima di sopravvivenza specificata entro 15 minuti e poi immergere il dispositivo a circuito aperto per un periodo di 24 ore.
- Riportare a $30^{\circ}C$ e far riposare per almeno 4-16 ore, a seconda delle dimensioni del dispositivo.
- Da uno stato di carica completa a V_{maxop} , eseguire un test di scarica e carica seguito HPPC.

Test di vita delle batterie

Questi test servono per verificar che il dispositivo sia in grado di soddisfare gli obiettivi di durata, specificati dal costruttore.

Esistono tanti test di durata, che si differenziano per i cicli di carica e scarica svolti dalla batteria; in questa trattazione andremo ad analizzare due test:

- Test di stress dinamico sul ciclo vita della batteria;
- Calendar life test;

Test di stress dinamico sul ciclo vita della batteria

L'obiettivo di questo profilo di test è verificare la durata del dispositivo in modalità di esaurimento della carica quando viene sottoposto a certi utilizzi adeguati agli obiettivi. Ogni profilo è costituito da una serie di fasi di scarica/carica a potenza costante con una durata totale di 360 secondi. Il profilo DST è definito nella Tabella e illustrato nella Figura sottostanti. È inteso a dimostrare la capacità di soddisfare l'obiettivo di durata di 1.000 cicli.

Step No	Step Time (sec)	Cum Time (sec)	% Power (%)	Power (W/kg)	
				System	Cell
1	16	16	0	0	0
2	28	44	12.5	58.75	87.50
3	12	56	25	117.5	175.00
4	8	64	-12.5	-58.75	-87.50
5	16	80	0	0	0
6	24	104	12.5	58.75	87.50
7	12	116	25	117.5	175.00
8	8	124	-12.5	-58.75	-87.50
9	16	140	0	0	0
10	24	164	12.5	58.75	87.50
11	12	176	25	117.5	175.00
12	8	184	-12.5	-58.75	-87.50
13	16	200	0	0	0
14	36	236	12.5	58.75	87.50
15	8	244	100	470	700.00
16	24	268	62.5	293.75	437.50
17	8	276	-25	-117.5	-175.00
18	32	308	25	117.5	175.00
19	8	316	-42.9	-200	-300.00
20	44	360	0	0	0

Tabella 4.2 valori test

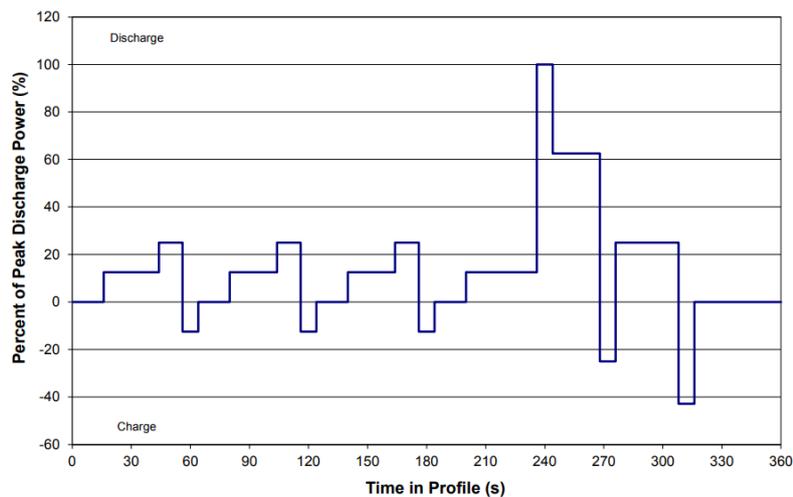


Figure 4.33 profilo di test

Calendar life test

Questo test è progettato per consentire la valutazione del degrado delle celle o delle batterie in seguito al trascorrere del tempo con un utilizzo minimo. Non si tratta di un test di durata pura perché i dispositivi vengono mantenuti a uno stato di carica target durante tutta la prova. Può essere effettuato utilizzando contemporaneamente più celle che vengono incluse in una matrice di variabili di test, come la temperatura e lo stato di carica; questo permette di ridurre le tempistiche.

Lo schema di questa procedura di test per una particolare cella è il seguente:

1. Il dispositivo viene prima caricato completamente a 30°C fino a V_{maxop} utilizzando la procedura raccomandata dal produttore.
2. Se necessario, scaricare il dispositivo fino alla condizione desiderata a 30 °C utilizzando la velocità $C/3$ e riposare per un'ora.
3. Applicare una singola iterazione del profilo di prova. La corrente di scarica nominale da utilizzare per questo profilo è pari alla corrente di scarica di picco per il test HPPC a bassa corrente.
4. La cella deve essere portata alla temperatura target in condizioni di circuito aperto e attendere che la temperatura ambiente e la tensione si stabilizzino (i).
5. Applicare una singola iterazione del profilo di prova allo stesso livello di corrente definito al punto 3. Il dispositivo viene quindi posto in uno stato di circuito aperto e il test continua alle condizioni previste.
6. Una volta ogni 24 ore, e immediatamente prima di iniziare la Fase 7, ripetere la Fase 5. Si noti che i requisiti per l'acquisizione dei dati durante l'esecuzione di questo profilo di impulsi saranno simili a quelli dei test HPPC.
7. Ad intervalli specificati, riportare la cella alla temperatura nominale, osservare la tensione a circuito aperto dopo un'ora di riposo e applicare una singola iterazione del profilo di prova. Eseguire un'unica iterazione dei test prestazionale di riferimento, quindi riportare le celle alle temperature di prova.
8. Ripetere questa sequenza di test finché la cella non raggiunge la condizione di fine test.

Questo profilo di test differisce dal Test di stress dinamico sul ciclo vita della batteria, in quanto non è destinato all'esecuzione continua.

Viene eseguito una volta per ogni periodo di 24 ore, mentre la cella in prova viene mantenuta a una determinata temperatura e stato di carica.

Il profilo di carica e scarica è mostrato nella tabella e nel grafico che seguono

Step Time (s)	Cumulative Time (s)	Relative Current (Ratio)
30	30	1.0
40	70	0
10	80	-0.75
300	380	Voltage Clamp

Tabella 4.3 valori step profilo calendar life test

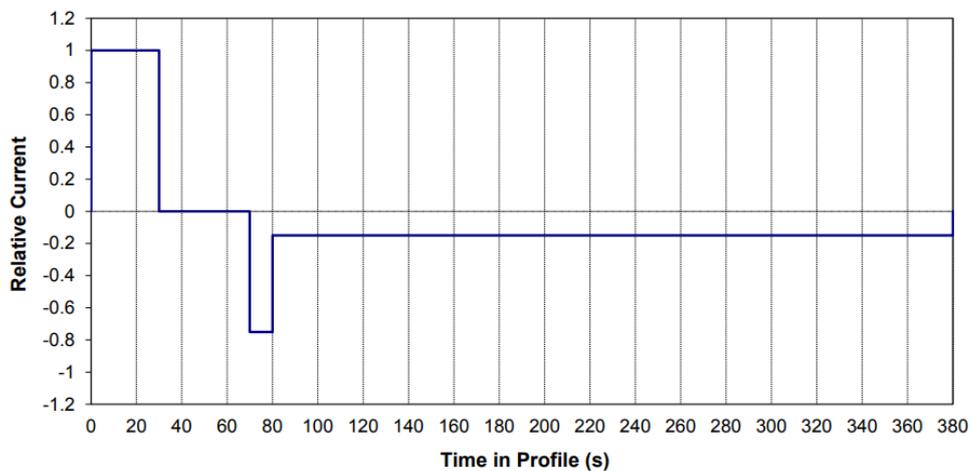


Figure 4.34 calendar life test profilo

4.3 Assale Elettrico

L'avvento dei veicoli elettrici (EV) ha inaugurato un'era di trasformazione nell'industria automobilistica, sfidando i paradigmi tradizionali della propulsione e dell'ingegneria dei veicoli. In prima linea in questa rivoluzione c'è lo sviluppo e l'integrazione di trasmissioni elettriche innovative, di cui gli assali elettrici sono un componente fondamentale. L'assale elettrico, spesso indicato come e-axle, racchiude un'unità di propulsione elettrificata che combina i motori elettrici, la trasmissione e i componenti associati in un unico gruppo integrato. Questo capitolo si addentra nel dominio critico delle prove sugli assali elettrici, esplorando i molteplici aspetti, le metodologie e l'importanza di questo processo di valutazione cruciale.

Test funzionali

Il collaudo funzionale degli assi elettrici dei veicoli elettrici (EV) è un processo di valutazione cruciale che valuta se l'asse elettrico svolge le funzioni previste in modo corretto e affidabile. [5]Questo tipo di test verifica che l'asse elettrico, che integra componenti chiave come i motori elettrici, la trasmissione e l'elettronica di potenza, funzioni secondo le specifiche di progetto e soddisfi i requisiti di prestazione del veicolo.

I test funzionali possono essere condotti su un banco di prova, dove l'asse elettrico è installato in un ambiente controllato, o su un prototipo completo di EV o su una piattaforma di veicolo. Questo banco viene fornito di tutta la strumentazione necessaria per verificare i parametri; di seguito un elenco dei test più comuni:

- **Test delle prestazioni:** Si tratta di valutare le prestazioni dell'asse elettrico in termini di potenza erogata, generazione di coppia, accelerazione e decelerazione. I test sulle prestazioni aiutano a verificare che l'asse elettrico soddisfi o superi i criteri specificati.
- **Test di efficienza:** I test di efficienza valutano l'efficacia con cui l'asse elettrico converte l'energia elettrica in energia meccanica e recupera l'energia durante la frenata rigenerativa.
- **Test dinamici:** I test dinamici simulano scenari di guida reali, comprese varie condizioni di carico, velocità e terreno, per valutare la capacità di adattamento e le prestazioni dell'asse elettrico in diverse condizioni di guida.
- **Test di sicurezza funzionale:** Questo tipo di test si concentra sulla garanzia che le caratteristiche di sicurezza dell'asse elettrico, come il rilevamento dei guasti, l'arresto di emergenza e i meccanismi di sicurezza, funzionino come previsto per prevenire incidenti o pericoli.

Test di compatibilità elettromagnetica

I test di compatibilità elettromagnetica (EMC) sono un processo di valutazione critico condotto sui dispositivi elettrici ed elettronici, compresi i componenti dei veicoli elettrici (EV) come gli assi elettrici. I test EMC valutano la capacità del dispositivo di funzionare senza causare o essere suscettibile di interferenze elettromagnetiche (EMI) nell'ambiente operativo previsto.

Lo scopo di queste prove è assicurare che l'asse elettrico non emetta emissioni elettromagnetiche che potrebbero interferire con altri dispositivi elettronici all'interno del veicolo o con sistemi esterni. Oltre questo, è anche necessario verificare che l'asse elettrico possa funzionare senza subire malfunzionamenti o essere influenzato da campi elettromagnetici e radiazioni esterne.

Test delle emissioni irradiate

Lo scopo è misurare le radiazioni elettromagnetiche emesse dall'asse elettrico, comprese le emissioni irradiate non intenzionali (URE) dal cablaggio e dai componenti del veicolo.

L'assale elettrico viene collocato in una camera EMC specializzata e vengono utilizzate antenne per misurare le emissioni irradiate in una gamma di frequenze. I dati vengono raccolti e analizzati per determinare se le emissioni superano i livelli consentiti.

Test di immunità

Si valuta l'immunità dell'asse elettrico ai disturbi elettromagnetici esterni. I test di questo tipo simulano vari scenari, come scariche ESD, interferenze RF o sovratensioni, per valutare la capacità dell'asse elettrico di funzionare correttamente in tali condizioni.

Le prestazioni dell'asse elettrico vengono monitorate durante e dopo l'esposizione a questi disturbi per identificare eventuali problemi operativi o guasti.

Test di durata

I test di durata per gli assi elettrici dei veicoli elettrici (EV) sono un processo di valutazione completo che valuta le prestazioni e l'affidabilità a lungo termine di questi componenti critici in varie condizioni operative. Questi test aiutano a identificare i potenziali punti deboli, i modelli di usura e le modalità di guasto che possono verificarsi in periodi di utilizzo prolungati.

I principali obiettivi di queste prove sono:

- Valutazione dell'affidabilità e della durata a lungo termine dell'assale elettrico simulando anni di utilizzo reale.
- Identificazione di potenziali modalità di guasto, modelli di usura e punti deboli che possono verificarsi nel tempo.
- Valutare se l'asse elettrico mantiene le sue caratteristiche prestazionali per tutta la durata prevista.

I test di durata possono essere condotti utilizzando impianti di prova specializzati che simulano le condizioni del veicolo o installando l'asse elettrico in un prototipo di veicolo elettrico per i test su strada; vengono utilizzati sensori, sistemi di acquisizione dati e strumenti di monitoraggio per raccogliere dati su vari parametri durante il processo di prova.

Per simulare le condizioni di guida e i profili di carico del mondo reale, vengono utilizzati generatori di carico, come i dinamometri o i banchi di carico.

Vediamo le principali tipologie di test di durata:

- Test ciclici: L'asse elettrico è sottoposto a cicli di funzionamento ripetitivi che simulano le condizioni di guida tipiche, tra cui accelerazione, decelerazione e curva. Il numero di cicli può variare da centinaia a milioni, a seconda della durata del test.
- Test di vibrazione: Le prove di vibrazione simulano gli effetti delle vibrazioni e degli urti della strada sull'asse elettrico. Questi test aiutano a identificare potenziali punti deboli nei componenti e nelle strutture di montaggio.
- Cicli di temperatura: I test sui cicli di temperatura prevedono l'esposizione dell'asse elettrico a una serie di temperature, anche estreme, per valutarne la capacità di resistere alle sollecitazioni termiche.
- Test in nebbia salina: I test in nebbia salina valutano la resistenza dell'asse elettrico alla corrosione in ambienti difficili, come quelli ad alto contenuto di sale, come le zone costiere.
- Test di shock meccanico: I test d'urto simulano gli urti meccanici improvvisi e gli impatti che l'asse elettrico può subire durante la guida reale.

5 Contesto normativo

Parallelamente allo studio dei test e dei parametri da verificare per i vari componenti, è importante fare un focus sul contesto normativo che circonda ogni componente; questo serve da guida nel labirinto di prove e regolamenti che caratterizzano il panorama dei veicoli elettrici, garantendone un processo di integrazione più sicuro.

Per normativa, in questo contesto, si intende l'insieme di standard, regolamenti e linee guida che regolano la progettazione, la produzione, il funzionamento e la manutenzione dei veicoli elettrici. Si tratta di una base fondamentale su cui l'industria dei veicoli elettrici costruisce i suoi progressi innovativi e le sue ambizioni di trasformazione.

Man mano che i veicoli elettrici si affermano come modalità di trasporto preferita, diventa indispensabile comprendere l'intricata rete di norme e regolamenti che ne sostengono lo sviluppo e la diffusione. Queste misure normative dettano gli standard di sicurezza, l'impatto ambientale, i criteri di prestazione e i requisiti di interoperabilità che regolano l'ecosistema dei veicoli elettrici.

