



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA**



DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'INFORMAZIONE

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA

**Analisi dei principali aspetti per la certificazione EMC
nei veicoli ibridi ed elettrici**

**Relatore: Prof. / Dott. Tommaso Caldognetto
Correlatore: Prof./Dott. Marco Stellini**

Laureando: Nicola Zennaro

ANNO ACCADEMICO 2023 – 2024

Data di laurea 23/04/2024

Indice

0.1	Introduzione	3
1	Quadro normativo sulla certificazione dei veicoli ibridi ed elettrici	4
2	Sistemi di ricarica per veicoli ibridi	7
2.1	IEC61851	7
2.1.1	Sistemi di Ricarica	7
2.1.2	Connettori	11
2.1.3	Control Pilot Signal (CP)	12
3	Certificazione per veicoli ibridi	21
3.1	EN 55025	21
3.1.1	Ambiente di test, parametrizzazione degli strumenti	21
3.1.2	Misurazione delle emissioni ricevute da un antenna della stessa tipologia del veicolo	27
3.1.3	Misure sui componenti e moduli del veicolo	29
3.2	ISO 7637	39
3.2.1	Parte 1	39
3.2.2	Parte 2	40
3.2.3	Parte 3	52
3.3	ISO 11452	60
3.3.1	ISO11452-2	60
3.3.2	ISO11452-4	66
3.3.3	ISO11452-8	72
4	Conclusioni	79
5	Appendice A	80
5.1	EN55025	80
5.2	ISO7637	86

6	Appendice B	87
6.1	EN 55025	88
6.2	ISO 7637	94
6.3	ISO 11452	99
7	Appendice C	106
7.1	Simulatore di comunicazione CP	106
8	Bibliografia	114

0.1 Introduzione

Il mondo dell'automobile sta vivendo, in questi ultimi anni, significativi cambiamenti con l'approccio a nuovi sistemi di mobilità. Dal settore dei trasporti per mezzi pesanti al trasporto di persone si osserva un aumento nell'integrazione dell'elettronica nel sistema di trazione e di controllo dei veicoli, se infatti una volta il ruolo dell'elettronica era marginale oggi ne è diventato fondamentale, dal compito più semplice di controllo del motore termico alla sostituzione parziale se non addirittura completa dello stesso come sistema di propulsione del mezzo. Questo comporta nuove sfide per i progettisti, in particolar modo nell'ambito della sicurezza e affidabilità del mezzo, determinando la necessità d'avere delle regole, obiettivi e performance a livello di sicurezza e affidabilità che devono essere raggiunti per poter immettere nel mercato un veicolo. A tale scopo sono state diffuse e riviste negli ultimi anni un numero sempre crescente di normative riguardanti i veicoli elettrici, in particolare, verranno analizzate normative riguardanti la capacità del sistema elettronico di bordo di resistere a stress di natura elettromagnetica, le cosiddette prove d'immunità, e la predisposizione dello stesso a interferire, tramite disturbi elettromagnetici, con altri sistemi elettronici.

Una caratteristica dei veicoli elettrici e ibridi è la possibilità di essere ricaricati dalla rete elettrica, l'interazione che questi hanno con la colonnina di ricarica è fondamentale per la corretta e rapida ricarica del mezzo. L'interattività della colonnina non si limita alla semplice comunicazione con l'autoveicolo ma anche con la rete per l'ottimale gestione dei flussi di potenza verso il veicolo e in uscita da esso, in particolare la colonnina può svolgere solamente il ruolo di caricatore oppure può prelevare energia dal pacco batteria del mezzo realizzando il cosiddetto V2G "Vehicle to Grid". L'aspetto di sicurezza nella fase di ricarica è molto importante, non solo per evitare che una ricarica errata possa danneggiare la batteria, ma soprattutto perchè la colonnina funge da tramite tra la rete elettrica e il veicolo e questo può portare ad una irradiazione di disturbi anche al di fuori dell'ambiente di ricarica che può comportare problemi di instabilità della rete o di ricarica. Per questa ragione l'analisi non si fermerà solamente alle normative in ambito automobilistico ma si studieranno anche le normative vigenti nel settore della ricarica, ponendo particolare attenzione alle tecniche utilizzate.

Capitolo 1

Quadro normativo sulla certificazione dei veicoli ibridi ed elettrici

Il quadro normativo nel settore automobilistico è diventato sempre più consistente negli ultimi anni, alle normative e certificazione solitamente necessarie per una classica automobile a combustione si sono aggiunte le normative in ambito elettrico. Per questa ragione enti normatori come IEC e ISO hanno assunto un ruolo di maggiore rilevanza e importanza in questo ambito, poiché la legislazione in ambito nazionale ed europeo fa riferimento a normative e specifiche definite da questi.

- L'ISO (International Organization for standardization) è un ente che emette normative in svariati settori che vanno dal settore industriale a quello business.
- L'IEC (International Electrotechnical Commission) è un ente che emette normative principalmente nel settore elettronico e collabora con l'ISO per la definizione di normative comuni.

Nella figura 1.1 è mostrato uno schema di auto elettrica, in cui sono elencate alcune normative alle quali le diverse componenti che la costituiscono devono essere certificate. Solitamente i costruttori, in fase di sviluppo dell'automobile, osservano la legislazione del mercato che possiede le normative più stringenti. Questo non significa si debbano osservare solo quelle, ma ogni mercato di vendita è più o meno severo su alcuni aspetti rispetto ad un altro. Ad esempio, il mercato europeo ha dei limiti riguardo l'impiego di veicoli a guida autonoma più stringente rispetto a quello americano, queste differenze le troviamo anche negli standard richiesti nei vari elementi che costituiscono l'automobile.

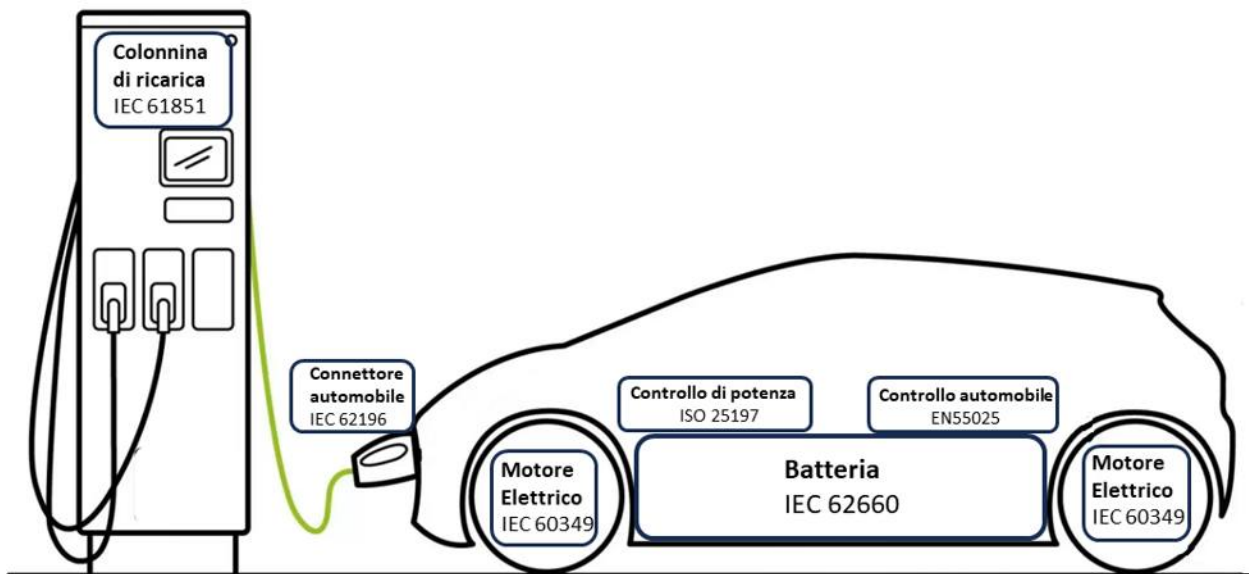


Figura 1.1: Schema di un'auto elettrica con alcune certificazioni

Nell'elenco puntato sottostante andremo a visualizzare rapidamente quali sono gli scopi delle normative inserite nell'elenco:

- Batteria -> IEC62660: Definisce il livello di prestazione e aspettativa di vita (numero di cicli di carica e scarica) delle batterie agli ioni di litio utilizzati per la propulsione di veicoli elettrici, in particolare BEV (Battery Electric Vehicles) e HEV (Hybrid Electric Vehicles). La normativa definisce le procedure da utilizzare per stimare capacità, densità di potenza, densità energetica e tempo di vita delle batterie al litio.
- Motori elettrici -> IEC 60349: Definisce le procedure di test da utilizzare per i motori utilizzati come trazione nei veicoli stradali per definire il livello di performance che essi possono raggiungere.
- Inverter di trazione -> IEC 60146: Specifica i requisiti di prestazione dei convertitori di potenza basati su tecnologia a semiconduttore, con lo scopo di specificare tutti i requisiti dei convertitori A.C./D.C. e viceversa.
- Controllo di potenza -> ISO 25197: La normativa definisce i requisiti di design, costruzione e test dei sistemi elettronici di controllo dello sterzo, cambio e acceleratore.
- Controllo dell'automobile -> EN55025: La normativa contiene le procedure di test, i limiti alle quali i dispositivi elettronici, che non fanno parte del sistema di trazione, devono sottostare per poter essere utilizzati in auto.
- Porta di ricarica-> IEC62196: Il documento definisce gli standard per i connettori di ricarica e i cavi per i vari tipi di ricarica dall' AC alla DC per diverse potenze di ricarica.

- Colonnina di ricarica-> IEC61851: Si applica a tutti i sistemi di ricarica fino a 1kV AC o 1,5kV DC per autoveicoli elettrico o ibridi. Viene normato anche il sistema di ricarica di bordo integrato nell'autoveicolo.