Analizziamo, quindi, il contesto normativo che ruota attorno ad ogni componente, in modo da integrarlo all'interno del processo di validazione di ogni pezzo.

Va nuovamente sottolineato che questa è un'analisi a scopo esplicativo, che si basa su una documentazione non completa, derivante da delle ricerche, a puro scopo dimostrativo di come potrebbe svolgersi un processo di validazione componenti.

5.1 Regolamentazione N 85 [6]

Misurazione della potenza netta e della potenza massima su 30 minuti dei gruppi motopropulsori elettrici

Il presente regolamento si applica alla rappresentazione della curva, determinata in funzione del regime del motore a combustione interna o della velocità del motore elettrico, della potenza a pieno carico del motore indicata dal costruttore per i motori a combustione interna o i gruppi motopropulsori elettrici e della potenza massima su 30 minuti dei gruppi motopropulsori elettrici destinati alla propulsione di veicoli a motore delle categorie M ed N.

Per avere uno svolgimento corretto della prova, devono essere messe in atto le seguenti misure:

- Il gruppo motopropulsore elettrico deve essere alimentato da una sorgente di tensione CC con una caduta di tensione non superiore al 5 per cento in funzione del tempo e della corrente.
- Il motore e tutti i dispositivi di cui è munito devono essere condizionati alla temperatura di $25\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ per almeno due ore.
- La prova della potenza netta deve essere effettuata con il regolatore di potenza regolato al livello più elevato.
- Appena prima dell'inizio della prova, il motore deve essere fatto funzionare al banco per tre minuti in modo che eroghi una potenza pari all'80 % della potenza massima alla velocità raccomandata dal costruttore.
- Le misurazioni devono essere effettuate in corrispondenza di varie velocità di rotazione, in numero sufficiente per definire correttamente la curva di potenza compresa tra zero e la velocità di rotazione massima raccomandato dal costruttore. L'intera prova deve essere completata entro 5 minuti.

Messe in atto tutte queste accortezze, può essere svolta la prova; il gruppo motopropulsore viene fatto funzionare sul banco alla potenza massima per 30 minuti e contemporaneamente la velocità di rotazione deve essere compresa in un intervallo di velocità in cui la potenza netta sia superiore al 90 per cento della potenza massima.

Effettuato il test si passa all'analisi dei risultati; la potenza netta e la potenza massima su 30 minuti per i gruppi motopropulsori elettrici, devono essere accettate se non differiscono di oltre il ± 2 per cento.

5.2 R100 [7]

Disposizioni uniformi relative all'omologazione dei veicoli riguardo a requisiti specifici del motopropulsore elettrico

Questa regolamentazione si suddivide in due parti:

- Parte I: prescrizioni di sicurezza relative al motopropulsore elettrico dei veicoli stradali delle categorie M e N, con una velocità massima di progetto superiore a 25 km/h, muniti di uno o più motori di trazione elettrici e non collegati alla rete in modo permanente.
- Parte II: prescrizioni di sicurezza relative al sistema ricaricabile di accumulo dell'energia (REESS) dei veicoli stradali delle categorie M e N dotati di uno o più motori di trazione alimentati a energia elettrica e non collegati in modo permanente alla rete.

Per "REESS" si intende il sistema di accumulo di energia ricaricabile che fornisce energia elettrica per la propulsione elettrica del veicolo.

Il sistema di gestione delle batterie (BMS) e il pacco batterie sono i due componenti principali del REESS.

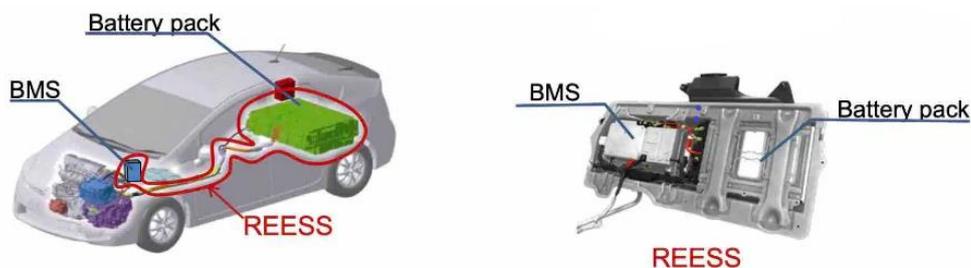


Figure 5.35 RESS

All'interno della normativa, troviamo tante tipologie di test, che riguardano la verifica di parametri anche molto diversi del veicolo; si passa da prove distruttive meccaniche fino ad arrivare a prove elettriche.

Analizziamo nello specifico alcuni dei test più interessanti presenti in questo documento.

Metodo di misura della resistenza d'isolamento per le prove effettuate sui componenti di un reess.

Andiamo ad analizzare il metodo di misura che utilizza il dispositivo sottoposto a prova come fonte di tensione a CC. Il livello di tensione del dispositivo sottoposto a prova per tutta la durata della prova deve essere almeno pari alla tensione di esercizio nominale del dispositivo sottoposto a prova. Il voltmetro usato in questa prova deve misurare i valori in CC e avere una resistenza interna superiore a $10\text{ M}\Omega$

Di seguito andiamo ad elencare le varie fasi in cui si suddivide il test:

- Prima fase: Misurare la tensione come indicato nella figura sottostante e registrare la tensione di esercizio del dispositivo sottoposto a prova (V_b , in figura). V_b deve essere pari o superiore alla tensione di esercizio nominale del dispositivo sottoposto a prova;

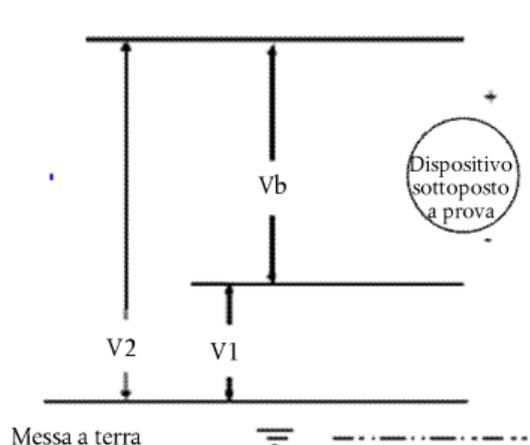


Figure 5.36 disposizione prova

- Seconda fase: Misurare e registrare la tensione (V_1) tra il polo negativo del dispositivo sottoposto a prova e la messa a terra;
- Terza fase: Misurare e registrare la tensione (V_2) tra il polo positivo del dispositivo sottoposto a prova e la messa a terra;
- Quarta fase: Se V_1 è superiore o uguale a V_2 , inserire una resistenza standard nota (R_o) tra il polo negativo del dispositivo sottoposto a prova e la messa a terra. Con R_o inserito, misurare la tensione (V_1') tra il polo

negativo del dispositivo sottoposto a prova e la messa a terra (si veda la figura 5.37).

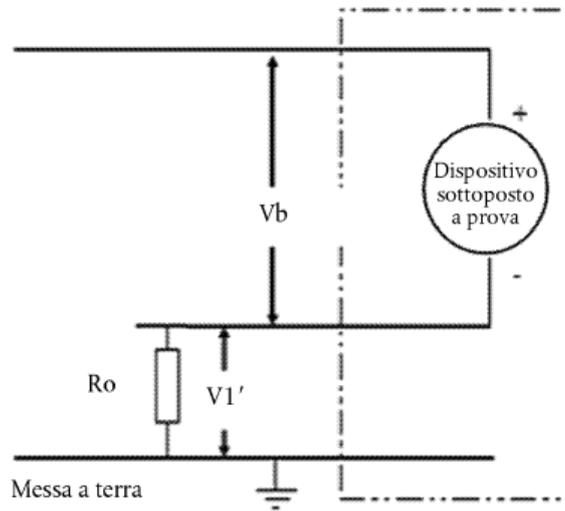


Figure 5.37 disposizione prova 2

Calcolare l'isolamento elettrico (R_i) con la seguente formula:

$$R_i = R_o \cdot (V_b/V_{1'} - V_b/V_1) \text{ oppure } R_i = R_o \cdot V_b \cdot (1/V_{1'} - 1/V_1)$$

Se V_2 è superiore a V_1 , inserire una resistenza standard nota (R_o) tra il polo positivo del dispositivo sottoposto a prova e la messa a terra. Con R_o inserito, misurare la tensione (V_2') tra il polo positivo del dispositivo sottoposto a prova e la messa a terra;

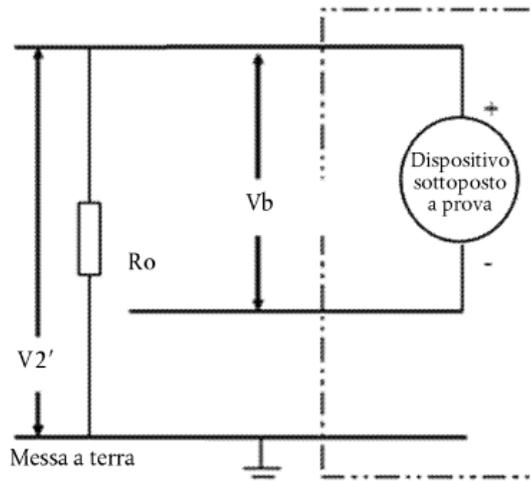


Figure 5.38 disposizione prova 3

Calcolare l'isolamento elettrico (R_i) con la seguente formula:

$$R_i = R_o \cdot (V_b/V_2' - V_b/V_2) \text{ oppure } R_i = R_o \cdot V_b \cdot (1/V_2' - 1/V_2)$$

- Quinta fase: Il valore dell'isolamento elettrico R_i (in Ω) diviso per la tensione nominale del dispositivo sottoposto a prova (in Volt) dà la resistenza d'isolamento (in Ω/V).
Nota: la resistenza standard nota R_o (in Ω) deve essere il valore della resistenza d'isolamento minima richiesta (in Ω/V) moltiplicato per la tensione nominale del dispositivo sottoposto a prova $\pm 20\%$ (in Volt). R_o non deve necessariamente corrispondere a tale valore, poiché le equazioni sono valide per qualsiasi R_o ; tuttavia, un valore R_o che rientra in questo intervallo dovrebbe permettere di misurare la tensione con una buona approssimazione.

Prova di resistenza alle vibrazioni

Lo scopo di questa prova consiste nel verificare le prestazioni in materia di sicurezza del REESS in un ambiente vibratorio a cui il REESS sarà probabilmente soggetto durante il funzionamento normale del veicolo.

Questa prova va effettuata con il REESS completo o con sottosistemi connessi al REESS, comprese le celle e i loro collegamenti elettrici. Se il costruttore sceglie di effettuare la prova con i sottosistemi connessi, egli deve dimostrare che il risultato della prova può ragionevolmente rappresentare le prestazioni in materia di sicurezza del REESS completo alle stesse condizioni. Se l'unità di gestione elettronica del REESS non è integrata nell'involucro contenente le celle, può essere omessa dall'installazione sul dispositivo sottoposto a prova su richiesta del costruttore.

Le seguenti condizioni si applicano al dispositivo sottoposto a prova:

- La prova deve essere eseguita a una temperatura ambiente di 20 ± 10 °C;
- All'inizio della prova, l'SdC (stato di carica) va regolato ad un valore superiore al 50 % dell'intervallo di esercizio normale dell'SdC del dispositivo sottoposto a prova;
- all'inizio della prova, tutti i dispositivi di protezione che influiscono sulle funzioni del dispositivo sottoposto a prova che sono rilevanti per l'esito della prova devono essere operativi;

I dispositivi sottoposti a prova devono essere sottoposti ad una vibrazione avente una forma ad onda sinusoidale con un'oscillazione logaritmica tra 7 Hz e 50 Hz e di nuovo 7 Hz percorsa in 15 minuti. Questo ciclo va ripetuto 12 volte per

un totale di 3 ore nella direzione verticale dell'orientamento di montaggio del REESS, come specificato dal costruttore.

La correlazione tra frequenza e accelerazione deve essere come indicato nella tabella:

Frequenza (Hz)	Accelerazione (m/s ²)
7-18	10
18-30	ridotta gradualmente da 10 a 2
30-50	2

Tabella 5.4 correlazione frequenza accelerazione

Dopo la vibrazione si deve eseguire un ciclo normale; la prova si conclude con un periodo di osservazione di 1 ora alla temperatura ambiente dell'ambiente di prova.

Ciclo normale

Un ciclo normale inizia con una scarica normale seguita da una carica normale.

Scarica normale: la procedura di scarica, compresi i criteri per determinarne la conclusione, sono definiti dal costruttore. Ove non diversamente specificato, la scarica avviene con una corrente 1C.

Dopo la scarica, segue un periodo di riposo di 30 minuti.

Carica normale: a procedura di carica, compresi i criteri per determinarne la conclusione, sono definiti dal costruttore. Ove non diversamente specificato, la carica avviene con una corrente C/3.

Integrità meccanica

Lo scopo di questa prova consiste nel verificare le prestazioni in materia di sicurezza del REESS sottoposto ai carichi di contatto che possono verificarsi in caso di incidente d'auto.

Le seguenti condizioni e prescrizioni si applicano alla prova:

- a) la prova deve essere eseguita a una temperatura ambiente di 20 ± 10 °C;

- b) all'inizio della prova, l'SdC va regolato ad un valore superiore al 50 per cento dell'intervallo di esercizio normale dell'SdC;
- c) all'inizio della prova, tutti i dispositivi di protezione interni ed esterni che influiscono sulle funzioni del dispositivo sottoposto a prova che sono rilevanti per l'esito della prova devono essere operativi.

Prova d'urto:

Il dispositivo sottoposto a prova deve essere schiacciato tra una resistenza e una piastra d'urto, come descritto nella figura, con una forza pari ad almeno 100 kN, ma non superiore a 105 kN, con un tempo di avvio dello schiacciamento inferiore a 3 minuti e un tempo di mantenimento dello schiacciamento di almeno 100 ms, ma non superiore a 10 s.

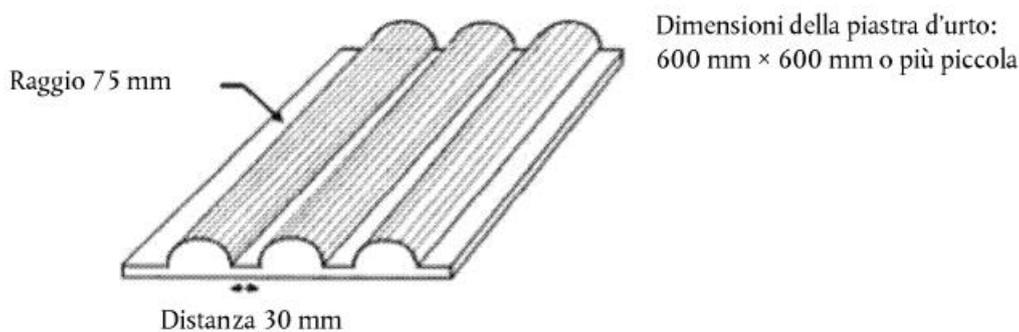


Figure 5.39 disposizione pezzo per test urto

La prova si conclude con un periodo di osservazione di 1 ora alla temperatura ambiente dell'ambiente di prova.