Le normative sopracitate sono solo alcune certificazioni che vengono richieste per poter immettere sul mercato un autoveicolo, solitamente all'interno di queste vengono definite delle prove alle quali sottoporre il DUT (Device Under Test) per ottenere le informazioni sul comportamento di questo e poter deciderne il suo livello di sicurezza e l'eventuale superamento del test. Solitamente la maggior parte delle normative in ambito elettronico prevedono dei test d'emissione e d'immunità, questa tipologia di test è stata standardizzata oramai e all'interno della normativa sono fatti chiari riferimenti ad altre normative, che definiscono le procedure di test per le prove d'emissione e d'immunità.

Solitamente le normative fanno chiaro riferimento ad altre norme di cui poter utilizzare test contenuti in esse, ad esempio nella IEC61851 vengono richieste prove d'emissione che sono definite nella EN 61000. Ovviamente all'interno delle normative oltre a questi riferimenti sono presenti anche delle prove specifiche, dei setup di misura particolari da utilizzare per ulteriori test. Nella normativa EN55025, ad esempio, sono definite delle prove e dei setup di misura specifici per testare i dispositivi sotto particolari condizioni che non sono previste da nessun'altra normativa.

L'analisi che verrà sviluppata in questa attività di tesi si concentrerà in particolare su 2 norme sopra citate che sono IEC61851 e EN55025, nell'IEC61851 verrà studiato e compreso il ruolo del connettore di ricarica, come funzionano i diversi segnali che permettono al veicolo di ricaricarsi e le varie tipologie di ricarica che sono consentite per i mezzi pensanti. La EN55025 verrà analizzata in maniera completa e saranno analizzate anche le norme ISO7637 e ISO11452 che sono specifiche della EN55025 e definiscono ulteriori prove di disturbi condotti e immunità.

Capitolo 2

Sistemi di ricarica per veicoli ibridi

2.1 IEC61851

La normativa IEC61851-1 è costituita da una serie di standard che forniscono una serie di requisiti per la ricarica dei veicoli elettrici. La normativa è divisa in diverse sezioni qui sottoelencate:

- Parte 1: Sono elencati i requisiti fondamentali che definiscono i seguenti standard;
- Parte 21-1: Sono indicati i requisiti EMC per le connessioni in AC/DC per l'OBC (On Board Charger);
- Parte 21-2: Sono indicati i requisiti EMC per le connessioni in AC/DC per l'OBC (Off Board Charger);
- Parte 23: Definisce i requisiti per le colonnine di ricarica;
- Parte 24: Definisce il sistema di comunicazione tra la colonnina di ricarica e il veicolo;

Nei seguenti paragrafi verrà analizzata la parte 1 analizzando e portando esempio dei concetti che verranno studiati.

2.1.1 Sistemi di Ricarica

Per la ricarica dei veicoli elettrici sono previsti quattro modi diversi, la differenza principale tra questi modi è la potenza di ricarica del veicolo, nella tabella 2.1 sono illustrati ed elencati i modi di ricarica.

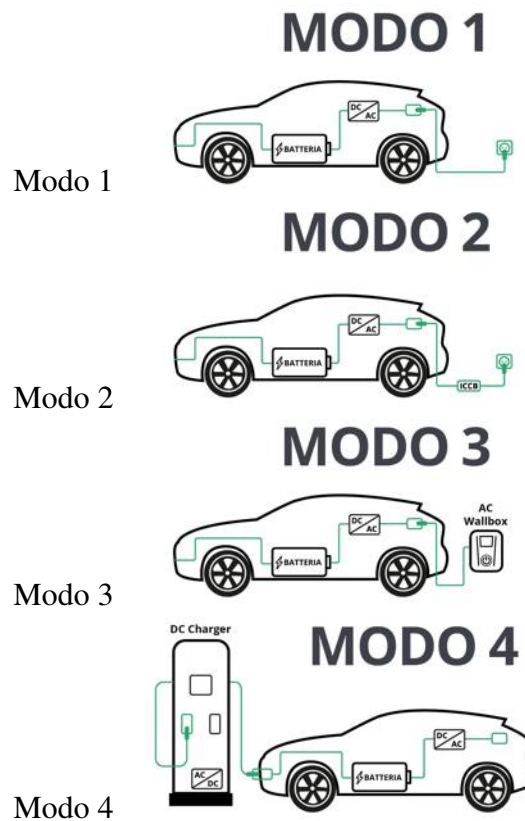


Tabella 2.1: Sistemi di ricarica

Modo 1

Il primo modo viene utilizzato per le ricariche in bassa potenza. La connessione alla rete di ricarica avviene tramite una semplice presa domestica o industriale ad una potenza ridotta.

Monofase	presa domestica: 250 VAC e 16 A -> max 4 kW
	presa industriale: 250 VAC e 16 A -> max 4 kW
Trifase	presa industriale: 480 VAC e 16 A -> max 7,7 kW

Tabella 2.2: Potenza di ricarica

Questa tecnica di ricarica però è soggetta a pesante legislazione nazionale e può cambiare nella potenza, in funzione del paese nel quale viene eseguita. Ad esempio, in paesi come il Regno Unito, Stati Uniti d'America e Israele è proibita, in Italia proibita nei luoghi pubblici e in Danimarca la massima corrente erogabile è 8 A. Il limite principale di questo sistema di ricarica è l'assenza di comunicazione, questo demanda tutta la sicurezza al sistema di ricarica di bordo del veicolo e ai collegamenti di terra, differenziali dell'impianto che possono non essere sufficienti in caso di malfunzionamento. Per questa ragione solitamente questa tecnica di ricarica viene utilizzata solamente per dispositivi di ricarica di bassa potenza come moto elettriche o biciclette elettriche e solitamente i produttori di automobili non permettono questo tipo di ricarica.

Modo 2

Il modo 2 sfrutta come il modo 1 una semplice presa domestica o industriale ma nel cavo di ricarica è presente una control box che comunica tramite PWM con il veicolo per decidere potenza, corrente e stato della ricarica. Grazie a questo ulteriore livello di protezione la potenza massima di ricarica aumenta.

Monofase	presa domestica: 250 VAC e 32 A -> max 8 kW
	presa industriale: 250 VAC e 32 A -> max 8 kW
Trifase	presa industriale: 480 VAC e 32 A -> max 15 kW

Tabella 2.3: Potenza di ricarica

Anche questa tipologia di ricarica è soggetta a pesante legislazione nazionale e cambia nelle massime potenze in gioco. Ad esempio, in Italia non è consentita nelle zone pubbliche, in Svizzera è possibile utilizzarla solo in monofase a massimo 16 A e in Olanda se la ricarica supera le 2 ore la massima corrente di ricarica scende a 10 A. Questa tipologia di ricarica riesce ad erogare maggior potenza rispetto al modo 1 con però maggior controllo e sicurezza anche se è una ricarica, comunque, eccessivamente lenta per veicoli con batterie di grandi dimensioni; quindi, solitamente viene utilizzata per moto elettriche o veicoli plug-in che sono dotati di pacchi batteria piccoli.

Modo 3

Il modo 3 consente la connessione tra il veicolo elettrico e la colonnina di ricarica in AC. Questo tipo di connessione prevede che si possa utilizzare un cavo che non sia permanentemente collegato alla colonnina di ricarica del veicolo, ma una volta terminata la ricarica questo può essere scollegato. Per mantenere sicura la connessione durante la fase di ricarica il cavo viene bloccato meccanicamente. Questa tipologia di ricarica può essere utilizzata solamente in AC per le stesse potenze del modo 2.

Modo 4

Il modo 4 definisce la connessione di ricarica tra il veicolo elettrico e la colonnina di ricarica. Questo tipo di connessione può essere utilizzato sia per la ricarica in AC che per la ricarica in DC ad alta potenza. Per le alte potenze in gioco il cavo di ricarica è permanentemente collegato alla colonnina di ricarica ed è realizzato per supportare le alte potenze di ricarica con un sistema di raffreddamento integrato.

Durante la fase di carica nei modi 2, 3 e 4 è importante che il sistema di controllo mantenga monitorati alcuni parametri durante la fase di ricarica, in particolare lo stato delle connessioni deve essere monitorato. Durante la fase di ricarica nella tipologia 2 il controllore deve controllare continuamente la continuità tra il contatto di terra e il corrispondente contatto nel veicolo, fornendo una protezione attiva dello stesso. Nella ricarica nella tipologia 3 è la colonnina di ricarica che deve assicurarsi della continuità del contatto di terra tra la colonnina e quello presente nel veicolo. La ricarica nella tipologia 4 la colonnina deve verificare la continuità elettrica dei singoli contatti tra la colonnina e il veicolo elettrico. La colonnina si disconnette dalla fase di carica se:

- Vi è una perdita di continuità elettrica nel contatto di protezione (open control pilot circuit) entro 100 ms;
- Se non è possibile verificare la continuità del contatto di protezione in 3s;

La corretta connessione tra il veicolo e la colonnina di ricarica avviene se è presente la continuità nel circuito di controllo.

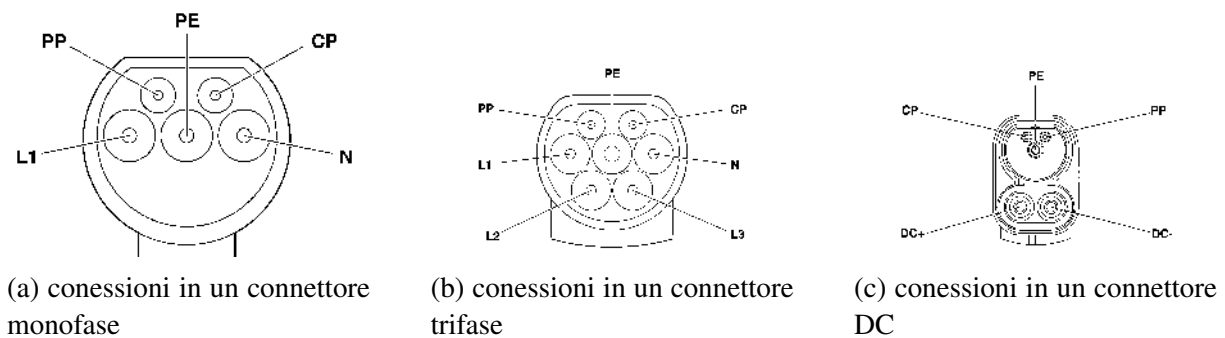


Figura 2.1: I tre connettori di ricarica consentiti in EU

L'inizio del trasferimento d'energia tra la colonnina e il veicolo deve avvenire solamente se tra i due è stato stabilito una corretta comunicazione nel segnale di control pilot. La corretta comunicazione tra i due non deve far partire immediatamente la carica del veicolo, ma se richiesto dal veicolo la colonnina deve fornire l'energia sufficiente ad attivare l'eventuale ventola di raffreddamento (ad esempio per raffreddare il pacco batteria).

Nel caso in cui venisse a mancare la comunicazione nel control pilot, deve essere interrotta l'alimentazione al veicolo. Se invece il control pilot non permettesse più l'alimentazione del veicolo, la colonnina deve interrompere la ricarica del veicolo.

La colonnina di ricarica deve informare il veicolo della massima corrente che gli è consentito assorbire. Il valore della massima corrente che il dispositivo può assorbire dipende dal veicolo elettrico e dal tipo di cavo che viene utilizzato. Il valore della corrente che viene assorbita dal veicolo può variare durante la fase di ricarica ma non può mai superare il massimo valore consentito, nel caso questo avvenisse deve essere interrotta immediatamente la ricarica. Per

qualsiasi tipo di ricarica deve essere previsto un sistema meccanico o elettromeccanico per evitare intenzionali o non sconnessioni del connettore di ricarica.

Nella ricarica di tipo 4 la colonnina può ricaricarsi sia in AC che in DC, nella ricarica AC è il veicolo che decide la quantità di corrente da assorbire, nei limiti di quella indicata dalla colonnina, al contrario nella ricarica DC deve essere stabilita una comunicazione tra il veicolo e la colonnina. La colonnina deve fornire la carica in DC tramite dei contatti aggiuntivi separati, è importante che durante la fase di ricarica solo un'alimentazione, DC o AC, venga fornita al veicolo.

2.1.2 Connettori

Il tipo di connettore da utilizzare nella ricarica del veicolo dipende dal tipo di ricarica che viene eseguita, nella ricarica AC sono definiti 7 pin d'interfaccia. Nella tabella 2.4 sono illustrati i contatti.

Tre fasi (L1, L2 L3)	
Solo L1 se monofase	
Neutro (N)	
Messa a terra (PE)	
Control Pilot (CP)	
Proximity Contact (PP)	

Tabella 2.4: Contatti in un connettore AC

In caso di ricarica in DC vengono previsti due contatti per la ricarica invece di quelli per le 3 fasi.


Messa a terra (PE)	
Control Pilot (CP)	
Proximity Contact (PP)	
DC+/ DC-	

Tabella 2.5: Contatti in un connettore DC

Il grado IP che deve essere garantito è il seguente:

- Uso interno: almeno IP41;
- Uso esterno: almeno IP44;

2.1.3 Control Pilot Signal (CP)

Il pin di control pilot viene utilizzato per instaurare una comunicazione tra il veicolo e la colonnina di ricarica, viene utilizzato nei modi di ricarica di tipo 2-3-4 ed è fondamentale per la sicura e corretta ricarica del veicolo. La comunicazione avviene tramite un segnale a PWM il cui valore di duty cycle contiene l'informazione che deve essere scambiata, l'informazione che viene scambiata tra i due è la massima corrente consentita in ricarica dal veicolo. Un esempio di circuito di control pilot è illustrato in figura seguente.

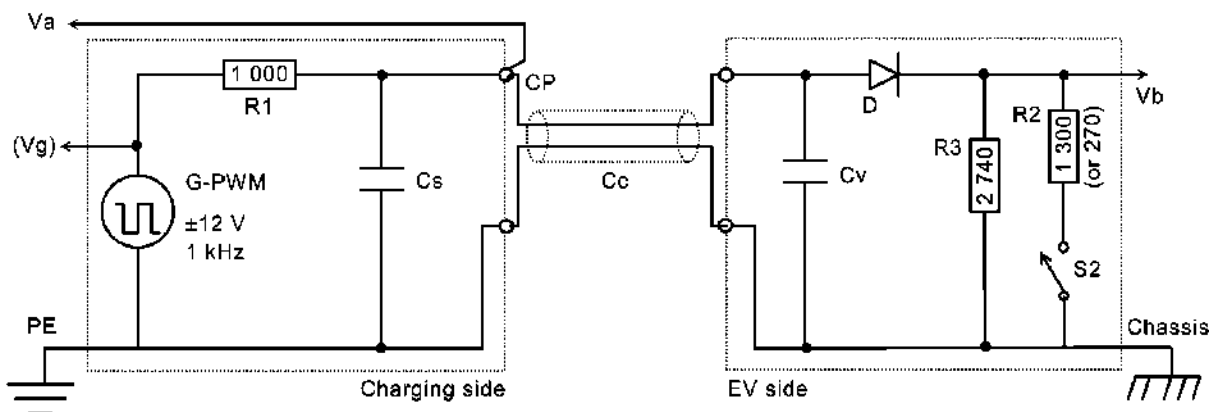


Figura 2.2: Schema elettrico della connessione CP

Quando viene stabilita la comunicazione tra i due sistemi la colonnina di ricarica impone un segnale PWM che in funzione del Duty Cycle definisce degli stati e informazioni utili per il veicolo. Come si può vedere dallo schema il veicolo legge solamente la semionda positiva della PWM; quindi, lato veicolo vedo un segnale che lavora a +12/0 V e prelevando il valore medio del segnale è possibile determinare il duty cycle della PWM. Il pin di control pilot viene anche utilizzato per instaurare la comunicazione digitale tra la colonnina di ricarica e il veicolo, la comunicazione tra i due è fondamentale per la corretta ricarica e gestione del mezzo. Infatti, tramite la comunicazione digitale dei due vengono scambiati importanti informazioni quali lo stato della carica, la potenza erogata in tempo reale, informazioni diagnostiche ecc.

Quando viene connessa la stazione di ricarica al veicolo quello che succede è un primo semplice comunicazione che consente di scambiare le informazioni sul contatto:

- Stato A: La colonnina vede +12 V ±1 V sulla linea e questo implica che non vi è nessun dispositivo collegato, altrimenti vi sarebbe un partitore tra la resistenza da 1 kΩ e quella da 2,74 kΩ nel veicolo;
- Stato B: Viene visualizzata una tensione sulla linea di +9 V ±1 V, questo perché è presente un partitore tra R1 e R3. In questa condizione il veicolo è connesso ma non è pronto alla ricarica;

Va			PWM status	System State	EV Connected To the EV supply equipment	S2	EV ready to receive energy	EV supply Equipment Ready to supply energy	Remark
Lower Level V	Nominal V	Higher Level V							
11	12	13	Off	A1	No	N/A	No	Not Ready	Vb = 0 V
11	12	13	On	A2			No	Ready	
10		11	On or off	Ax or Bx	no/yes	open	No	State Dependent	
8	9	10	Off	B1		Open	No	Not Ready	Re = R3 = 2,74 kΩ detected
8	9	10	On	B2			No	Ready	
7		8	On or off	Bx or Cx		Open/close	State dependent		
5	6	7	Off	C1	Yes	Close	Yes	Not Ready	Re = 882 Ω Detected Ev does not require charging area ventilation
5	6	7	On	C2			Yes	Ready	
4		5	On or off	Cx or Dx			Yes	State dependent	
2	3	4	Off	D1			Yes	Not Ready	Rc = 246 Ω Detected Ev requires charging area ventilation
2	3	4	On	D2			Yes	Ready	
1	N/A	2	On or Off	Dx or E				Open or closed	State dependent
-1	0	1	Off	E	N/A	N/A	N/A	Not Ready	
-10		-1	On or Off	Invalid	N/A	N/A	N/A		Fault in control circuit
-11		-10	Off	F or invalid	N/A	N/A	N/A	Not Ready	
-13	-12	-11	Off	F	N/A	N/A	N/A	Not Ready	
-11		-10	On	X2 or invalid	No/Yes	Open/close	State dependent		
-13	-12	-11	On	X2	N/A	N/A	State dependent		Low side of PWM signal

Tabella 2.6: Spiegazioni degli stati della linea Control Pilot

- Stato C: Viene visualizzata una tensione di $+6\text{ V} \pm 1\text{ V}$ il veicolo chiude lo switch S2 questo crea un parallelo tra R3 e R2 che fa abbassare la tensione sulla linea. In questa situazione il veicolo è pronto alla ricarica;
- Stato D: Viene visualizzata una tensione di $+3\text{ V} \pm 1\text{ V}$ il veicolo chiude lo switch S2 creando lo stesso parallelo ma in questo caso la resistenza R2 invece di essere pari a $1,3\text{ k}\Omega$ è pari a $270\ \Omega$, questo implica che il veicolo è pronto alla ricarica e richiede la ventilazione in fase di carica;
- Stato E: Viene visualizzata una tensione di 0 V , questo corrisponde ad una situazione d'errore causata da un corto circuito con il pin PE oppure a causa dell'assenza di potenza nella colonnina. In questo caso viene rilasciato il gancio meccanico del connettore;
- Stato F: Viene visualizzata una tensione di -12 V , questa condizione viene imposta dalla colonnina di ricarica per segnalare il suo malfunzionamento e la necessità di manutenzione;

Nel caso in cui la colonnina sia bloccata da un sistema di pagamento per la ricarica prima di passare allo stato C o D il sistema passa dallo stato E finchè non è avvenuta l'autenticazione. Lo stato A-B-C-D si suddividono in 2 ulteriori stati che sono A1/A2, B1/B2, C1/C2, D1/D2, nei quali la differenza è che nello stato 1 il segnale PWM ha un duty cycle del 100% (12V) e nello stato 2 il segnale PWM è in modulazione, nella figura sottostante è riportato un diagramma a stati e un esempio di segnale pwm nella carica del dispositivo.