Resistenza al fuoco

La prova in analisi ha lo scopo di verificare la resistenza del REESS all'esposizione al fuoco proveniente dall'esterno del veicolo e dovuto ad esempio ad una fuoriuscita di carburante da un veicolo (che può essere il veicolo stesso o un veicolo situato nelle vicinanze). Questa situazione dovrebbe lasciare al conducente e ai passeggeri tempo sufficiente per evacuare.

È possibile effettuare questo tipo di test sull'intero veicolo, o solo sul componente; in questa trattazione andremo ad analizzare solo il caso di test su componente.

Vediamo tutte le accortezze da tener conto prima della messa in atto della prova:

- Il dispositivo sottoposto a prova va posizionato su una griglia che deve essere costituita da barre di acciaio, del diametro di 6-10 mm, distanziate 4-6 cm l'una dall'altra.
- La fiamma cui va esposto il dispositivo sottoposto a prova si ottiene bruciando combustibile commerciale per motori ad accensione comandata;
- Il fuoco deve interessare tutta la superficie del bacino durante tutto il tempo di esposizione al fuoco;
- Le dimensioni del bacino devono perciò superare la proiezione orizzontale del dispositivo sottoposto a prova di almeno 20 cm, ma di non oltre 50 cm. All'inizio della prova, la distanza tra la sommità delle laterali del bacino e il livello del combustibile non deve superare 8 cm.
- Se le prove avvengono all'aperto, occorre una protezione che impedisca al vento di superare la velocità di 2,5 km/h all'altezza del bacino di combustibile.

Vediamo le fasi della prova:

- Fase A: preriscaldamento

Il combustibile nel bacino viene acceso a una distanza di almeno 3 m dal dispositivo sottoposto a prova. Dopo 60 secondi di preriscaldamento, il bacino viene posto sotto il dispositivo sottoposto a prova. Se il combustibile è almeno a una temperatura di 20 °C, questa fase viene saltata.

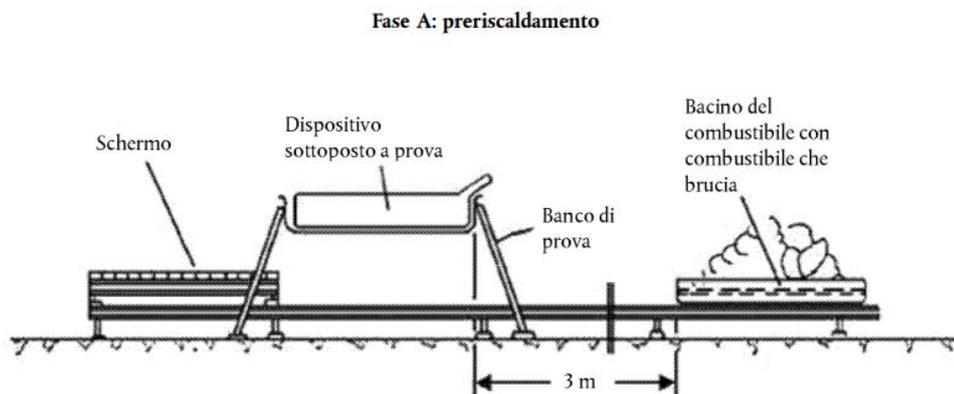


Figure 5.40 resistenza al fuoco esecuzione prova

- Fase B: esposizione diretta alla fiamma

Il dispositivo sottoposto a prova va esposto alla fiamma del combustibile che brucia liberamente per 70 secondi.

Fase B: esposizione diretta alla fiamma (figura 2)

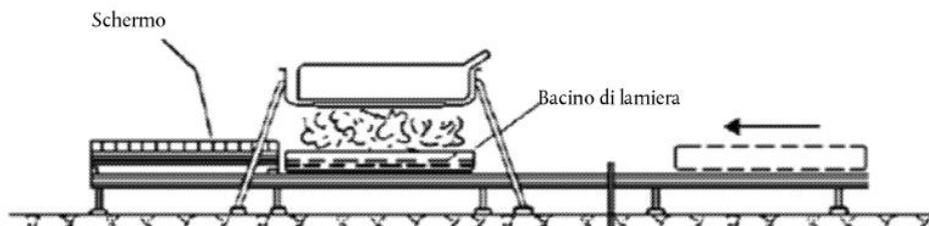


Figure 5.41 resistenza al fuoco esecuzione prova fase b

- Fase C: esposizione indiretta alla fiamma

Appena terminata la fase B, tra il bacino acceso e il dispositivo sottoposto a prova va sistemato lo schermo. Il dispositivo sottoposto a prova va esposto a questa fiamma ridotta per altri 60 secondi. Lo schermo deve essere posizionato $3\text{ cm} \pm 1\text{ cm}$ sopra il livello del combustibile misurato prima dell'accensione di quest'ultimo, e deve essere di materiale refrattario.

Fase C: esposizione indiretta alla fiamma

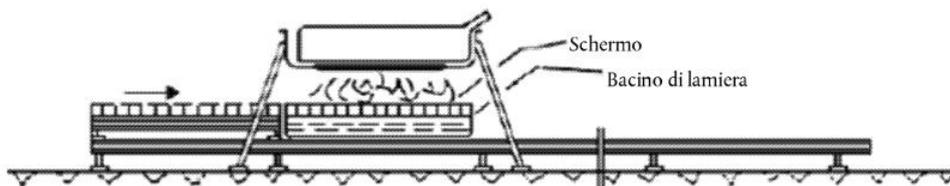


Figure 5.42 resistenza al fuoco esecuzione prova fase c

- Fase D: fine della prova

Il bacino ardente coperto dallo schermo deve essere ricollocato nella posizione descritta nella fase A. Non si deve spegnere il dispositivo sottoposto a prova. Dopo la rimozione del bacino, si deve osservare il dispositivo sottoposto a prova finché la sua temperatura superficiale non è scesa alla temperatura ambiente o non è diminuita per un minimo di 3 ore.

Fase D: fine della prova

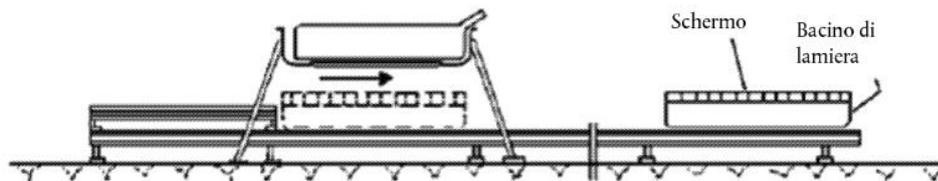


Figure 5.43 resistenza al fuoco esecuzione prova fase d

5.3 R10 [8]

Disposizioni uniformi relative all'omologazione di veicoli riguardo alla loro compatibilità elettromagnetica

Il presente regolamento si applica ai veicoli appartenenti alle categorie L, M, N e O riguardo alla compatibilità elettromagnetica.

Per «compatibilità elettromagnetica» si intende, la capacità di un veicolo, di un componente o di un'entità tecnica indipendente di funzionare in modo soddisfacente nel suo ambiente elettromagnetico senza indurre perturbazioni elettromagnetiche intollerabili per tutto ciò che si trova in quell'ambiente. Vediamo i test più comuni per verificare la compatibilità elettromagnetica dei veicoli.

Metodo di misurazione delle emissioni elettromagnetiche a banda larga irradiate dai veicoli

Il metodo di prova descritto nel presente allegato si applica unicamente ai veicoli. Tale metodo si applica a entrambe le seguenti configurazioni del veicolo:

1. configurazione diversa da «Modalità di ricarica del REESS mediante collegamento alla rete elettrica»;
2. configurazione «Modalità di ricarica del REESS mediante collegamento alla rete elettrica».

La prova mira a misurare le emissioni a banda larga generate dai sistemi elettrici o elettronici montati sul veicolo.

In questa trattazione andiamo ad analizzare solo il caso in cui ci troviamo in configurazione di modalità di ricarica del REESS; Lo stato di carica della batteria

di trazione deve essere mantenuto tra il 20 % e l'80 % dello stato di carica massimo durante l'intera misurazione della gamma di frequenze e la corrente, se è possibile regolarla, deve trovarsi almeno all'80% del suo valore nominale.

Vediamo un esempio di configurazione di prova per i veicoli con spina situata nella parte anteriore o posteriore del veicolo (alimentazione a CA o a CC con comunicazione)

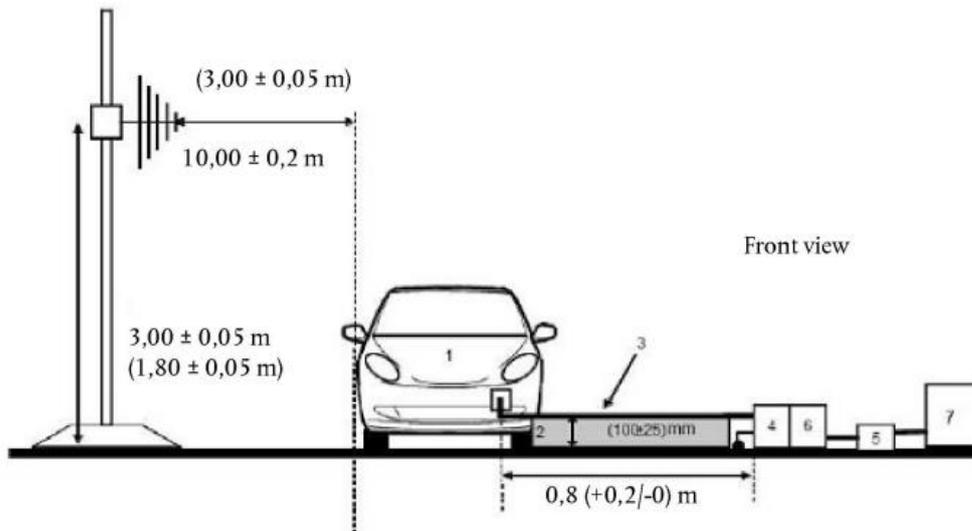


Figure 5.44 configurazione prova emissioni elettromagnetiche veicolo

essere fissato al piano di massa. All'uscita di misurazione di ciascuno stabilizzatore di impedenza deve essere collegata una resistenza da 50 Ω. Le misurazioni possono essere effettuate con rivelatori di picco o di quasi picco e con un rivelatore scanner; nelle tabelle sottostanti vengono riportate le informazioni per impostare i parametri di misura.

Parametri per l'analizzatore di spettro

Gamma di frequenze MHz	Rivelatore di picco		Rivelatore di quasi picco		Rivelatore di valore medio	
	RBW a - 3 dB	Tempo di scansione	RBW a - 6 dB	Tempo di scansione	RBW a - 3 dB	Tempo di scansione
Da 30 a 1 000	100/120 kHz	100 ms/MHz	120 kHz	20 s/MHz	100/120 kHz	100 ms/MHz

Tabella 5.5 parametri analisi spettro

Parametri per il ricevitore scanner

Gamma di frequenze MHz	Rivelatore di picco			Rivelatore di quasi picco			Rivelatore di valore medio		
	BW a - 6 dB	Ampiezza intervallo (°)	Tempo di esposizione	BW a - 6 dB	Ampiezza intervallo (°)	Tempo di esposizione	BW a - 6 dB	Ampiezza intervallo (°)	Tempo di esposizione
Da 30 a 1 000	120 kHz	50 kHz	5 ms	120 kHz	50 kHz	1 s	120 kHz	50 kHz	5 ms

Tabella 5.6 parametri rivelatore scanner

Le prove vanno effettuate ad intervalli regolari nella gamma tra 30 e 1000 Hz; se durante la prova il limite viene superato, occorre accertarsi che ciò sia dovuto al veicolo e non alla radiazione di fondo.

Metodo/i di prova delle emissioni causate da variazioni e fluttuazioni di tensione e da flicker su linee a ca del veicolo

Il metodo di prova descritto nel presente allegato si applica ai veicoli nella configurazione «Modalità di ricarica del REESS mediante collegamento alla rete elettrica».

La prova mira a misurare il livello di variazioni e fluttuazioni di tensione e di flicker causati dal veicolo nella configurazione «Modalità di ricarica del REESS mediante collegamento alla rete elettrica» attraverso la sua alimentazione a CA affinché sia compatibile con l'ambiente residenziale, commerciale e dell'industria leggera.

Al fine dello svolgimento della prova, lo stato di carica della batteria di trazione deve essere mantenuto tra il 20 % e l'80 % dello stato di carica massimo durante l'intera durata della misurazione (ciò può comportare la suddivisione della

misurazione in diversi intervalli di tempo e la necessità di far scaricare la batteria di trazione del veicolo prima di passare all'intervallo successivo). Qualora sia possibile regolare il consumo effettivo, la corrente deve essere regolata almeno sull'80 % del suo valore nominale. Il veicolo deve essere immobilizzato, con il motore spento. Tutti gli altri dispositivi attivabili in modo permanente dal conducente o dal passeggero devono essere spenti.

Nelle figure seguenti è rappresentato il metodo con cui viene effettuata la prova:

Veicolo in configurazione «Modalità di ricarica del REESS mediante collegamento alla rete elettrica» — Impostazione della prova monofase

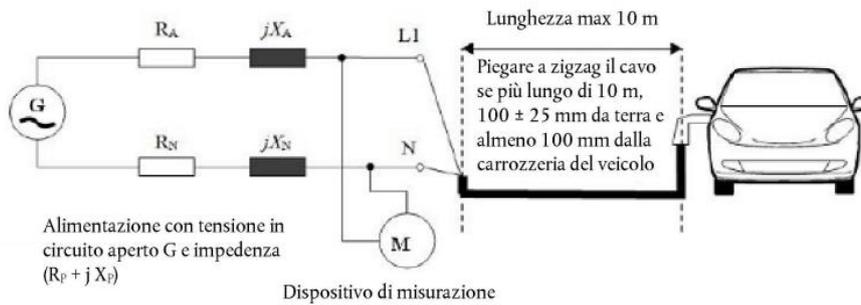


Figure 5.46 prova emissioni da flicker-monofase

Veicolo in configurazione «Modalità di ricarica del REESS mediante collegamento alla rete elettrica» — Impostazione della prova trifase

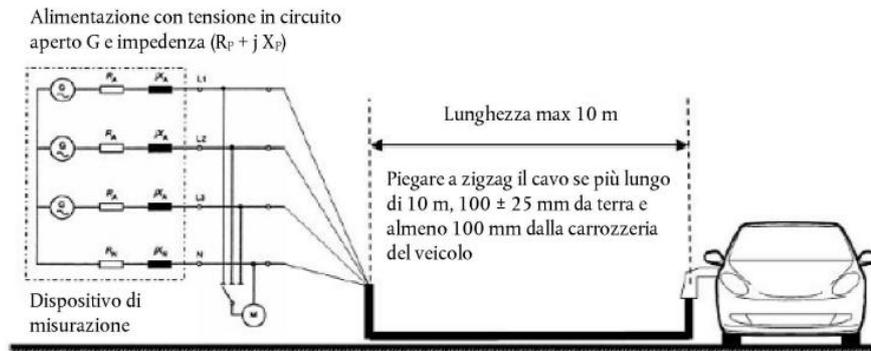


Figure 5.47 11 prova emissioni da flicker- trifase

I parametri da determinare nel lasso di tempo sono «valore del flicker di corta durata», «valore del flicker di lunga durata» e «variazione relativa della tensione».

I limiti imposti per questa categoria di veicolo sono riportati nelle tabelle seguenti.

Livello massimo consentito di armoniche (corrente di ingresso > 16 A e ≤ 75 A per fase) per apparecchi che non siano trifase bilanciati

R _{sc} minimo	Corrente armonica individuale ammissibile I _n /I ₁ %						Tasso massimo di corrente armonica %	
	I ₃	I ₅	I ₇	I ₉	I ₁₁	I ₁₃	THD	PWHD
33	21,6	10,7	7,2	3,8	3,1	2	23	23
66	24	13	8	5	4	3	26	26
120	27	15	10	6	5	4	30	30
250	35	20	13	9	8	6	40	40
≥ 350	41	24	15	12	10	8	47	47

Tabella 5.7 max consentito di armoniche

I valori relativi delle armoniche pari, inferiori o uguali a 12 devono essere inferiori a 16/n %. Le armoniche pari superiori a 12 sono prese in considerazione in THD (distorsione armonica totale) e in PWHD (distorsione armonica parziale ponderata) allo stesso modo delle armoniche dispari.

Metodo/i di prova dell'emissione di disturbi condotti da radiofrequenza (rf) su linee elettriche a cc o ca del veicolo

La prova mira a misurare il livello dei disturbi condotti di radiofrequenza (RF) generati dal veicolo nella configurazione «Modalità di ricarica del REESS mediante collegamento alla rete elettrica» attraverso la sua alimentazione a CC o a CA affinché sia compatibile con l'ambiente residenziale, commerciale e dell'industria leggera.

Lo stato di carica della batteria di trazione deve essere mantenuto tra il 20 % e l'80 % dello stato di carica massimo durante l'intera misurazione della gamma di frequenze (ciò può comportare la suddivisione della misurazione in varie sottobande e la necessità di far scaricare la batteria di trazione del veicolo prima di passare alle sottobande successive). Qualora sia possibile regolare il consumo effettivo, la corrente deve essere regolata almeno sull'80 % del suo valore nominale. Il veicolo deve essere immobilizzato, con il motore spento. Tutti gli altri dispositivi attivabili in modo permanente dal conducente o dal passeggero devono essere spenti.

Reti fittizie

La rete o le reti fittizie devono essere installate direttamente sul piano di massa. Gli involucri delle reti fittizie devono essere fissati al piano di massa. All'uscita di misurazione di ciascuna rete deve essere collegata una resistenza da 50 Ω. Essa va posizionata come si vede nelle figure sottostanti

Veicolo in configurazione «Modalità di ricarica del REESS mediante collegamento alla rete elettrica»

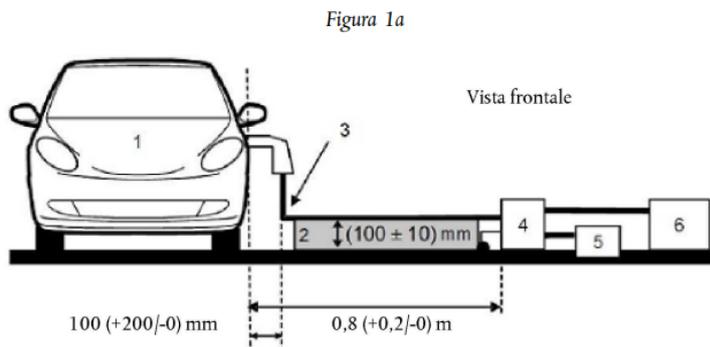


Figure 5.48 prova dell'emissione di disturbi – collegamento rete elettrica

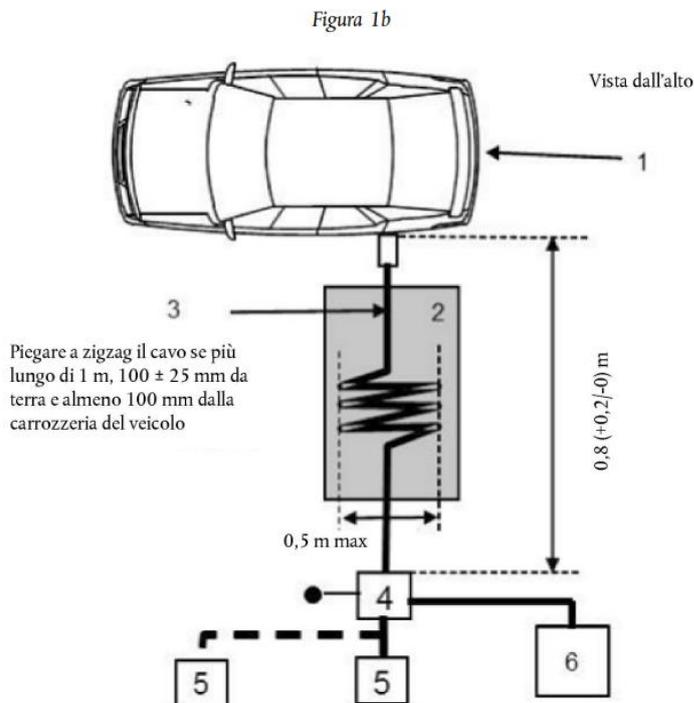


Figure 5.49 prova dell'emissione di disturbi – collegamento rete elettrica 2

- 1 Veicolo sottoposto a prova
- 2 Supporto isolante
- 3 Cavo di ricarica
- 4 Messa a terra della rete o delle reti fittizie (per linee elettriche a CC o a CA)
- 5 Presa di alimentazione di rete
- 6 Generatore di segnali

Le misurazioni vanno effettuate con un analizzatore di spettro o un ricevitore scanner. I parametri da utilizzare sono definiti nelle tabelle seguenti:

Parametri per l'analizzatore di spettro

Gamma di frequenze MHz	Rivelatore di picco		Rivelatore di quasi picco		Rivelatore di valore medio	
	RBW a - 3 dB	Tempo di scansione	RBW a - 6 dB	Tempo di scansione	RBW a - 3 dB	Tempo di scansione
Da 0,15 a 30	9/10 kHz	10 s/MHz	9 kHz	200 s/MHz	9/10 kHz	10 s/MHz

Tabella 5.8 analizzatore di spettro

Parametri per il ricevitore scanner

Gamma di frequenze MHz	Rivelatore di picco			Rivelatore di quasi picco			Rivelatore di valore medio		
	BW a - 6 dB	Ampiezza intervallo (°)	Tempo di esposizione	BW a - 6 dB	Ampiezza intervallo (°)	Tempo di esposizione	BW a - 6 dB	Ampiezza intervallo (°)	Tempo di esposizione
Da 0,15 a 30	9 kHz	5 kHz	50 ms	9 kHz	5 kHz	1 s	9 kHz	5 kHz	50 ms

Tabella 5.9 ricevitore scanner

Di seguito vengono riportati i limiti imposti per questo tipologia di test:

Livello massimo dei disturbi condotti da RF su linee elettriche a CA

Frequenza (MHz)	Limiti e rivelatore
Da 0,15 a 0,5	Da 66 a 56 dB μ V (quasi picco) da 56 a 46 dB μ V (media) (diminuiscono linearmente con il logaritmo della frequenza)
Da 0,5 a 5	56 dB μ V (quasi picco) 46 dB μ V (media)
Da 5 a 30	60 dB μ V (quasi picco) 50 dB μ V (media)

Livello massimo dei disturbi condotti da RF su linee elettriche a CC

Frequenza (MHz)	Limiti e rivelatore
Da 0,15 a 0,5	79 dB μ V (quasi picco) 66 dB μ V (media)
Da 0,5 a 30	73 dB μ V (quasi picco) 60 dB μ V (media)

Tabella 5.10 massimi disturbi su linee AC e CC

5.4 ISO 60243 [9] [10] [11]

resistenza elettrica dei materiali isolanti, metodi di test

Questa normativa fornisce metodi di prova per la determinazione della resistenza elettrica di breve durata dei materiali isolanti solidi a frequenze di alimentazione comprese tra 48 Hz e 62 Hz.

I risultati delle prove di resistenza elettrica ottenuti in conformità alla presente norma sono utili per rilevare cambiamenti o deviazioni dalle caratteristiche normali derivanti da variabili di lavorazione, condizioni di invecchiamento o altre situazioni di produzione o ambientali.

I valori misurati della resistenza elettrica di un materiale possono essere influenzati da molti fattori, tra cui:

- a) condizioni dei provini:
 - 1) spessore e omogeneità del provino e presenza di sollecitazioni meccaniche;

- 2) condizionamento precedente dei provini, in particolare procedure di essiccazione e impregnazione;
- 3) la presenza di inclusioni gassose, umidità o altre contaminazioni.

b) Condizioni di prova:

- 1) la frequenza, la forma d'onda e la velocità di salita o il tempo di applicazione della tensione;
- 2) la temperatura, la pressione e l'umidità ambientali;
- 3) la configurazione, le dimensioni e la conducibilità termica degli elettrodi di prova;
- 4) le caratteristiche elettriche e termiche del mezzo circostante.

A causa di questa variabilità, dobbiamo scegliere la forma e la dimensione del provino per svolgere la prova più adeguata;

Gli elettrodi metallici devono essere mantenuti sempre lisci, puliti e privi di difetti. La disposizione degli elettrodi per le prove su pannelli e lastre perpendicolari alla superficie è illustrata nella Figura sottostante.

I cavi non devono inclinare o spostare in altro modo gli elettrodi, né influenzare la pressione sul provino, e la configurazione del campo elettrico nelle vicinanze di esso.

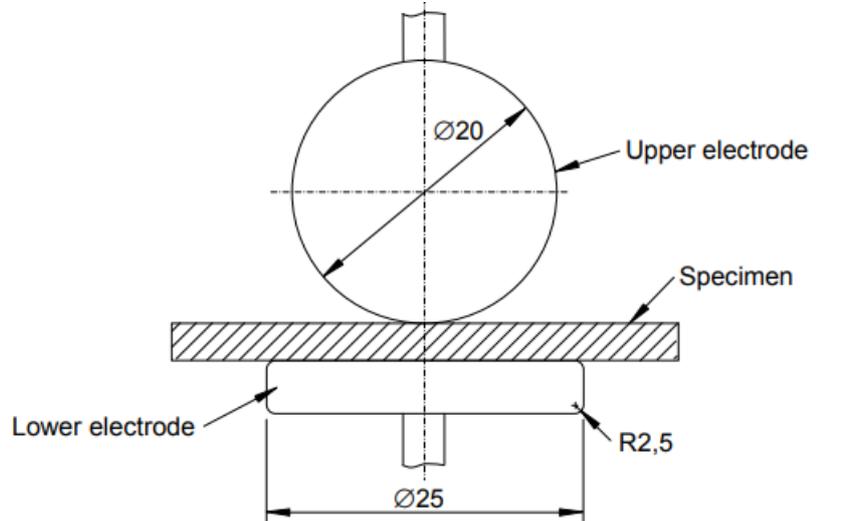


Figure 5.50 disposizioni prova

I cavi non devono inclinare o spostare in altro modo gli elettrodi, né influenzare la pressione sul provino, e la configurazione del campo elettrico nelle vicinanze di esso.

In questa trattazione, andremo a considerare una prova in cui gli elettrodi saranno costituiti da una sfera e da una piastra metallica. L'elettrodo superiore deve essere una sfera di (20 ± 1) mm di diametro e quello inferiore una piastra metallica di (25 ± 1) mm di diametro con il bordo arrotondato per ottenere un raggio di 2,5 mm. La discrepanza degli assi centrali tra gli elettrodi superiori e inferiori deve essere compresa entro 1 mm.

La resistenza elettrica dei materiali isolanti varia con la temperatura e il contenuto di umidità. Se è disponibile una specifica per il materiale da testare, occorre seguirla. Altrimenti, i campioni devono essere condizionati per non meno di 24 ore a (23 ± 2) °C, (50 ± 5) % di umidità relativa.

I materiali devono essere testati in un mezzo scelto per evitare il flashover. Quelli più adatti possono essere l'olio per trasformatori, il fluido siliconico, il fluido estere o un materiale di fusione appropriato. Il mezzo circostante non deve avere un'interazione significativa con il materiale in esame, ad esempio causando un rigonfiamento, durante il periodo di prova. I campioni con valori di rottura relativamente bassi possono essere testati in aria, in particolare se le prove devono essere eseguite a temperatura elevata. Anche a tensioni di prova moderate, le scariche ai bordi degli elettrodi possono avere effetti significativi sui valori di prova. Se si desidera che le prove valutino il comportamento di un materiale in un altro mezzo, è possibile utilizzare tale mezzo. Selezionare un mezzo che abbia il minimo effetto deleterio sul materiale in esame. L'effetto del mezzo ambientale sui risultati può essere notevole, in particolare nel caso di materiali assorbenti come la carta e i cartoni, ed è essenziale che le procedure per la preparazione dei campioni definiscano in modo esauriente tutte le fasi necessarie (ad esempio, l'essiccazione e l'impregnazione) e le condizioni del mezzo ambientale durante la prova. Si deve prevedere un tempo sufficiente affinché il provino e gli elettrodi raggiungano la temperatura richiesta, ma alcuni materiali possono risentire di un'esposizione prolungata a temperature elevate.

Una volta stabilito tutti i parametri prestazionali dei provini e tutto il materiale utilizzato per la prova, come analizzato finora, è possibile svolgere diverse tipologie di test differenti, analizziamone qualcuno.

Prova di aumento rapido della tensione

La tensione deve essere aumentata da zero a un tasso uniforme fino a quando si verifica la rottura. Per il materiale in esame si sceglie una velocità di innalzamento tale da provocare la rottura più comunemente tra 10 s e 20 s. Per i materiali che differiscono notevolmente nella loro tensione di rottura, alcuni campioni possono cedere al di fuori di questi limiti. È soddisfacente che la maggior parte dei guasti si verifichi tra 10 s e 20 s. Possono essere utilizzati anche altri tassi di aumento della tensione che soddisfino i criteri del tempo di guasto sopra menzionati, se concordati da tutte le parti. Il tasso di aumento deve essere scelto tra i seguenti: 100 V/s; 200 V/s; 500 V/s; 1 000 V/s; 2 000 V/s; 5 000 V/s;

ecc. Per un ampio spettro di materiali, un tasso di salita comunemente utilizzato è di 500 V/s.

20 s step-by-step test

Al provino deve essere applicata una tensione pari al 40% della tensione probabile di rottura di breve durata. Se il provino resiste a questa tensione per 20 s senza cedimenti, la tensione deve essere aumentata a passi incrementali come definito nella Tabella sottostante. Ogni aumento di tensione deve essere immediatamente e successivamente applicato al provino. Ogni aumento di tensione deve essere applicato immediatamente e successivamente per 20 s fino a quando non si verifica un cedimento.