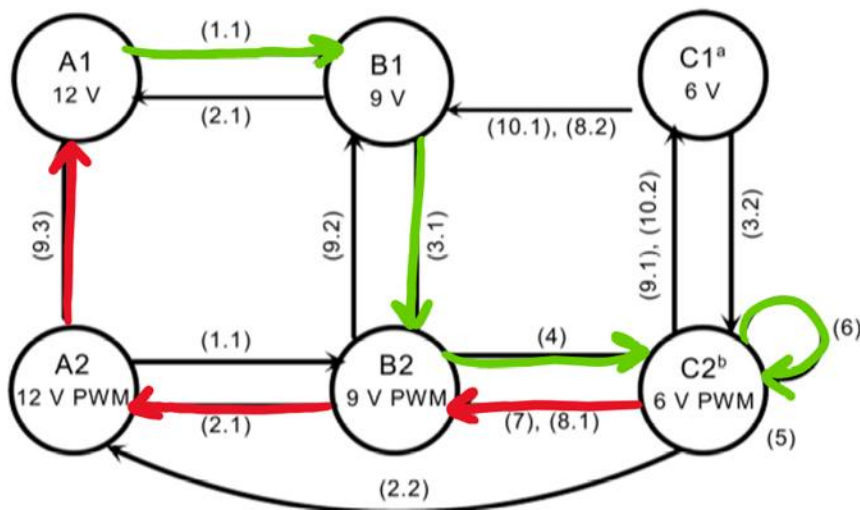


Figura 2.3: Stati nella linea CP per le diverse fasi della ricarica

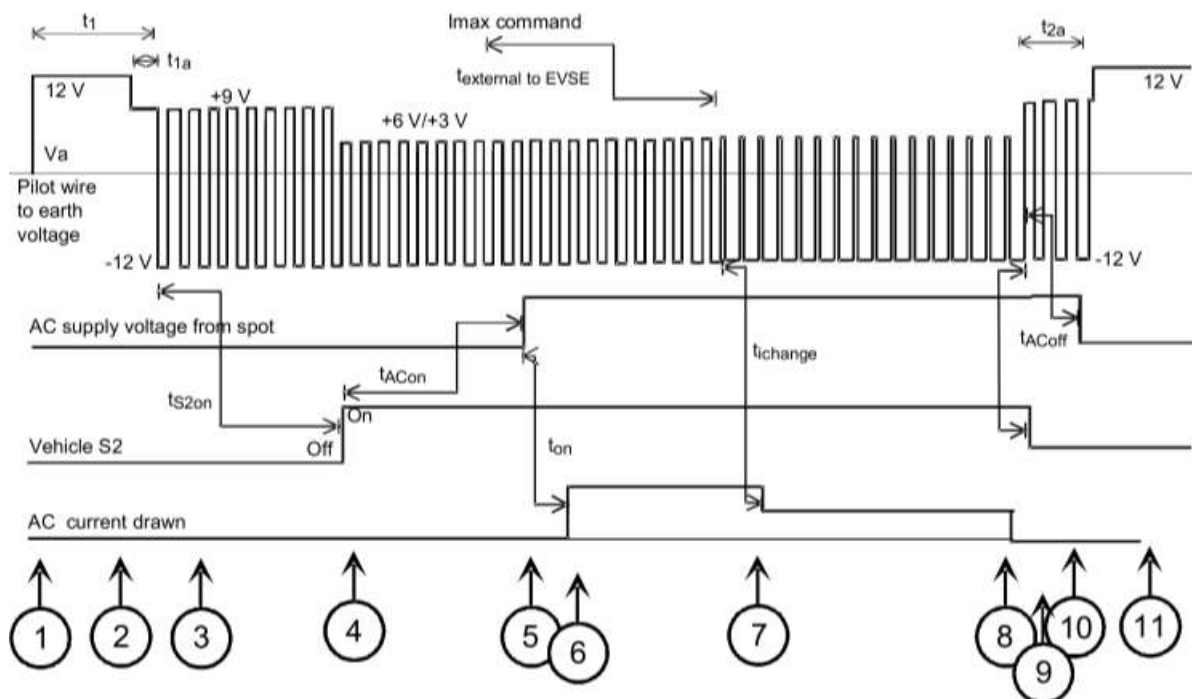


Figura 2.4: Comportamento del segnale elettrico nella linea PWM

Nell'esempio di figura 2.4 è mostrato un esempio di ricarica del veicolo, in particolare è mostrato sia il comportamento della linea CP e il comportamento del veicolo. Nella tabella 2.6 è spiegata la sequenza degli eventi e alla tabella 2.7 è indicato il significato del segnale PWM presente sulla linea.

È importante ricordare che il segnale CP dice al veicolo solamente la massima corrente possibile, l'effettiva corrente di carica viene decisa utilizzando una comunicazione digitale. Nella tabella 2.7 viene mostrato il significato del valore di duty cycle del segnale CP.

Nell'industria del settore della ricarica non è ancora presente un unico standard definito per la comunicazione digitale, in particolare vengono utilizzati due standard DIN SPEC 70121 e ISO 15118. Il più vecchio è lo standard DIN SPEC 70121 che non è compatibile con il nuovo standard ISO 15118, non esiste ancora uno standard unico definito ma sta prendendo sempre più piede lo standard ISO 15118 che permette una gestione avanzata del sistema rispetto al vecchio. Le funzionalità più importanti implementate nella ISO 15118 sono il V2G-PKI (Vehicle to Grid – Public Key Infrastructure) in cui il veicolo è in grado di comunicare in maniera sicura con la rete per gestire l'immissione di potenza e il Plug & Charge in cui l'operatore deve solamente collegare il cavo di ricarica ed è il veicolo che gestisce la comunicazione con la colonnina ed esegue il pagamento. Le informazioni che vengono scambiate avvengono tramite il pin di CP imponendo un segnale a frequenza maggiore, ovviamente in base alla frequenza di questo segnale si potranno utilizzare tensioni diverse. Nella tabella 2.8 è illustrata la tabella che descrive frequenza e tensione di picco.

	Stato	Condizione
1	A	Veicolo disconnesso, la tensione sulla linea è imposta dal generatore a 12 V.
2	B	Il cavo è stato collegato, la linea a causa del partitore passa ad un valore di 9V. In questa fase la tensione sulla linea può essere $\pm 12V$ e la comunicazione PLC può essere stata avviata.
3	B	La stazione di ricarica è ora pronta a fornire potenza se il duty cycle è conforme.
4	B → C,D	L'interruttore S2 all'interno del veicolo viene chiuso, questo indica che è pronto a ricevere potenza. Non c'è nessun vincolo temporale entro quando lo switch S2 si può chiudere.
5	C, D	La colonnina fornisce potenza al veicolo. La tempistica di quando avviene può dipendere da vari fattori come la necessità di esereguire un pagamento.
6	C, D	Il veicolo inizia ad assorbire potenza, la curva è decisa dal veicolo e non deve superare il limite massimo consentito.
7	C, D	Avviene una riduzione della massima corrente disponibile, il veicolo deve adeguare il proprio assorbimento di conseguenza.
8	C, D	Fine della carica, decisa dal veicolo aprendo l'interruttore S2.
9	C, D → B	Il veicolo viene fisicamente disconnesso dalla colonnina di ricarica.
10	B	la colonnina rileva la disconnessione del mezzo e toglie potenza.
11	A	Viene tolto il cavo di connessione alla colonnina.

Tabella 2.7: Spiegazione della Figura 2.4

La verifica del corretto funzionamento del sistema di control pilot avviene utilizzando un test simulator che permette di imporre sulla linea diverse combinazioni di segnali. Il simulatore deve far lavorare il segnale nelle condizioni limite previste dalle normative, per verificarne il comportamento in caso di problemi. Le specifiche per il simulatore sono le seguenti:

- C_{vtest} deve avere il valore massimo possibile 2400 pF (va considerata la capacità del generatore 1000 pF);
- L_{svtest} deve avere il valore massimo possibile 1 mH;
- C_{ctest} 1500 pF;
- R_{3test} tolleranza 0,2% e deve essere possibile testare il valore minimo, nominale e massimo;

Control Pilot duty cycle D_{in} connettore EV plug (nel caso A) o connettore di ricarica	Massima corrente I_{max} che deve essere assorbita dal veicolo	Descrizione
Duty cycle < 3%	0 A	Assorbimento di corrente non consentito.
$3\% \leq D_{in} \leq 7\%$	Come indicato dalla dalla comunicazione digitale.	Con un duty cycle del 5% viene indicato che deve essere instaurata una comunicazione digitale tra il veicolo e la colonnina di ricarica. L'assorbimento di corrente non è consentito senza comunicazione digitale.
$7\% < D_{in} < 8\%$	0 A	
$8\% \leq D_{in} < 10\%$	6 A	
$10\% \leq D_{in} \leq 85\%$	$D_{in} \times 0,6A$	
$85\% \leq D_{in} \leq 96\%$	$(D_{in} - 64) \times 2,5A$	
$96\% < D_{in} \leq 97\%$	80 A	
$97\% < D_{in} \leq 100\%$	0 A	Assorbimento di corrente non è consentito.
<p>Se il segnale PWM è compreso tra 8% e il 97% e vi è una comunicazione digitale stabilita, la massima corrente non deve superare il valore minimo indicato dal segnale PWM e digitale. Se ci si trova in un sistema trifase, il valore di corrente indicato è da ritenersi specifico per ogni fase.</p>		

Tabella 2.8: Significato del valore PWM del segnale CP

Frequency (kHz)	Max Peak/Peak voltage (V)
148-249	0,4
250-499	0,6
500-1000	1,2
> 1000	2,5

Tabella 2.9: In funzione della frequenza del segnale digitale, è indicato la massima tensione che si può applicare

- R_{2test} stato CX tolleranza 0,2% e deve essere possibile testare il valore minimo, nominale e massimo;

- R_{2test} stato DX tolleranza 0,2% e deve essere possibile testare il valore minimo, nominale e massimo;
- R_1 deve essere di $1\text{ k}\Omega \pm 3\%$ di tolleranza;

I test che devono essere eseguiti sono i seguenti:

- Misura della frequenza d'oscillazione e tensione di prova;
- Misura del duty cycle;
- Misura dei tempi di salita e discesa;
- Test della sequenza;
- Test dell'interruzione di potenza;
- Test del valore di corto circuito;

Misura della frequenza d'oscillazione e tensione di prova

La frequenza d'oscillazione misurata deve avere una precisione di $\pm 0,5\%$, la misura deve essere eseguita tra i contatti CP, PE. La misurazione della tensione deve avere la precisione di $\pm 0,5\%$ e rientrare dentro questi parametri:

	Minimum Voltage	Maximum voltage
Stato A1 e parte positiva della PWM nello stato A2	11,4	12,6
Stato B1 e parte positiva della PWM nello stato B2	8,37	9,59
Stato C1 e parte positiva della PWM nello stato C2	5,47	6,53
Negative part of PWM signal in states A2 and B2	-12,6	-11,4

Tabella 2.10: Tabella riassuntiva degli intervalli di tensione consentiti

Dai valori misurati è possibile stimare il valore della resistenza R_1 , il cui calcolo è:

$$R1_{calc} = 2740 \cdot \frac{(U_{stateA} - U_{stateB})}{(U_{stateB} - 0,7)}$$

Dove U_{stateA} e U_{stateB} sono i due valori positivi misurati durante il test.

Misura del duty cycle

Il duty cycle deve essere testato al 5%, 10% e al valore massimo dichiarato dal costruttore. Nel caso il duty cycle non possa essere modificato questa prova deve essere condotta per il valore di default consentito. Il valore del duty cycle deve esser stimato al passaggio per gli 0 V.

Misura dei tempi di salita e di discesa

Parameter		Maximum Value	Unit
Rise time (10% to 90%)	State B	10	μs
	State C	7	μs
	State D	5	μs
Fall time (90% to 10%)	States B, C, D	13	μs

Tabella 2.11: Tabella riassuntiva dei tempi di salita e discesa consentiti

Test della sequenza

Il test serve per verificare l'alimentazione AC e le tempistiche in modo d'operare al massimo e minimo livello di tensione consentito. Il valore per le resistenze R3 e R2 è riportato nella tabella seguente e deve essere rispettato con una tolleranza di massimo 0,2 %.

	$R_{3test} \Omega$	$R_{2test} \Omega$ State Cx	$R_{2test} \Omega$ State Dx	HF voltage
Test 1	4610	1723	448	Not present
Test 2	4610	1723	448	Present
Test 3	1870	909	140	Not present
Test 4	1870	909	140	Present

Tabella 2.12: Tabella che contiene i valori delle resistenze da rispettare

Per ogni sequenza del test, si deve rimanere nello stato per 20 s prima di passare agli stati successivi. Nella figura 2.5 è mostrata la gestione della ricarica in un circuito in cui è definito un sistema di control pilot completo.

1.1 → 3.1 → 4 → 7 → 8.1 → 4 → 6 → 7 → 8.1 → 2.1 → 9.3

I numeri sopra indicati si riferiscono alla tabella A.6 della normativa che definisce la lista della sequenza da utilizzare.

Test dell'interruzione della terra

Il veicolo elettrico deve scollegare la potenza in massimo 100 ms dopo che la linea di terra è stata interrotta. Il test va condotto quando il dispositivo si trova negli stati C o D da più di 5s.

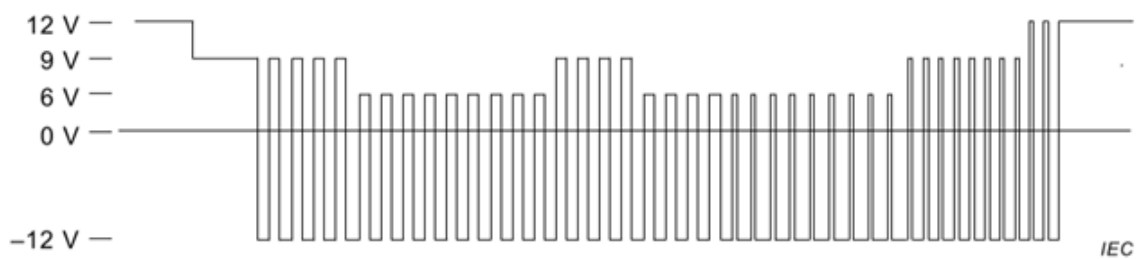


Figura 2.5: Tipico test della sequenza su di una linea

Test del valore di corto-circuito

Il test deve essere eseguito quando ci si trova negli stati C o D da più di 5s e una resistenza aggiuntiva da 120Ω viene connessa tra la linea CP e PE. Nell'appendice C è presente un esempio di circuito di simulazione per le prove della linea Control Pilot.

Capitolo 3

Certificazione per veicoli ibridi

3.1 EN 55025

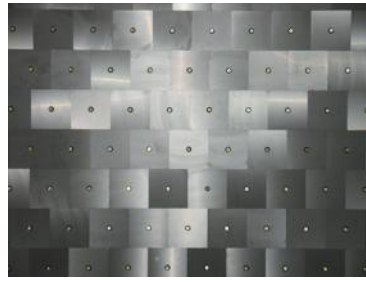
In questo capitolo verrà analizzata la normativa EN 55025 che al suo interno contiene le procedure e i limiti per la misurazione di disturbi radio nel range di frequenze da 150 kHz a 5925 MHz. L'ambito d'applicazione della normativa è molto variegato e va dai classici veicoli a combustione ai più moderni HEV e BEV alle barche, l'obiettivo che si prefigge la normativa è quello di definire un grado di protezione di quel dispositivo ai disturbi elettromagnetici esterni, causati principalmente da sistemi di navigazione, Wi-Fi, Bluetooth, radio ecc.. La normativa si applica a tutti quei dispositivi che vengono installati nel mezzo (auto, barca ecc.) ma che non facciano parte dell'unità di controllo del mezzo, questo perchè l'unità di controllo è sottoposta a test molto più severi e stringenti che sono definite in altre normative di tipo ISO.

3.1.1 Ambiente di test, parametrizzazione degli strumenti

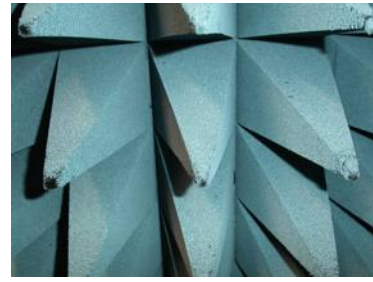
Il capitolo 4 della EN 55025 definisce il luogo in cui devono essere eseguiti i test e come devono essere configurati gli strumenti per poter eseguire i test nelle varie bande di frequenza per ottenere dei risultati considerati validi. Il luogo da utilizzare per poter eseguire delle misurazioni valide è l'ALSE o in italiano la camera anecoica Figura 3.1, poichè in alcune prove è richiesta che venga testata l'intera auto, in certe condizioni è necessario che la camera sia sufficientemente grande da poter contenere tutto il sistema di test e che l'antenna venga posizionata ad almeno 1m di distanza da qualsiasi muro della camera, la distanza dell'antenna dal dispositivo da testare è fissata da normativa. Il secondo vincolo che viene indicato sono le performance del materiale d'assorbimento che deve essere maggiore o uguale a 6 dB nel range che va da 70 MHz a 5,925 GHz.



(a) Immagine di una camera anecoica



(b) Ferrite utilizzata per schermare la camera



(c) Coni utilizzati per ridurre le riflessioni elettromagnetiche

Figura 3.1: Immagine di una camera anecoica e materiale assorbente utilizzato

Gli strumenti di misura da utilizzare per questo tipo di prove devono essere compliant con la CISPR 16-1-1, che definisce il livello di performance che uno strumento deve avere per poter essere utilizzato per certificare. Nel caso in cui il dispositivo emetta degli impulsi ad una periodicità inferiore al minimo tempo di osservazione (minimum scan time) devono essere utilizzate le configurazioni di tabella 3.1 per eseguire la misurazione. Nel caso in cui la periodicità sia superiore si può utilizzare dei tempi di osservazioni maggiori di quelli di tabella 3.1 e in caso di impulsi periodici di cui è noto il periodo si deve impostare il tempo di osservazione ad un valore che sia maggiore del reciproco della frequenza di ripetizione del segnale. Nella misurazione si può utilizzare uno strumento che si basa su FFT invece dell'analizzatore di spettro per poter eseguire lo stesso tipo di misurazione, in questo caso però il tempo di misurazione minimo non può essere inferiore a 1s.