When start voltage (kV) is	Increment kV
1,0 or less	10 % of start voltage
Over 1,0 to 2,0	0,1
Over 2,0 to 5,0	0,2
Over 5,0 to 10,0	0,5
Over 10 to 20	1,0
Over 20 to 50	2,0
Over 50 to 100	5,0
Over 100 to 200	10,0
Over 200	20,0

Tabella 5.11 test step by step

Se specificato, è possibile utilizzare incrementi di tensione inferiori. In tal caso, sono ammesse tensioni iniziali più elevate, ma la rottura non deve verificarsi in meno di 120 s. Gli aumenti di tensione devono essere effettuati il più rapidamente possibile e senza alcuna sovratensione transitoria, e il tempo trascorso per aumentare la tensione deve essere incluso nel periodo di 20 s alla tensione più elevata. Se la rottura si verifica in meno di sei livelli dall'inizio della prova, devono essere testati altri cinque campioni, utilizzando una tensione iniziale inferiore. La resistenza elettrica si basa sulla tensione nominale più alta che viene sopportata per 20 s senza guasti.

La rottura elettrica è accompagnata da un aumento della corrente che scorre nel circuito e da una diminuzione della tensione attraverso il campione. L'aumento di corrente può far scattare un interruttore automatico o far saltare un fusibile.

Tuttavia, l'intervento di un interruttore automatico può talvolta essere influenzato da flashover e correnti di dispersione o di scarica parziale. È quindi essenziale che l'interruttore automatico sia ben coordinato con le caratteristiche dell'apparecchiatura di prova e del materiale in esame; in caso contrario, l'interruttore automatico potrebbe funzionare senza che si verifichi la rottura del provino, oppure non funzionare quando si è verificata la rottura e quindi non fornire un criterio positivo di rottura.

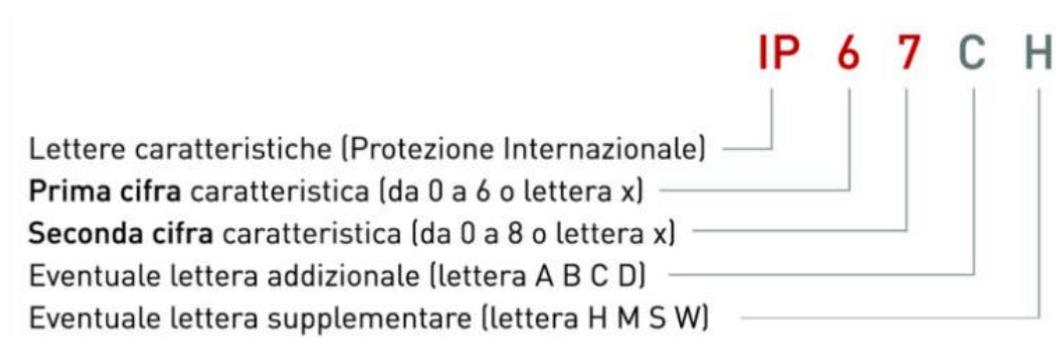
Quando le prove sono effettuate perpendicolarmente alla superficie di un materiale, come nel nostro caso, non vi è solitamente alcun dubbio quando si è verificato un guasto e il successivo controllo visivo mostra facilmente il canale di rottura effettivo, anche se non è riempito di carbonio.

Salvo indicazione contraria, si effettuano cinque prove e si determina la tensione di resistenza o di rottura elettrica in base alla mediana dei risultati di prova. Se un risultato di prova si discosta di oltre il 15 % dalla mediana, si effettuano altre cinque prove. La resistenza elettrica o la tensione di rottura devono quindi essere determinate dalla mediana dei 10 risultati. Quando le prove sono effettuate per scopi diversi dal controllo di qualità di routine, sarà necessario un numero maggiore di campioni a seconda della variabilità del materiale e dell'analisi statistica da applicare.

5.5 ISO 20653 [12]

Protezione delle apparecchiature elettriche contro gli oggetti estranei (CODICE IP)

Il Codice IP è il sistema di codifica che indica il grado di protezione di un involucro contro l'accesso, i corpi estranei e/o l'acqua e fornisce informazioni aggiuntive in relazione a tali parti.



- Se non viene indicato alcun elemento di codice, si sostituisce la lettera "X".
- Le lettere aggiuntive e/o supplementari possono essere omesse senza sostituirle.

- Le lettere aggiuntive che si susseguono direttamente devono essere in ordine alfabetico.
- Ogni volta che il grado di protezione di una parte dell'involucro o del materiale elettrico si discosta dal grado di protezione della parte restante, devono essere indicati entrambi i gradi di protezione.

La tabella sottostante contiene una panoramica degli elementi del codice IP:

Element	IP	Meaning for the protection of electrical equipment	Meaning for the protection of persons
First code element		Against foreign objects (including dust):	Against access:
	0	— not protected	— not protected
	1	— with diameter \geq 50 mm	— with back of hand
	2	— with diameter \geq 12,5 mm	— with finger
	3	— with diameter \geq 2,5 mm	— with tool
	4	— with diameter \geq 1,0 mm	— with wire
	5K	— dust-protected	— with wire
	6K	— dust-tight	— with wire
Second code element		Against water:	Not applicable
	0	— not protected	
	1	— vertical water drips	
	2	— water drips (15° inclination)	
	3	— water spray	
	4	— splash water	
	4K	— splash water with increased pressure	
	5	— high-velocity water	
	6	— strong high-velocity water	
	6K	— strong high-velocity water with increased pressure	
	7	— temporary immersion	
	8	— continuous submersion	
	9K	— high-pressure/steam-jet cleaning	
Additional letter (optional)		Not applicable	Against access (unless described by first letter)
	A		— with back of hand
	B		— with finger
	C		— with tool
	D		— with wire
Supplementary letter (optional)	M	Movement of moveable parts during water test	Not applicable
	S	Standstill of moveable parts during water test	

Tabella 5.12 elementi codice IP

Come si evince dalla tabella, nel caso in cui si stia verificando il grado di protezione all'acqua, è importante anche l'inclinazione e la pressione con cui il getto raggiunge l'oggetto in questione.

Per questo motivo vengono svolte [13] prove differenti per verificare il grado di IP di un oggetto che debba essere in grado di resistere all'acqua; le prove sono le seguenti:

- Spray ravvicinato (10-15cm);
- Acqua calda;
- Alta pressione;
- spray in rotazione (5rpm);

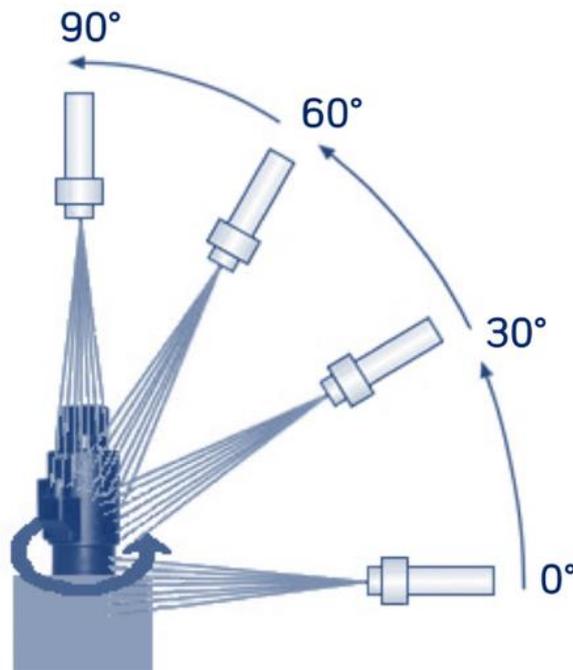


Figure 5.51 disposizione pezzo per prova IP con getto d'acqua

6. Validazione componenti

Nell'intricato regno dello sviluppo dei prodotti, le fasi di progettazione e validazione svolgono un ruolo fondamentale nel garantire il successo e l'efficacia di una nuova creazione. Nel panorama dell'innovazione dei veicoli elettrici (EV), questa fase riveste un significato particolare, in quanto ha la responsabilità di plasmare e certificare il futuro della mobilità sostenibile. Questo capitolo si propone di esplorare la validazione del progetto e la validazione del prodotto come elementi fondamentali nell'evoluzione dei veicoli elettrici, concentrandosi sul loro ruolo sinergico e sull'impatto che esercitano sullo sviluppo e sulla maturazione di questi modi di trasporto tecnologicamente avanzati. Mentre la convalida della progettazione si concentra sulla garanzia che il progetto del veicolo soddisfi le specifiche e le funzionalità previste, la convalida

del prodotto si estende oltre la progettazione per verificare le prestazioni, l'affidabilità e la conformità del prodotto finale EV agli standard stabiliti e alle aspettative degli utenti. La comprensione dell'interazione tra la validazione del progetto e la validazione del prodotto è fondamentale per affinare il processo di progettazione e garantire che il prodotto risultante sia in linea con i parametri di riferimento del settore e con le richieste dei consumatori.

Il connubio tra la convalida del progetto e la convalida del prodotto gioca un ruolo fondamentale nel determinare il successo del ciclo di vita di un veicolo elettrico.

Per rendere il più efficiente possibile tutta la fase di progettazione di un componente, ci si basa su due documenti di validazione di riferimento, ovvero l'APQP (Advanced Product Quality Planning) e il PPAP (Production Part Approval Process).

6.1 APQP

L'Advanced Product Quality Planning [14] (APQP) è una metodologia strutturata utilizzata nell'industria automobilistica, in particolare dai produttori di apparecchiature originali (OEM) e dai fornitori, per sviluppare e introdurre nuovi prodotti e processi. L'APQP è un approccio completo e proattivo che mira a garantire la qualità, la sicurezza e la soddisfazione del cliente identificando e affrontando i potenziali rischi nelle prime fasi del ciclo di vita dello sviluppo del prodotto. È un elemento essenziale nel perseguimento di uno sviluppo del prodotto efficiente ed efficace.

Ecco i componenti e i vantaggi principali dell'APQP:

- **Pianificazione e definizione:** L'APQP comporta la definizione dell'ambito del progetto, l'identificazione dei requisiti del cliente e la definizione di obiettivi e traguardi del progetto. Ciò include la comprensione dei requisiti normativi, di sicurezza e di qualità.
- **Progettazione e sviluppo del prodotto:** In questa fase ci si concentra sulla progettazione del prodotto o del processo. Comprende lo sviluppo del concetto, la verifica del progetto e la valutazione della sua fattibilità.
- **Progettazione e sviluppo del processo:** L'APQP prevede lo sviluppo dei processi necessari alla realizzazione del prodotto. Questa fase comprende i diagrammi di flusso del processo, l'analisi delle modalità di guasto e degli effetti del processo (PFMEA) e lo sviluppo del piano di controllo.

- **Convalida del prodotto e del processo:** In questa fase vengono condotte attività di convalida per garantire che il prodotto e i processi di produzione soddisfino i requisiti e le specifiche del cliente.
- **Feedback, valutazione e azione correttiva:** Vengono stabiliti cicli di feedback continui per identificare le aree di miglioramento, valutare le prestazioni e avviare azioni correttive quando necessario.

Vantaggi dell'APQP:

- **Riduzione dei rischi:** Identificando e affrontando sistematicamente i potenziali problemi nelle prime fasi di sviluppo, l'APQP aiuta a ridurre i rischi associati alla qualità, all'affidabilità e alla sicurezza del prodotto.
- **Riduzione dei costi:** Poiché i problemi vengono risolti tempestivamente, evitando modifiche o richiami in una fase successiva, l'APQP può contribuire a risparmiare i costi associati alla correzione dei difetti di progettazione o degli errori di processo.
- **Miglioramento della comunicazione:** L'APQP favorisce la comunicazione e la collaborazione tra i vari team coinvolti nello sviluppo del prodotto, migliorando il coordinamento e la comprensione.
- **Soddisfazione del cliente:** Allineando il prodotto finale ai requisiti e alle aspettative dei clienti, l'APQP contribuisce ad aumentare i livelli di soddisfazione dei clienti.
- **Efficienza ed efficacia:** L'approccio strutturato dell'APQP snellisce il processo di sviluppo del prodotto, rendendolo più efficiente ed efficace.

L'APQP è diventato parte integrante del processo di pianificazione della qualità dell'industria automobilistica, garantendo che i prodotti fabbricati soddisfino elevati standard di qualità, affidabilità e sicurezza. Questo approccio strutturato non si applica solo all'introduzione di nuovi prodotti, ma anche al continuo miglioramento e potenziamento dei prodotti e dei processi esistenti.

- **Convalida del prodotto:** Include il collaudo e la convalida dei componenti per garantire che soddisfino gli standard di prestazione, sicurezza e qualità.
- **Studi sulla capacità di processo:** I produttori valutano e dimostrano le loro capacità di processo, indicando la loro capacità di produrre costantemente componenti conformi alle specifiche.
- **Piano di controllo e produzione in serie:** I produttori sviluppano piani di controllo che definiscono le modalità di mantenimento della qualità e conducono la produzione al ritmo richiesto rispettando gli standard di qualità.
- **Garanzia di conformità:** I fornitori forniscono una garanzia o una dichiarazione di conformità, affermando che i componenti soddisfano le specifiche e gli standard richiesti.

Il PPAP ha un impatto profondo sulla produzione automobilistica, in quanto determina diversi risultati critici:

- **Garanzia di qualità:** Il processo funge da cancello della qualità, assicurando che i componenti soddisfino i rigorosi requisiti di qualità prima di essere utilizzati nel prodotto finale.
- **Riduzione dei rischi:** Il PPAP aiuta a ridurre i rischi identificando e correggendo i potenziali problemi nelle prime fasi del processo di produzione.
- **Relazione fornitore-cliente:** Favorisce la fiducia e la collaborazione tra i fornitori e le case automobilistiche, garantendo l'allineamento con le aspettative e i requisiti.
- **Conformità alle normative:** Il PPAP favorisce la conformità alle normative e agli standard del settore, essenziali per i componenti automobilistici.
- **Miglioramento continuo:** Attraverso il PPAP, i produttori identificano le aree di miglioramento, consentendo miglioramenti iterativi dei processi produttivi.

Il PPAP rimane uno strumento indispensabile per l'industria automobilistica, in quanto garantisce la qualità, l'affidabilità e la sicurezza dei componenti utilizzati nella produzione dei veicoli. Il suo approccio strutturato e il rigoroso processo di convalida assicurano che i produttori consegnino veicoli della massima qualità,

rispettando le aspettative dei clienti, le normative del settore e gli standard di sicurezza.

Il PPAP è una serie di documenti raccolti in un luogo specifico (un raccoglitore o in formato elettronico) chiamato "pacchetto PPAP". Il pacchetto PPAP è una serie di documenti che necessitano di una certificazione/firma formale da parte del fornitore e di un'approvazione/firma da parte del cliente. Il modulo che riassume questo pacchetto è chiamato PSW (Part Submission Warrant). La firma nell'area di certificazione del cliente del PSW indica che la persona responsabile del fornitore (di solito l'ingegnere della qualità o il responsabile della qualità) ha esaminato il pacchetto e che la persona responsabile del cliente (di solito l'ingegnere della qualità del cliente o il responsabile della qualità del cliente) non ha individuato alcun problema che ne impedisca l'approvazione.

La documentazione del pacchetto PPAP è strettamente correlata al processo di pianificazione avanzata della qualità del prodotto utilizzato durante la progettazione e lo sviluppo di nuovi veicoli e sistemi di componenti per ridurre il rischio di guasti imprevisti dovuti a errori di progettazione e produzione. Il manuale PPAP è pubblicato dall'AIAG e specifica i requisiti generici per ottenere le approvazioni PPAP.

Ulteriori requisiti specifici per il cliente possono essere imposti da particolari clienti (produttori di veicoli) e incorporati nei contratti di acquisto.

I fornitori sono tenuti a ottenere l'approvazione PPAP dai costruttori di veicoli ogni volta che un componente nuovo o modificato viene introdotto nella produzione o il processo di produzione viene modificato. Per ottenere l'approvazione, il fornitore deve fornire parti campione e prove documentali che dimostrino che:

- I requisiti del cliente sono stati compresi;
- Il prodotto fornito soddisfa tali requisiti;
- Il processo (compresi i subfornitori) è in grado di produrre un prodotto conforme;
- Il piano di controllo della produzione e il sistema di gestione della qualità impediranno che prodotti non conformi raggiungano il cliente o compromettano la sicurezza e l'affidabilità dei veicoli finiti.

Il PPAP si considera firmato quando un PSW completo viene approvato dal cliente e aggiunto alla cartella PPAP.

All'interno del Production Part Approval Process, vengono inseriti tanti documenti indispensabili al processo di validazione del componente; uno dei più rilevanti è la FMEA (Failure Mode and Effect Analysis).

FMEA

L'analisi dei modi e degli effetti di guasto [16](FMEA) è il processo di revisione del maggior numero possibile di componenti, assieme e sottosistemi per identificare i potenziali modi di guasto in un sistema e le loro cause ed effetti. Per ogni

componente, le modalità di guasto e gli effetti che ne derivano sul resto del sistema vengono registrati in uno specifico foglio di lavoro FMEA. Alle volte la FMEA viene estesa alla FMECA (failure mode, effects, and criticality analysis) per indicare che viene eseguita anche l'analisi della criticità. Un'attività FMEA di successo aiuta a identificare le potenziali modalità di guasto sulla base dell'esperienza con prodotti e processi simili o sulla base della logica fisica comune dei guasti. È ampiamente utilizzata nelle industrie di sviluppo e produzione in varie fasi del ciclo di vita del prodotto.

6.3 DV e PV

Alla base del processo produttivo, vengono utilizzati altri strumenti che hanno lo scopo di validare il design e la progettazione del prodotto, prima che nelle fasi successive le metodologie appena viste ne verifichino e approvino il processo di produzione.

Gli strumenti in questione sono la Design Verification (DV) e la Product Validation (PV).

La sinergia tra il processo di approvazione dei pezzi di produzione (PPAP), la convalida della progettazione (DV) e la convalida del prodotto (PV) è un'interazione cruciale che definisce il percorso per la realizzazione di veicoli affidabili e di alta qualità.

Il processo di approvazione dei pezzi di produzione, o PPAP, è il punto di controllo iniziale del processo di produzione.

Con il progredire del processo di produzione, il ruolo della convalida della progettazione diventa evidente. La validazione della progettazione è un processo meticoloso che si concentra sulla validazione della progettazione stessa.

Garantisce che il progetto di ciascun componente automobilistico sia conforme alle specifiche previste, agli standard normativi e ai requisiti di sicurezza. La DV diventa il ponte tra la fase di progettazione iniziale e il processo di approvazione della produzione intrapreso dal PPAP; questo perché c'è necessità di una progettazione convalidata prima dell'approvazione della produzione.

Quando il processo di produzione si avvicina al completamento, la convalida del prodotto assume un ruolo centrale ed è qui che entra in gioco la PV. La fase di convalida del prodotto comporta il collaudo e la convalida completi del prodotto automobilistico finale. Questa fase garantisce che i componenti assemblati, approvati attraverso il PPAP e convalidati nella loro progettazione attraverso il DV, soddisfino complessivamente i rigorosi standard di qualità, sicurezza e prestazioni.

6.4 Design verification

La verifica della progettazione, come aspetto centrale del processo di validazione, comporta la conferma che il progetto di ciascun componente e del veicolo nel suo complesso soddisfa le specifiche predeterminate. Nel contesto dei veicoli elettrici, ciò comprende la convalida del gruppo propulsore elettrico,

dei sistemi di stoccaggio dell'energia, dell'infrastruttura di ricarica e delle caratteristiche di sicurezza. L'obiettivo è quello di garantire che il progetto non solo sia conforme agli standard normativi, ma che sia anche in linea con le aspettative di prestazioni inerenti alla propulsione elettrica.

Vediamo alcuni aspetti fondamentali su cui la design verification si sofferma:

- **Propulsore e accumulo di energia**

Nel campo dei veicoli elettrici, i sistemi di propulsione e di stoccaggio dell'energia sono componenti centrali soggetti a una rigorosa verifica della progettazione. Ciò comporta la conferma che il design del gruppo propulsore faciliti una conversione efficiente dell'energia, garantendo prestazioni e autonomia ottimali. Inoltre, il sistema di stoccaggio dell'energia è sottoposto a un esame per garantire la sua capacità di immagazzinare e rilasciare energia in modo affidabile durante il ciclo di vita del veicolo.

- **Infrastruttura di ricarica:**

Con l'accelerazione dell'adozione dei veicoli elettrici, l'infrastruttura di ricarica diventa un aspetto critico della verifica di progetto. Garantire la compatibilità, l'affidabilità e la sicurezza dei sistemi di ricarica è essenziale per il successo complessivo e l'accettazione dei veicoli elettrici. La verifica della progettazione in questo contesto implica la conferma che il veicolo elettrico può integrarsi perfettamente con diverse stazioni di ricarica, rispettando gli standard del settore.

- **Considerazioni sulla sicurezza:**

La verifica della progettazione nella convalida dei veicoli elettrici va oltre la semplice conformità normativa e comprende considerazioni complete sulla sicurezza. Ciò comporta la valutazione della robustezza del progetto nella protezione dai rischi elettrici, dalla gestione termica e dagli scenari di emergenza propri della propulsione elettrica.

6.5 Product validation

I veicoli elettrici, caratterizzati da sistemi di propulsione innovativi e tecnologie avanzate, richiedono un approccio meticoloso alla convalida. La convalida del prodotto si colloca all'apice di questo processo, concentrandosi sulla valutazione delle prestazioni del veicolo finale assemblato, delle caratteristiche di sicurezza e della conformità generale agli standard del settore.

Mentre la verifica della progettazione esamina i singoli componenti, la convalida del prodotto adotta un approccio olistico, valutando come questi componenti funzionano insieme nel sistema completo del veicolo elettrico. Questa

valutazione completa garantisce che l'intero veicolo sia superiore alla somma delle sue parti, allineandosi alle specifiche di progetto previste.

Di seguito vengono elencati alcuni punti fondamentali toccati in questa analisi:

- prestazioni:

La convalida del prodotto nei veicoli elettrici comporta un esame rigoroso delle metriche delle prestazioni, che coprono aspetti quali l'accelerazione, l'autonomia, l'efficienza energetica e i tempi di ricarica. Questa fase mira a confermare che il veicolo elettrico soddisfa o supera le aspettative di prestazioni stabilite durante la fase di progettazione, fornendo un'esperienza di guida ottimale agli utenti finali.

- Garanzia di sicurezza:

La convalida del prodotto si concentra sulla valutazione delle caratteristiche di sicurezza proprie della propulsione elettrica, tra cui la sicurezza dei sistemi ad alta tensione, la gestione termica e i protocolli di emergenza. In questo modo si garantisce che i veicoli elettrici non solo siano rispettosi dell'ambiente, ma rispettino anche i più elevati standard di sicurezza.

- Impatto ambientale:

Poiché la sostenibilità diventa una pietra miliare dello sviluppo dei veicoli elettrici, la convalida dei prodotti estende la sua portata alla valutazione dell'impatto ambientale del ciclo di vita dei veicoli elettrici. Ciò include la valutazione delle fonti energetiche, della riciclabilità dei componenti e dell'impronta ecologica complessiva, allineandosi agli obiettivi più ampi della mobilità sostenibile.

- Simulazioni del mondo reale:

Vengono simulate diverse condizioni di guida e scenari di utilizzo. In questo modo i produttori possono identificare i potenziali punti deboli, convalidare l'efficacia dei sistemi di sicurezza e ottimizzare le prestazioni in uno spettro di situazioni reali.

La convalida del prodotto non è una fase statica, ma un processo iterativo che facilita il miglioramento continuo. Le conoscenze acquisite con l'uso reale, il feedback dei clienti e le tecnologie emergenti contribuiscono a perfezionare e ottimizzare le prestazioni e le caratteristiche del veicolo elettrico.

Nelle tabelle sottostanti vengono riportati i punti focali di questi due strumenti fondamentali per la validazione dei componenti, e le loro differenze sostanziali, che rendono sia DV che PV fondamentali per il processo.

DV testing	PV testing
DV testing stand for design verification testing.	PV testing is Part validation testing.
Purpose of DV testing is to validate product design meet established requirements. DV testing is physical testing of pre-production or production part.	Purpose of PV testing is to verify the product produced from production process and tools meet the requirement. PV testing is physical testing of production part.
For DV testing we need input- Customer drawing, specification mentioned in drawing or any warranty issue mentioned.	For PV testing input will be PPAP functional requirements. Final drawing, Mass production level part, Tool up part, required production rate achieved, all ECN implemented.

Figure 6.53 differenza fra PV e DV

Verification	Validation
Verification means the evaluation whether the product has been designed and produced according to the specifications, drawings, regulations, instructions.	Validation mean the evaluation whether the product is working according to the specifications, drawings, regulations, instructions
An exercise on paper that checks if the design is developed according to, and complies with standards, governmental regulations, industry-specific regulations, customer requirements.	A physical test of the product that validates, if the design of the product itself is capable of meeting design requirements.
In addition it analyses if the design outputs met the design input requirements.	

Figure 6.54 differenza fra validation e verification

In questa trattazione, basandoci sulle indicazioni degli strumenti appena analizzati, cercheremo di creare un piano di test per una architettura elettrica, organizzato secondo gli standard validativi appena analizzati. Dalla coesione fra standard validativi e processi di test per i vari componenti, otterremo un processo di validazione di architettura elettrica, ottimizzato al massimo, in modo da renderlo il meno dispendioso possibile in termini di risorse economiche e di tempo.

7 Definizione del testing plan

Nel panorama dinamico dei veicoli elettrici (EV), lo sviluppo e l'implementazione di un solido piano di test risulta fondamentale per garantire le prestazioni, la sicurezza e l'affidabilità di questi innovativi mezzi di trasporto. Il presente capitolo illustra un piano di test completo, studiato su misura per i veicoli elettrici, che comprende una serie di prove e valutazioni volte a convalidare ogni aspetto della progettazione e della funzionalità di un veicolo elettrico.

Un piano di test per i veicoli elettrici è guidato dall'obiettivo generale di garantire che i veicoli elettrici soddisfino o superino i parametri di prestazione predefiniti, gli standard di sicurezza e le aspettative di affidabilità.

Per poter definire un piano di test robusto, sono necessari vari passaggi fondamentali; uno di questi è la definizione dei requisiti.

Per requisito si intende un parametro qualitativo o quantitativo, imposto dal cliente nei confronti del produttore, che definisce le caratteristiche del componente stesso.

La base di un solido piano di test inizia con l'identificazione di ciascun componente del veicolo elettrico e con un'analisi approfondita dei suoi requisiti specifici. Questa fase prevede la collaborazione con ingegneri e progettisti per definire le specifiche e le funzionalità attese di elementi critici come batterie, gruppi propulsori, motori elettrici e sistemi di controllo.

Contemporaneamente è fondamentale la valutazione completa dei rischi. Si tratta di identificare i rischi potenziali associati a ciascun componente e di valutarne l'impatto potenziale sulle prestazioni complessive del veicolo. La definizione delle priorità è fondamentale per concentrare gli sforzi di test sui componenti o sulle funzionalità ad alto rischio che sono fondamentali per la sicurezza e il funzionamento del veicolo elettrico.

Una volta identificati i requisiti dei componenti, l'attenzione si sposta sulla verifica della progettazione e sui test di integrazione. La verifica della progettazione assicura che i singoli componenti soddisfino i criteri specificati e funzionino entro i parametri definiti. I test di integrazione valutano il modo in cui questi componenti collaborano all'interno del sistema globale del veicolo elettrico, verificando che funzionino perfettamente insieme.

Per verifica si intende la conferma, attraverso l'esame e la fornitura di prove oggettive, che i requisiti specificati per il prodotto sono stati soddisfatti.

I requisiti variano da componente a componente, ma possono anche variare in base alla profondità di indagine a cui decide di spingersi il cliente.

In ogni caso, non si tratta di parametri universali, ma anche questi sono a discrezione del richiedente.

Di seguito un esempio di lista formata da categorie di requisiti impostabili nell'analisi di una architettura di veicolo elettrico (si parla sempre di parametri trovati in letteratura senza violare informazioni sensibili aziendali, perciò non sempre tutti allo stesso livello di approfondimento o completezza).

- parametri strutturali e meccanici;
 - Ingombro e dimensioni;
 - Peso;
- Performance e efficienza vari componenti;
 - Efficienza vari componenti elettrici;
 - Capacità batteria;
 - Tempi di ricarica;
 - Test di vita dei vari componenti;
 - Test sotto stress in varie condizioni di guida;
 - Performance macchina elettrica;
- Test di isolamento e test chimici;
 - Grado di IP;
 - Umidità;
 - Resistenza termica;
 - Compatibilità con fluidi;
 - Corrosione;
- Compatibilità elettromagnetica;
 - Connessioni alta tensione;
 - Collegamento dashboard;
- Test di sicurezza;
 - Performance freni e componenti;
 - Fatica componenti a vari cicli stradali;
 - Affidabilità;

Definiti i parametri richiesti per ogni componente, bisogna passare alla fase di test. L'obiettivo è quello di tramutare il requisito in uno o più test appositi che possano verificare che la richiesta sia stata soddisfatta; questo permette di certificare e rendere più affidabile il veicolo stesso.

Test componenti

Il piano di test inizia con le valutazioni a livello di componenti, sottoponendo elementi critici come batterie, motori elettrici e componenti del gruppo propulsore a valutazioni rigorose. Questa fase garantisce che ogni componente

operi entro i parametri specificati e soddisfi o superi gli standard industriali di efficienza e affidabilità.

Test di compatibilità

I test di compatibilità si concentrano sulla valutazione del modo in cui i singoli componenti collaborano all'interno del sistema completo del veicolo elettrico. Questa fase verifica che i componenti funzionino perfettamente insieme, confermando che il gruppo propulsore elettrico, il sistema di accumulo dell'energia e i sistemi di controllo si armonizzano per fornire prestazioni ottimali e che non ci sia conflitto o interazione elettromagnetica che possa comprometterne il normale funzionamento.