Service/Band	Frequency range (MHz)	Peak detection		Quasi-peak detection		Average detection	
		RBW at -3 dB	Minimum scan time	RBW at -6 dB	Minimum scan time	RBW at -3 dB	Minimum scan time
Analogue broadcast services							
LW	0,15 to 0,30	9/10 kHz	10 s/ MHz	9/10 kHz	200 s/ MHz	9/10 kHz	10 s/ MHz
MW	0,53 to 1,8						
SW	5,9 to 6,2						
FM	76 to 108	100/120 kHz	100 ms/ MHz	100/120 kHz	20 s/ MHz	100/120 kHz	100 ms/ MHz
TV Band I	41 to 88						
TV Band III	174 to 230						
TV Band IV	470 to 944						
Digital broadcast services							
DAB III	167 to 245	1 MHz	100 ms/ MHz	Does not apply		1 MHz	100 ms/ MHz
TV Band III	174 to 230						
DTTV	470 to 770						
DAB L Band	1447 to 1494						
SDARS	2320 to 2345						
Mobile services							
CB	26 to 28	9/10 kHz	10 s/ MHz	9/10 kHz	200 s/ MHz	9/10 kHz	10 s/ MHz
VHF	30 to 54	100/120 kHz	100 ms/ MHz	100/120 kHz	20 s/ MHz	100/120 kHz	100 ms/ MHz
VHF	68 to 87						
VHF	142 to 175						
Analogue UHF	380 to 512			Does not apply			
RKF & TPSMS 1	300 to 330						
RKE & TPSMS 1	420 to 450						
Analogue UHF	820 to 960			100/120 kHz	20 s/ MHz		
GPS L5	1156,45 to 1196,45	Does not apply				9/10 kHz	1s/ MHz
BDS, B1I	1553,098 to 1569,089						
GPS L1	1567,42 to 1616,594						
GLONASS L1	1590,781 to 1616,594						
Wi-Fi/ Bluetooth	2402 to 2494	1 MHz	100 ms/ MHz	Does not apply		1 MHz	100 ms/ MHz
Wi-Fi	5150 to 5350						
Wi-Fi	5470 to 5725						
V2X (Wi-Fi)	5850 to 5925						
Digital mobile phone services							
2G		100/120 kHz	100 ms/ MHz	Does not apply		100/120 kHz	100 ms/ MHz
3G							
4G		1 MHz	100 ms/ MHz			1 MHz	100 ms/ MHz
5G							
Frequency bands associated with these technologies are detailed in limits tables							

Tabella 3.1: Parametri dell'analizzatore di spettro

Service/Band	Frequency range (MHz)	Peak detection			Quasi-peak detection			Average detection		
		RBW at -6 dB	Max step size	Min measurement time	RBW at -6 dB	Max step size	Min measurement time	RBW at -3 dB	Max step size	Min measurement time
Analogue broadcast services										
LW	0,15 to 0,30	9 kHz	5 kHz	50 ms	9 kHz	5 kHz	1 s	9 kHz	5 kHz	50 ms
MW	0,53 to 1,8									
SW	5,9 to 6,2									
FM	76 to 108	120 kHz	50 kHz	5 ms	120 kHz	50 kHz	1 s	120 kHz	50 kHz	5 ms
TV Band I	41 to 88									
TV Band III	174 to 230									
TV Band IV	470 to 944									
Digital broadcast services										
DAB III	167 to 245	1 MHz	500 kHz	50 ms	Does not apply			1 MHz	500 kHz	50 ms
TV Band III	174 to 230									
DTTV	470 to 770									
DAB L Band	1447 to 1494									
SDARS	2320 to 2345									
Mobile services										
CB	26 to 28	9 kHz	5 kHz	50 ms	9 kHz	5 kHz	1 s	9 kHz	5 kHz	50 ms
VHF	30 to 54	120 kHz	50 kHz	5 ms	120 kHz	50 kHz	1 s	120 kHz	50 kHz	5 ms
VHF	68 to 87									
VHF	142 to 175									
Analogue UHF	380 to 512				Does not apply					
RKE & TPSMS I	300 to 330									
RKE & TPSMS I	420 to 450									
Analogue UHF	820 to 960				120 kHz	50 kHz	1 s			
GPS L5	1156,45 to 1196,45	Does not apply						9 kHz	5 kHz	5 ms
BDS, B1I	1553,098 to 1569,089									
GPS L1	1567,42 to 1616,594									
GLONASS L1	1590,781 to 1616,594									
Wi-Fi / Bluetooth	2402 to 2494	1 MHz	500 kHz	50 ms	Does not apply			1 MHz	500 kHz	50 ms
Wi-Fi	5150 to 5350									
Wi-Fi	5470 to 5725									
V2X (Wi-Fi)	5850 to 5925									
Digital mobile phone services										
2G		120 kHz	50 kHz	5 ms	Does not apply			120 kHz	50 kHz	5 ms
3G		1 MHz	500 kHz	50 ms	Does not apply			1 MHz	500 kHz	50 ms
4G										
5G										
Frequency bands associated with these technologies are detailed in limits tables										

Tabella 3.2: Parametri per il ricevitore

Alimentazione

L'alimentazione del DUT deve rispecchiare quella che è presente in macchina, nel capitolo 4.5 sono previsti, per vari valori della tensione di alimentazione utilizzata dal mezzo, dei valori di

Motore OFF	Us	tolleranza
	12V	+ 2V; - 1V
	24V	+ 4V; - 2V
	48V	+ 8V; - 4V
Motore ON	Us	tolleranza
	13V	+ 3V; - 0V
	26V	+ 6V; - 0V
	48V	+ 8V; - 0V
La tensione della batteria del veicolo deve rientrare nei vincoli descritti.		

Tabella 3.3: Tensione d'alimentazione del dispositivo

tolleranza da utilizzare. Poichè in un veicolo a combustione interna il motore quando è acceso ricarica la batteria, la tensione di alimentazione del DUT può essere maggiore. Per questa ragione sono definite delle tensioni di alimentazione diverse per i test in cui viene simulato che il motore sia acceso, un riassunto e riepilogato nella tabella 3.3. Nel caso in cui si stia testando un'auto BEV o HEV si deve suddividere il test quando il veicolo è in ricarica AC e DC. In ricarica AC la tensione di alimentazione deve essere stabilizzata a +10% ; -15% della tensione nominale e $\pm 1\%$ rispetto alla frequenza nominale. Lo stato di carica (SOC) deve essere mantenuto tra il 20% e l' 80%, per rispettare questo vincolo il test può essere suddiviso in più prove. Se è possibile regolare la corrente assorbita questa deve essere ad almeno 80% del valore nominale della ricarica. Nel caso di ricarica DC la tolleranza sulla tensione di alimentazione è $\pm 10\%$. Nella tabella 3.4 sono riportati i limiti.

Ricarica	Us	tolleranza
	14V	+ 1V; - 1V
	24V	+ 4V; - 2V
Motore in funzione	Us	tolleranza
	14V	+ 1V; - 1V
	24V	+ 4V; - 2V
La tensione della batteria del veicolo deve rientrare nei vincoli descritti.		

Tabella 3.4: Tensione d'alimentazione del dispositivo

Antenna per le misurazioni

Per eseguire i test è richiesto che il produttore del veicolo fornisca una antenna della stessa tipologia di quella montata in auto. Se vengono utilizzate più antenne, di tipologia diversa tra loro per necessità di trasmettere a diverse frequenze, il produttore deve fornirne una per ogni tipologia e devono essere utilizzate per i test nel range di frequenza alle quali sono state progettate per funzionare. Nel caso in cui non dovessero essere fornite, nella tabella 3. vengono indicate le antenne da utilizzare per le diverse frequenze di test. Se viene utilizzata un antenna attiva, deve essere misurato il rumore di fondo poichè il rumore nella misurazione può essere più intenso.




Frequenza (MHz)	Tipologia d'antenna
0,15 - 6,2	1 m monopolo 
26 - 54	antenna a quarto d'onda 
68 - 1000	antenna a quarto d'onda 
1000 - 5925	Raccomandata dal produttore del veicolo

Tabella 3.5: Tipologia d'antenna per le frequenze di misurazione

3.1.2 Misurazione delle emissioni ricevute da un antenna della stessa tipologia del veicolo

Nella Figura 3.2 è preso un estratto dall'appendice B, che riassume i requisiti richiesti per eseguire una misurazione corretta nell'intervallo di frequenze indicato dalla normativa.

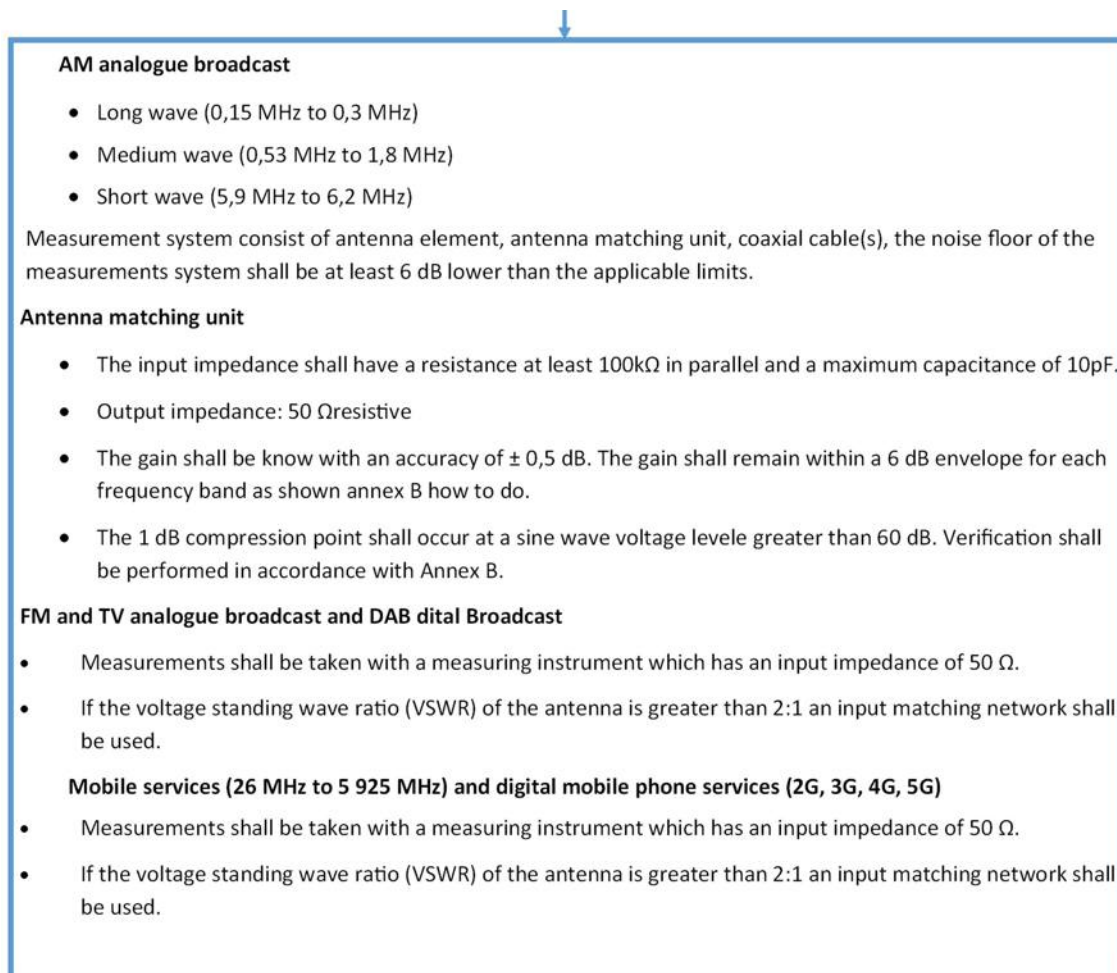


Figura 3.2: Estratto dell'appendice B in cui sono indicati i requisiti d'avere per le bande di frequenza interessate

Per eseguire la prova di emissione devono essere utilizzate delle accortezze, in particolare la normativa prevede che la misurazione venga fatta alla fine del ricevitore dell'antenna coassiale, utilizzando i contatti del connettore coassiale come riferimento. I riferimenti di ground devono essere tutti in comune e collegati tramite il cablaggio alla vettura stessa, il cablaggio deve essere lo stesso utilizzato poi in produzione del veicolo. Per le misure nelle bande AM la massa del veicolo e quella della ALSE devono essere elettricamente isolate, nel caso in cui il mezzo consenta l'installazione dell'antenna in diverse posizioni, la prova deve essere ripetuta per ogni posizione in cui è possibile installarla. Nella figura 3.3 è mostrato un esempio di setup prova.

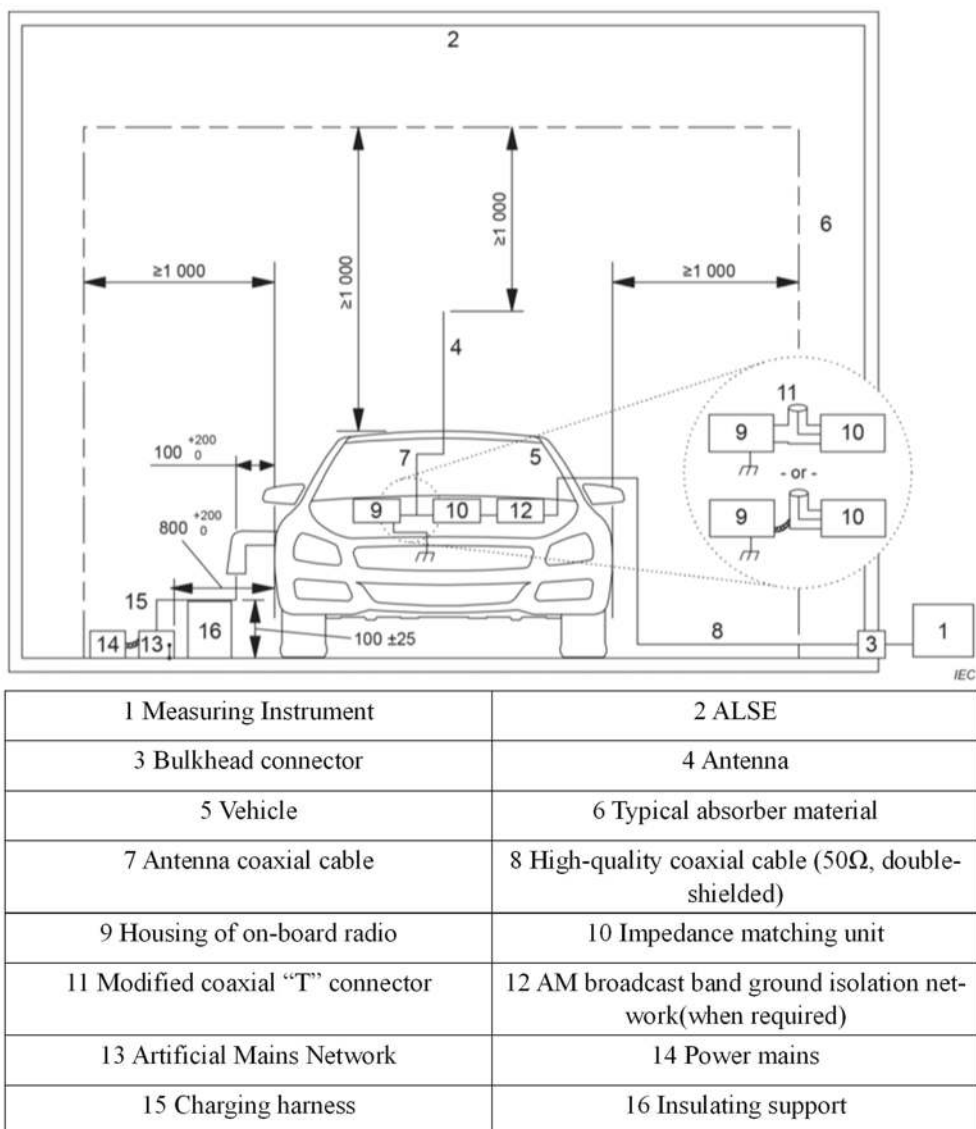


Figura 3.3: Test setup per eseguire la misurazione

Nel caso in cui il veicolo sia di tipologia BEV o HEV la prova deve essere ripetuta in condizione di ricarica del mezzo, la stazione di ricarica del mezzo si può posizionare all'interno o all'esterno dell'ALSE durante la prova. Le linee di alimentazione e comunicazione devono essere posizionate nella zona di test, al di sopra del piano di massa e la loro lunghezza tenuta il più corto possibile. L'alimentazione deve essere fornita tramite una Artificial Network (AN) di impedenza $50\mu\text{ H}/50\Omega$ nel caso di alimentazione AC e per la DC $5\mu\text{ H}/50\Omega$, la posizione della AN è all'interno della zona di test e al di sopra del piano di massa a cui deve essere connessa con una resistenza non superiore a $2,5\text{ m}\Omega$. Nella figura 3.4 è mostrato un esempio di setup di misura. Nell'appendice A verrà analizzato più in dettaglio il funzionamento di una Artificial Network e le sue diverse varianti, per maggiori dettagli si fa sempre riferimento all'appendice B.

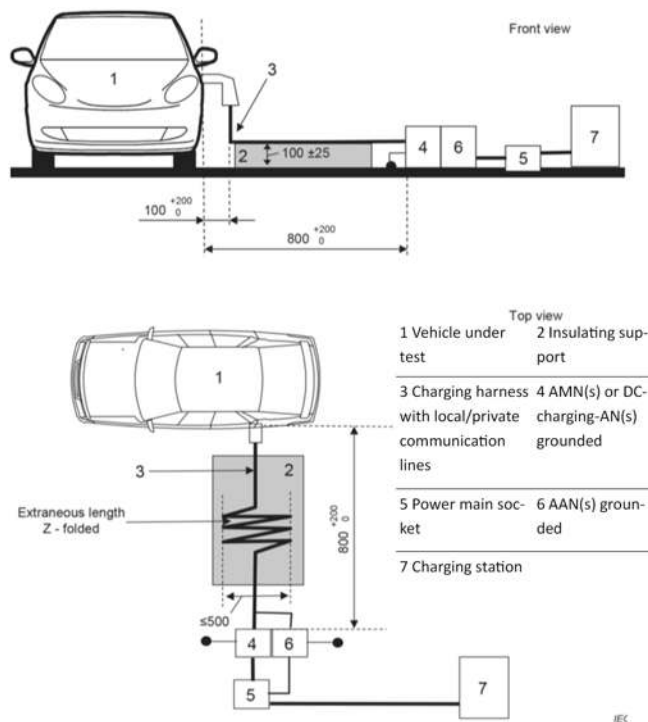


Figura 3.4: Test setup per eseguire la misurazione con il veicolo in fase di ricarica

Nella sezione 5.5 della normativa, o riasunti nell'appendice B sono presenti i limiti di radiazione nelle diverse bande.

3.1.3 Misure sui componenti e moduli del veicolo

Poichè le scelte progettuali di posizionamento, costruzione del veicolo e stesura del cablaggio possono influenzare l'accoppiamento dei disturbi e il conseguente comportamento dei dispositivi, viene previsto dalla normativa un ulteriore test per la verifica dei componenti LV e HV. In particolare, la norma prevede che per i componenti che operano sia in LV che in HV debbano essere svolti ulteriori test, che vengono descritti nell'Annex H della norma e che qui saranno riportati di seguito. Per questo tipo di prova sono previste tre distinte tecniche di prova, il test su cui verterà l'analisi qui descritta è il test sull'emissioni irradiate con la tecnica in camera anecoica, le altre prove sono descritte nell'appendice B.

Dispositivi per la prova

La prima parte della prova, di seguito descritta, è preliminare alla prova e definisce le dimensioni del piano di massa, il tipo AN da utilizzare e l'eventuale utilizzo di un simulatore di carico.