Con l'evoluzione dell'infrastruttura di ricarica, il piano di test include la valutazione della compatibilità del veicolo elettrico con le varie stazioni di ricarica. In questo modo si garantisce che i veicoli elettrici possano integrarsi perfettamente con diverse tecnologie, contribuendo al successo e all'accettazione generale dei veicoli elettrici.

Test sulle prestazioni

I test sulle prestazioni sono una pietra miliare del piano di collaudo e comprendono valutazioni dell'accelerazione, dell'autonomia e dell'efficienza energetica. Questi test mirano a convalidare che il veicolo elettrico fornisca le metriche di prestazione previste, soddisfacendo o superando le aspettative stabilite durante la fase di progettazione.

Test di sicurezza

Date le particolari considerazioni sulla sicurezza dei veicoli elettrici, il piano di test dedica una parte sostanziale alle valutazioni sulla sicurezza. Ciò comprende valutazioni della sicurezza dei sistemi ad alta tensione, della gestione termica, dei crash test e dei protocolli di emergenza per garantire che i veicoli elettrici rispettino i più elevati standard di sicurezza.

Test di resistenza e affidabilità

I test di resistenza e affidabilità sottopongono i veicoli elettrici a condizioni operative prolungate per identificare potenziali problemi di usura. Questa fase garantisce che i veicoli elettrici mantengano le loro prestazioni e la loro affidabilità per un lungo periodo di vita.

Impatto ambientale

Per rispondere alla crescente importanza della sostenibilità, il piano di test incorpora valutazioni ambientali. Questa fase valuta l'impatto ambientale dei veicoli elettrici, considerando fattori quali la fonte di energia, la riciclabilità dei componenti e l'impronta ecologica complessiva durante il ciclo di vita del veicolo.

Il culmine di queste fasi porta alla formulazione di un piano di prova completo. Questo documento delinea le procedure, le metodologie e i criteri di test per ogni componente e funzionalità identificata. Serve come guida per il team di collaudo, assicurando che ogni aspetto del veicolo elettrico sia valutato e convalidato in modo approfondito.

All'interno di questo documento, vanno inserite molte informazioni riguardo ai vari test, a partire dall'ordine e la durata, fino ad arrivare al contesto normativo (dove possibile).

Come abbiamo visto precedentemente, la fase di validazione dei componenti si suddivide in design verification e product validation; per questo motivo vengono stipulati due piani di test differenti che si riferiscono a ciascuna di queste due fondamentali fasi.

Nelle immagini sottostanti sono riportate graficamente le fasi di creazione dei testing plan, partendo dai requisiti fino ai documenti.

Entrambi i testing plan non sono completamente compilati perché molte informazioni derivano dal contatto diretto fra fornitore e cliente e sono informazioni riservate e non facilmente ottenibili. Entrambi i documenti, anche se non completi, servono a mostrare quali sono i punti focali analizzati nella validazione dei componenti e quali possono essere le categorie analizzate.

Requisiti

	REQUISITI	COMMENTO
MACCHINA ELETTRICA	INGOMBRO PESO RESISTENZA TERMICA GRADO IP PERFORMANCE EFFICIENZA CLASSE DI ISOLAMENTO	spazio massimo occupato dalla macchina elettrica all'interno del veicolo peso max macchina elettrica resistenza alla variazione di temperatura dovuta a fattori ambientali o di prestazionali resistenza alla polvere o acqua mappatura motore voluta efficienza richiesta isolamento elettrico
BATTERIA	INGOMBRO PESO RESISTENZA TERMICA CAPACITÀ ISOLAMENTO ELETTRICO COMPATIBILITÀ ELETTROMAGNETICA GRADO IP TEMPO DI CARICA/SCARICA RESISTENZA ALLA CORROSIONE/OSSIDAZIONE	spazio massimo occupato dalla batteria all'interno del veicolo peso max batteria resistenza alla variazione di temperatura dovuta a fattori ambientali o di prestazionali capacità batteria isolamento elettrico del componente compatibilità elettromagnetica con altri componenti elettrici presenti su veicolo resistenza a polvere e acqua andamento ciclo vita batteria che rispecchi le richieste
ASSALE	DIMENSIONE SEMIASSE PESO RESISTENZA STRUTTURALE AL CARICO RESISTENZA ALLE VIBRAZIONI FATICA	ingombro semiasse max peso supportabile carico max verticale/laterale resistenza alle vibrazioni numero cicli vita prima di rottura a fatica o cedimento a fatica componenti

Figure 7.55 requisiti

Design verification

COMPONENTE	TEST	TECNOLOGIA	AMBIENTE DI TEST	SVOLTO DA:	TEST METODO/PROCEDURA	NUMERATA DA (FORMA N°/CART/ID)	VERSIONE	SAMPLES	DURATA	THRESHOLDS	DATA INIZIO PROVA	DATA FINE PROVA	RESULTATO	REPORT DI RIFERIMENTO	
BATTERIA/SEMI	insulation test: hi/pot test adhesion test: tape cycle thermal test impact test: open circuit voltage test power test: high/low Power Characterization power test: peak power test efficiency test: constant frequency Process adherence: rapid data transition Hi/Low temp test Vibration test: random Vibration test: sine Cycle life: stress test Resonance test: electro-mechanical Emission test: EMC	safety electrical test safety mechanical test safety electrical test performance electrical test performance electrical test performance electrical test safety electrical test safety electrical test safety mechanical test safety mechanical test performance electrical test performance electrical test safety electrical test safety electrical test	bench test bench test	F0994109E F0994109E F0994109E F0994109E F0994109E F0994109E F0994109E F0994109E F0994109E F0994109E F0994109E F0994109E F0994109E F0994109E F0994109E	UNECE R 101 UNECE R 101 UNECE R 101 request client request client	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15									
MACCHINA ELETTRICA	vibration test: bearing housing vibration insulation test: voltage stress test power: peak power test cycle life: stress test	safety mechanical test safety electrical test performance electrical test performance electrical test	bench test bench test bench test bench test	F0994109E F0994109E F0994109E F0994109E	request client request client request client request client	1 2 3 4									
ASSALE	shock and vibration test load/lift test gear fatigue test cycle life: stress test	safety mechanical test safety mechanical test performance mechanical test performance mechanical test	bench test bench test bench test bench test	F0994109E F0994109E F0994109E F0994109E	request client request client request client request client	1 2 3 4									
REALIZZAZIONE ELETTRICA	insulation test vibration test: bearing housing vibration cycle thermal test gear fatigue test cycle life: stress test Resonance test: electro-mechanical Emission test: EMC	safety electrical test safety mechanical test safety electrical test safety mechanical test performance electrical test performance electrical test safety electrical test safety electrical test	bench test bench test bench test bench test bench test bench test bench test bench test	F0994109E F0994109E F0994109E F0994109E F0994109E F0994109E F0994109E F0994109E	request client request client request client request client request client request client request client request client	1 2 3 4 5 6 7									

Figure 7.56 testing plan design verification

- Prima parte: organizzazione test;

DESIGN VERIFICATION				
COMPONENTE	TEST	TIPOLOGIA	AMBIENTE DI TEST	SVOLTO DA:
REESS*				
sistema ricaricabile di accumulo dell'energia. Battery pack + battery management system				
BATTERIA (REESS*)				
1	insulation test: highpot test	safety-electrical test	bench test	FORNITORE
2	vibration resistance	safety-mechanical test	bench test	FORNITORE
3	cyclic thermal test	safety-thermal test	bench test	FORNITORE
4	capacity test: open circuit voltage test	performance-electrical test	bench test	FORNITORE
5	power test: Hybrid Pulse Power Characterization	performance-electrical test	bench test	FORNITORE
6	power test: peak power test	performance-electrical test	bench test	FORNITORE
7	capacity test: calendar life test	performance-electrical test	bench test	FORNITORE
8	Prova di aumento rapido della tensione	safety-electrical test	bench test	FORNITORE
9	20 s step-by-step test	safety-electrical test	bench test	FORNITORE
10	urto meccanico: carichi inerziali	safety-mechanical test	bench test	FORNITORE
11	urto meccanico: integrità meccanica	safety-mechanical test	bench test	FORNITORE
12	cycle life dynamic stress test	endurance-electrical (maybe destructive)	bench test	FORNITORE
13	fire resistance	safety-environmental destructive test	bench test	FORNITORE
14	misurazione delle emissioni elettromagnetiche a banda larga	safety-electrical test	bench test	FORNITORE
15	emissione di disturbi su radiofrequenze	safety-electrical test	bench test	FORNITORE
MACCHINA ELETTRICA				
1	vibration test: bearing housing vibration	safety-mechanical test	bench test	FORNITORE
2	insulation test: windings immersion test	safety-electrical test	bench test	FORNITORE
3	power: peak power test	performance-electrical test	bench test	FORNITORE
4	power: net power test	performance-electrical test	bench test	FORNITORE
5	cycle life dynamic stress test	endurance-electrical test	bench test	FORNITORE
ASSALE				
1	shock and vibration test	safety-mechanical test	bench test	FORNITORE
2	load test: vertical and combined load	safety-mechanical test	bench test	FORNITORE
3	gear fatigue test	endurance-mechanical test destructive	bench test	FORNITORE
4	cycle life dynamic stress test	endurance-mechanical test	bench test	FORNITORE
ASSALE-MACCHINA ELETTRICA				
1	insulation test	safety-electrical test	bench test	INTERNO
2	vibration test: bearing housing vibration	safety-mechanical test	bench test	INTERNO
3	load test	endurance-mechanical test	bench test	INTERNO
4	gear fatigue test	safety-mechanical test	bench test	INTERNO
5	cycle life dynamic stress test	endurance-mechanical test	bench test	INTERNO
6	misurazione delle emissioni elettromagnetiche a banda larga	safety-electrical test	bench test	FORNITORE
7	emissione di disturbi su radiofrequenze	safety-electrical test	bench test	FORNITORE

Figure 7.57 focus prima parte testing plan

Nella prima parte del documento, vengono inserite tutte le informazioni principali riguardanti i test, l'ordine con cui questi vengono svolti, la tipologia di test e da chi viene svolto.

Non forniscono indicazioni fondamentali ma servono per dare una inquadratura sommaria della prova.

Possiamo notare come la batteria sia il componente con più test; questo denota il fatto che è un componente molto controllato e centrale per la validazione del veicolo.

Inoltre, per l'assale, la maggioranza dei test trovati riguardano prestazioni, tra cui l'erogazione della coppia, l'accelerazione e l'efficienza energetica. La valutazione dell'efficienza dell'assale dei veicoli elettrici è fondamentale per ottimizzare l'uso dell'energia e garantire un'esperienza di guida reattiva e dinamica. Oltre questo è importante anche svolgere delle analisi strutturali, in quanto si tratta di un componente con carichi e sollecitazioni elevate, che può subire danni strutturali dovuti a fatica.

Come è possibile vedere dalla figura soprastante, è posta l'attenzione anche sul sistema assale-macchina elettrica; infatti, vengono svolti dei test di integrazione per valutare il modo in cui l'asse si interfaccia con il motore.

Verifica dell'integrazione dell'asse con i più ampi sistemi di controllo del veicolo. Valutazione dei protocolli di comunicazione per garantire un'interazione perfetta con l'unità di controllo centrale del veicolo, assicurando un funzionamento armonioso all'interno del sistema di propulsione elettrica complessivo.

Per quanto riguarda la macchina elettrica, i test necessari per svolgere un'analisi completa sarebbero innumerevoli.

- analisi delle prestazioni di coppia e potenza;
- analisi dinamiche di accelerazione e decelerazione;
- analisi di efficienza;
- Test di resistenza alle vibrazioni e agli urti;
- Resistenza all'umidità;
- Test di integrazione del motore con i sistemi elettronici su veicolo;
- Analisi termiche;
- Test di durata;

Ci sarebbe da aggiungere tante categorie di test che non vengono citate; in questa trattazione vengono esposte solo alcune di queste in quanto si tratta, come già detto, solo di informazioni derivanti da uno studio della letteratura, che non permette di produrre una panoramica completa del componente.

l'adesione agli standard di sicurezza, ambientali e prestazionali è obbligatoria. Un piano di test in linea con i documenti normativi garantisce che il veicolo elettrico soddisfi o superi i requisiti stabiliti dagli enti normativi.

Inoltre, molti documenti normativi sono essenziali per ottenere certificazioni e approvazioni. Ad esempio, la conformità agli standard ISO o alle normative di sicurezza regionali è spesso un prerequisito per la certificazione. Un piano di test allineato a queste norme accelera il processo di certificazione, consentendo al veicolo di entrare nel mercato in modo più efficiente.

Come è possibile vedere dall'immagine soprastante, è presente anche la versione del documento di riferimento.

Questo perché i documenti normativi vengono aggiornati periodicamente per tenere conto dei progressi tecnologici. I piani di collaudo che fanno riferimento agli standard più recenti garantiscono che i veicoli elettrici siano valutati in base ai requisiti tecnologici attuali, promuovendo l'innovazione e la competitività sul mercato.

Nella sezione "thresholds", sono presenti (dove è possibile ricavarli dai documenti) i limiti fuori dai quali il test può essere ritenuto non superato e quindi da ripetere.

Per molti test non è semplice compilare banalmente la tabella con un valore in quanto non esiste un valore che certifica la buona riuscita del test, ma è in termini di funzionalità e prestazioni del componente dopo il test, che se ne misura il comportamento.

Product Validation

Sistema fotovoltaico di controllo dell'energia (Energy pack) - Istante: manutenzione ordinaria												
REQUISITO	COMPONENTE	TEST	TIPOLOGIA	AMBIENTE DI TEST	SVOLTO DA:	TEST METHOD/PROCEDURE	SAMPLES	DURATA	THRESHOLDS	DATA INIZIO PROVA	DATA FINE PROVA	RESULTS
						NORMATIVA DI RIFERIMENTO (CAPITOLI) VERSIONE						REPORT DI RIFERIMENTO
BATTERIA (REESS*)												
1		insulation test: highpot test	safety-electrical test	bench test		IEC 60335-1	3					
2		vibration resistance	safety-mechanical test	bench test		IEC 60335-1	3		4 ore - ciclo normale			
3		ip test	safety-thermal test	bench test		IEC 60335-1	3		IE test - ciclo normale			
4		power test: High Power Characterization	performance-electrical test	bench test		IEC 60335-1	3		IE discharge pulse			1 maximum voltage measured
5		power test: High Power	performance-electrical test	bench test		IEC 60335-1	3		IE test			
6		capacity test: capacity for test	performance-electrical test	bench test		IEC 60335-1	3		IE test			
7		Power & efficiency cycle life test	safety-electrical test	bench test		IEC 60335-1	3		IE test			
8		urto meccanico: carichi inerziali	safety-mechanical test	bench test		IEC 60335-1	3	10s	IE test			IE test
9		urto meccanico: carichi inerziali	safety-mechanical test	bench test		IEC 60335-1	3	10s	IE test			IE test
10		cycle life dynamic stress test	endurance-electrical test	bench test		IEC 60335-1	3	200 cycles	IE test			
11		fire resistance	safety-environmental test	bench test		IEC 60335-1	3	20s	IE test			
MACCHINA ELETTRICA												
1		vibration test: bearing housing vibration	safety-mechanical test	bench test		IEC 60335-1	3					
2		insulation test: windings immersion test	safety-electrical test	bench test		IEC 60335-1	3					
3		power test: power test	performance-electrical test	bench test		IEC 60335-1	3	30 minuti				
4		cycle life dynamic stress test	endurance-electrical test	bench test		IEC 60335-1	3					
ASSALE												
1		shock and vibration test	safety-mechanical test	bench test		IEC 60335-1	3					
2		load test: vertical and combined load	safety-mechanical test	bench test		IEC 60335-1	3					
3		cycle life dynamic stress test	endurance-mechanical test	bench test		IEC 60335-1	3					
4		test stress cicli montato su veicolo	endurance-mechanical test	bench test		IEC 60335-1	3					
ASSALE+MACCHINA ELETTRICA												
1		insulation test	safety-electrical test	bench test		IEC 60335-1	3					
2		vibration test: cycle life vibration test	safety-mechanical test-endurance test	bench test		IEC 60335-1	3					
3		load test	endurance-mechanical test	bench test		IEC 60335-1	3					
4		cycle life dynamic stress test	endurance-mechanical test	bench test		IEC 60335-1	3					

Figure 60 6 product validation

- **Prima parte: organizzazione test;**

COMPONENTE	TEST	TIPOLOGIA	AMBIENTE DI TEST	SVOLTO DA:
BATTERIA (REESS*)				
1	insulation test: highpot test	safety-electrical test	bench test	FORNITORE
2	vibration resistance	safety-mechanical test	bench test	FORNITORE
3	cyclic thermal test	safety-thermal test	bench test	FORNITORE
4	IP test	safety-electrical test	bench test	FORNITORE
8	urto meccanico: carichi inerziali	safety-mechanical test	bench test	FORNITORE
9	urto meccanico: integrità meccanica	safety-mechanical test	bench test	FORNITORE
10	cycle life dynamic stress test	endurance-electrical (maybe distructive)	bench test	FORNITORE
11	fire resistance	safety-environmental distructive test	bench test	FORNITORE
MACCHINA ELETTRICA				
1	vibration test: bearing housing vibration	safety-mechanical test	bench test	FORNITORE
2	insulation test: windings immersion test	safety-electrical test	bench test	FORNITORE
3	IP TEST	safety-electrical test	bench test	FORNITORE
5	cycle life dynamic stress test	endurance-electrical test	bench test	FORNITORE
ASSALE				
1	shock and vibration test	safety-mechanical test	bench test	FORNITORE
2	load test: vertical and combined load	safety-mechanical test	bench test	FORNITORE
3	cycle life dynamic stress test	endurance-mechanical test	bench test	FORNITORE
	test stress cicli montato su veicolo	endurance-mechanical test	road test	
ASSALE+MACCHINA ELETTRICA				
1	insulation test	safety-electrical test	bench test	INTERNO
2	vibration test: cycle life vibration test	safety-mechanical test-endurance test	bench test	INTERNO
3	load test	endurance-mechanical test	bench test	INTERNO
4	cycle life dynamic stress test	endurance-mechanical test	bench test	INTERNO

Figure 7.61 prima parte product validation

e i progettisti per definire specifiche chiare e precise per ogni componente e funzionalità assicura che gli sforzi di collaudo siano mirati al raggiungimento di obiettivi specifici. Questa fase riduce al minimo i test non necessari e si concentra sulle aree critiche, ottimizzando l'allocazione delle risorse.

Vediamo quali possono essere gli spunti fondamentali da cui partire, per rendere più efficiente questo documento:

- **Test basati sul rischio**

L'implementazione di un approccio ai test basato sui rischi comporta l'identificazione dei rischi potenziali associati ai diversi componenti e funzionalità del veicolo elettrico. La prioritizzazione degli sforzi di test in base ai rischi identificati assicura che le aree ad alto rischio ricevano test più approfonditi, ottimizzando così l'allocazione di risorse e tempo.

- **Automazione dei processi di test:**

L'automazione è uno strumento potente per ottimizzare i piani di test. L'introduzione di processi di test automatizzati per le attività ripetitive e dispendiose in termini di tempo non solo accelera i cicli di test, ma riduce anche la probabilità di errori umani. I framework di test automatizzati possono coprire un'ampia gamma di scenari, contribuendo a una copertura completa dei test. L'automazione è favorita anche dallo sviluppo di una logistica di test molto sviluppata.

Questo con l'obiettivo di minimizzare i tempi morti tra un test e l'altro e ridurre al massimo il numero di spostamenti dei componenti da un banco prova all'altro. Una possibilità è quella di svolgere contemporaneamente più test su uno stesso componente, ove possibile, oppure Svolgere sullo stesso componente, tutti i test che possono essere svolte consecutivamente.

La metodologia è definita Design of Experiments e aiuta a ottimizzare i piani di test esplorando in modo efficiente le interazioni tra le variabili. Il DOE consente di testare sistematicamente diverse combinazioni di variabili, aiutando a identificare le condizioni ottimali per scenari specifici. Questo metodo è particolarmente utile per i test di prestazione, la convalida dei campi e la valutazione dell'efficienza.

Oltre a tutte queste modifiche più immediate e pratiche, ci sono tante analisi più indirette, che permettono un miglioramento progressivo del piano di testing, in modo da renderlo più futuribile.

- **Integrazione continua e test continui (CI/CT):**

L'implementazione di un approccio di Continuous Integration and Continuous Testing (CI/CT) facilita la perfetta integrazione delle modifiche al codice e garantisce che i test siano parte integrante del processo di sviluppo. Questo metodo ottimizza il piano di test identificando i problemi nelle prime fasi del ciclo di sviluppo, riducendo il tempo e le risorse necessarie per il debugging e i test.

- **Strategie di test adattive:**

Una strategia di testing adattivo prevede l'adeguamento del piano di testing in base all'evoluzione dei requisiti del progetto, ai progressi tecnologici e al feedback delle fasi di testing precedenti. Questo metodo garantisce che il piano di test rimanga reattivo ai cambiamenti, ottimizzando la sua rilevanza ed efficacia durante il ciclo di vita dello sviluppo del veicolo elettrico.

- **Machine Learning per l'ottimizzazione dei test:**

L'integrazione di algoritmi di apprendimento automatico nei processi di test migliora le capacità di ottimizzazione. L'apprendimento automatico può analizzare i dati storici dei test, identificare modelli e prevedere potenziali problemi, consentendo un'ottimizzazione proattiva dei piani di test. Questo approccio contribuisce alla manutenzione predittiva, riducendo i tempi di inattività e migliorando l'efficienza complessiva dei test.

- **Cicli di feedback iterativi:**

L'integrazione di cicli di feedback iterativi nel piano di test consente un continuo perfezionamento. Le conoscenze acquisite dai risultati dei test, dal feedback degli utenti e dall'evoluzione dei requisiti contribuiscono alle continue ottimizzazioni, assicurando che il piano di test si adatti a condizioni mutevoli e rimanga efficace durante tutto il processo di sviluppo.

Vediamo ora, dal punto di vista pratico, quali possono essere alcune modifiche da svolgere sul nostro testing plan, che lo rendano più efficiente:

1) Esecuzione dei test più gravosi a fine linea

BATTERIA (REESS*)		
1	insulation test: highpot test	safety-electrical test
2	vibration resistance	safety-mechanical test
3	cyclic thermal test	safety-thermal test
4	capacity test: open circuit voltage test	performance-electrical test
5	power test: Hybrid Pulse Power Characterization	performance-electrical test
6	power test: peak power test	performance-electrical test
7	capacity test: calendar life test	performance-electrical test
8	emissione di disturbi su radiofrequenze	safety-electrical test
9	Prova di aumento rapido della tensione	safety-electrical test
10	20 s step-by-step test	safety-electrical test
11	misurazione delle emissioni elettromagnetiche a banda larga	safety-electrical test
12	urto meccanico: carichi inerziali	safety-mechanical test
13	urto meccanico: integrità meccanica	safety-mechanical test
14	cycle life dinamic stress test	endurance-electrical (maybe destructive)
15	fire resistance	safety-environmental destructive test

ASSALE		
1	shock and vibration test	safety-mechanical test
2	load test: vertical and combined load	safety-mechanical test
3	gear fatigue test	endurance-mechanical test destructive
4	cycle life dinamic stress test	endurance-mechanical test

ASSALE+MACCHINA ELETTRICA		
1	insulation test	safety-electrical test
2	vibration test: bearing housing vibration	safety-mechanical test
3	cycle life dinamic stress test	endurance-mechanica test
4	misurazione delle emissioni elettromagnetiche a banda larga	safety-electrical test
5	emissione di disturbi su radiofrequenze	safety-electrical test
6	load test	endurance-mechanica test
7	gear fatigue test	safety-mechanical test

Figure 8.64 ottimizzazione testing plan: test più gravosi

I test più gravosi per i componenti, che si basano su cicli di fatica o urti e che possono condurre a rottura i componenti, vengono svolti per ultimi. Questo per permetter di svolgere sugli stessi componenti, altri test in modo da ottenere più informazioni possibili. Inoltre, spesso questi test sono quelli di durata maggiore, in quanto puntano a verificare l'effettiva vita del pezzo.

2) Esecuzione in serie dei test svolti sullo stesso banco/componente.

BATTERIA (REESS*)		
1	insulation test: highpot test	safety-electrical test
2	vibration resistance	safety-mechanical test
3	cyclic thermal test	safety-thermal test
4	capacity test: open circuit voltage test	performance-electrical test
5	power test: Hybrid Pulse Power Characterization	performance-electrical test
6	power test: peak power test	performance-electrical test
7	capacity test: calendar life test	performance-electrical test
8	emissione di disturbi su radiofrequenze	safety-electrical test
9	Prova di aumento rapido della tensione	safety-electrical test
10	20 s step-by-step test	safety-electrical test
11	misurazione delle emissioni elettromagnetiche a banda larga	safety-electrical test
12	urto meccanico: carichi inerziali	safety-mechanical test
13	urto meccanico: integrità meccanica	safety-mechanical test
14	cycle life dinamic stress test	endurance-electrical (maybe destructive)
15	fire resistance	safety-environmental destructive test

Figure 8.65 ottimizzazione testing plan: test consecutivi

MACCHINA ELETTRICA		
1	vibration test: bearing housing vibration	safety-mechanical test
2	insulation test: windings immersion test	safety-electrical test
3	power: peak power test	performance-electrical test
4	power: net power test	performance-electrical test
5	cycle life dynamic stress test	endurance-electrical test

Figure 8.66 ottimizzazione testing plan: test consecutivi 2

Un altro metodo utilizzato per ottimizzare il piano di test è stato quello di porre in successione tutti i test svolti, sullo stesso componente preferibilmente, allo stesso banco prova.

Questa scelta permette di ottimizzare le tempistiche di test e, ove possibile, sovrapporre lo svolgimento di due prove e ridurre al minimo i transitori tra una prova e l'altra.

9. Conclusioni

Nella ricerca di una mobilità sostenibile ed efficiente, questa tesi di laurea magistrale si è addentrata nell'intricato regno dei piani di test per i veicoli elettrici (EV). Il viaggio intrapreso è stato all'insegna dell'analisi meticolosa, della pianificazione strategica e della ricerca dell'ottimizzazione delle metodologie di test. Con l'evoluzione del panorama dei veicoli elettrici, l'importanza di un solido piano di collaudo diventa sempre più evidente, per garantire che questi veicoli innovativi non solo soddisfino, ma superino gli standard normativi, i parametri di riferimento del settore e, soprattutto, le aspettative dei clienti.

L'obiettivo generale di questa tesi è stato quello di illustrare i componenti critici e le metodologie coinvolte nella realizzazione di un piano di collaudo efficace per i veicoli elettrici. Dall'analisi completa dei requisiti dei componenti all'incorporazione di strategie di collaudo basate sul rischio, il viaggio ha sottolineato la necessità di precisione e adattabilità. L'esplorazione dei documenti normativi ha sottolineato il ruolo fondamentale che gli standard e i regolamenti svolgono nel guidare e convalidare i processi di collaudo, assicurando che i veicoli elettrici non solo siano tecnicamente validi, ma anche conformi alle norme di sicurezza, ambientali e prestazionali.

Poiché i veicoli elettrici continuano ad affermarsi come modalità di trasporto praticabile e sostenibile, il piano di sperimentazione rappresenta un elemento fondamentale nel processo che porta questi veicoli dalla concezione alla strada. Non si tratta di una semplice tabella di marcia tecnica, ma di una strategia completa che comprende la garanzia di sicurezza, la convalida delle prestazioni e

la conformità normativa. L'adattabilità del piano di test alle tecnologie emergenti e il suo continuo perfezionamento attraverso cicli di feedback iterativi sottolineano l'impegno a rimanere all'avanguardia dell'innovazione.

In conclusione, questa tesi di laurea magistrale ha cercato di contribuire al crescente corpo di conoscenze nel campo del collaudo dei veicoli elettrici. Ci auguriamo che gli spunti forniti non solo servano da preziosa risorsa per i ricercatori e gli operatori del settore, ma contribuiscano anche al dialogo in corso su come migliorare continuamente i processi di collaudo dei veicoli elettrici. Nel momento in cui ci troviamo al crocevia dell'innovazione tecnologica e della mobilità sostenibile, il piano di collaudo emerge non solo come requisito tecnico, ma come bussola che guida la traiettoria dei veicoli elettrici verso un futuro definito dall'affidabilità, dall'eccellenza delle prestazioni e dall'impegno per la gestione dell'ambiente.

Bibliografia

- [1] P. s. HAMER, «Acceptance Testing of Electric Motors and,» 1988.
- [2] J. P. Christopherson, Battery Test Manual, 2015.
- [3] «<https://www.hioki.com/euro-en/industries-solutions/manufacturing/liion-ocv-test.html>».
- [4] «<https://www.hioki.com/euro-en/industries-solutions/manufacturing/liion-insulation-test.html>».
- [5] REGOLAMENTO (UE) N. 19/2011 DELLA COMMISSIONE, 2011.
- [6] «Regolamento n. 85 della Commissione economica per l'Europa delle Nazioni Unite (UN/ECE)».
- [7] «Regolamento n. 100 della Commissione economica per l'Europa delle Nazioni Unite (UNECE)».
- [8] «Regolamento n. 10 della Commissione economica per l'Europa delle Nazioni Unite (UNECE)».
- [9] «Electric strength of insulating materials – Test methods – Part 3: Additional requirements for 1,2/50 μ s impulse tests».
- [10] «Electric strength of insulating materials – Test methods – Part 2: Additional requirements for tests using direct voltage».
- [11] «Electric strength of insulating materials – Test methods – Part 1: Tests at power frequencies».
- [12] ISO 20653.
- [13] eviton.com/en/products/industry-solutions/food-beverage-processing/what-is-ip69
- [14] «<https://www.nethics.it/apqp/>».
- [15] «<https://it.wikipedia.org/wiki/PPAP>».
- [16] «n.wikipedia.org/wiki/Failure_mode_and_effects_analysis».
- [17] «https://en.wikipedia.org/wiki/Verification_and_validation».