Il piano di massa deve essere posizionato tra i dispositivi da testare e il banco di test, le sue dimensioni minime devono essere 0,5 mm (spessore) x 1000 mm (width) x 2000 mm (length) oppure, nel caso in cui EUT abbiamo una dimensione maggiore, la sua dimensione deve essere superiore di 200 mm a quella dell'EUT che deve trovarsi completamente all'interno del piano

di massa. La dimensione del tavolo di lavoro in cui va posizionato deve essere quindi di minimo 1000 mm x 2000 mm con un'altezza da terra di circa 900 mm \pm 100 mm, l'altezza da terra è vincolata dal posizionamento del piano di massa e del dispositivo sotto test. Il collegamento di massa deve essere in comune con quello della camera, la distanza massima delle ground straps deve essere di 300 mm e per le misurazioni del range 10-30 MHz devono essere aggiunte ulteriori ground straps sul fronte e retro del piano per ridurre eventuali effetti risonanti.

Per alimentare l'EUT si deve utilizzare un AN con un'induttanza nominale da 5 μ H, maggiori dettagli sulla tipologia di Artificial network verrà fornita nell'appendice A dove sono descritte anche le AN da utilizzare per le norme ISO, il case della AN deve essere posizionata sopra il piano di massa a cui deve essere collegato una resistenza di massimo 2,5 m Ω , le eventuali porte d'uscita della AN non utilizzate dovranno essere terminate con un carico di 50 Ω . In funzione del tipo di cablaggio con cui il dispositivo è collegato a massa in automobile si devono utilizzare cavi di lunghezza diversa per connettersi alla AN:

- EUT "remotely grounded", una linea di alimentazione più lunga di 200 mm, deve essere utilizzate due AN una per l'alimentazione del positivo e una per il negativo.
- EUT "locally grounded", una linea di alimentazione inferiore a 200mm, devono essere utilizzata solamente una AN per l'alimentazione del positivo.

è consigliato l'utilizzo di un simulatore di carico per simulare la connessione di eventuali attuatori o sensori che sono collegati all'EUT, questo deve essere posizionato sopra il piano di massa e, se dotato di un case metallico, deve essere elettricamente collegato al piano di massa. Il tipo d'antenna da utilizzare per il test dipende dalla frequenza d'indagine interessata, nella tabella 3.6 seguente è indicata il tipo d'antenna da utilizzare in funzione delle frequenze da utilizzare.





0,15 MHz to 30 MHz	1m monopolo verticale 
30 MHz to 300 MHz	antenna biconica 
200 MHz to 1000 MHz	antenna logaritmica 
1000 MHz to 5925 MHz	Horn o antenna logaritmica 

Tabella 3.6: Tipologia d'antenna per le frequenze di misurazione

Posizionamento durante il test

In questa sezione verrà descritto il posizionamento dei dispositivi durante il test, in particolare l'EUT deve trovarsi sopra al piano di massa ad una altezza da esso di circa $50 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$, la distanza di esso dal bordo deve essere di $200 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$. La lunghezza del cablaggio tra l'EUT e il simulatore di carico deve essere di massimo 2000 mm , se superiore deve essere indicato nel test report. Anche il cablaggio deve essere posizionato ad un'altezza dal piano di massa di circa $50 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$, la lunghezza della parte di cablaggio parallela al piano di massa deve essere di $1500 \pm 75 \text{ mm}$. Il segmento di cablaggio più lungo deve essere posizionato parallelo al bordo che si affaccia all'antenna, ad una distanza di $100 \pm 10 \text{ mm}$ dal bordo, il cablaggio che arriva all'EUT e al simulatore di carico deve compiere una curva di 90° , la figura 3.5 spiega visivamente il posizionamento del cablaggio.

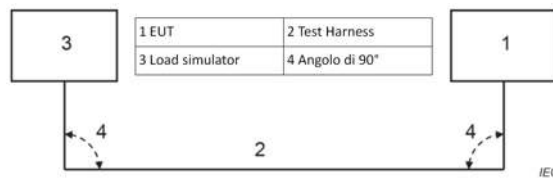


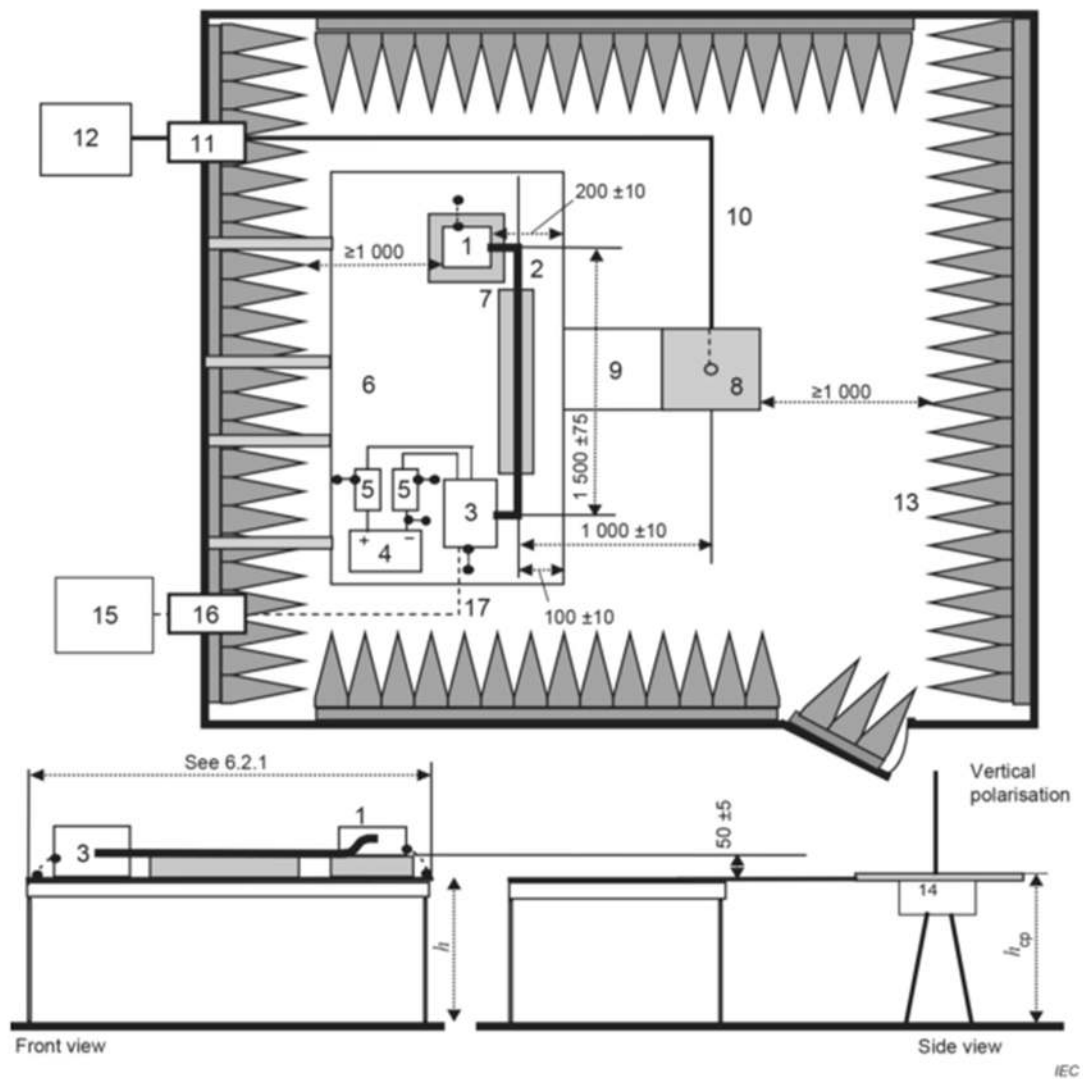
Figura 3.5: Posizionamento da utilizzare per il cablaggio

Per il posizionamento dell'antenna di misura la norma prevede che il centro di fase dell'antenna deve essere $100 \pm 10 \text{ mm}$ sopra il piano di massa di riferimento dell'antenna. L'ampiezza della camera deve essere sufficiente a posizionare all'EUT e l'antenna una distanza di almeno 1 m dalle pareti, la distanza tra l'EUT e l'antenna non deve essere inferiore a 700 mm e la distanza tra la parte longitudinale del cablaggio deve essere di almeno $1000 \pm 10 \text{ mm}$.

Il test va condotto da 150 kHz a 30 MHz in sola polarizzazione verticale e da 30 MHz a 5925 MHz sia in polarizzazione verticale che orizzontale. Il punto di riferimento per le antenne utilizzate viene così definito dalla normativa:

- Per l'antenna monopolare il punto sull'asse verticale.
- Il punto medio per l'antenna biconica.
- La punta frontale dell'antenna logaritmica.
- L'apertura frontale dell'antenna horn.

Un esempio di setup di misura è mostrato nella figura 3.6 altri esempi e limiti d'emissione fanno parte dell'appendice B.



Key

- | | |
|--|--|
| 1 EUT (locally connected to reference ground plane if required in test plan) | 9 Grounding connection (full width bond between counterpoise and reference ground plane) |
| 2 Test harness | 10 High-quality coaxial cable e.g. double-shielded (50 Ω) or Fibre Optic Cable |
| 3 Load simulator (placement and ground connection according to 6.5.2.6) | 11 Bulkhead connector |
| 4 Power supply (location optional) | 12 Measuring instrument |
| 5 Artificial network (AN) | 13 RF absorber material |
| 6 Reference ground plane (bonded to shielded enclosure) | 14 Antenna matching unit (the preferred location is below the counterpoise; if above the counterpoise then the base of the antenna rod shall be at the height of the reference ground plane) |
| 7 Low relative permittivity support ($\epsilon_r \leq 1,4$) | 15 Stimulation and monitoring system |
| 8 Rod antenna with counterpoise (dimensions: 600 mm by 600 mm typical) | 16 Fibre optic feed through |
| $h = (900 \pm 100)$ mm | 17 Optical fibres |
| $h_{cp} = h + (+10 / -20)$ mm | |

Figura 3.6: Esempio di setup e posizionamento per il test

Test per i componenti elettrici connessi sia all'HV che alla LV

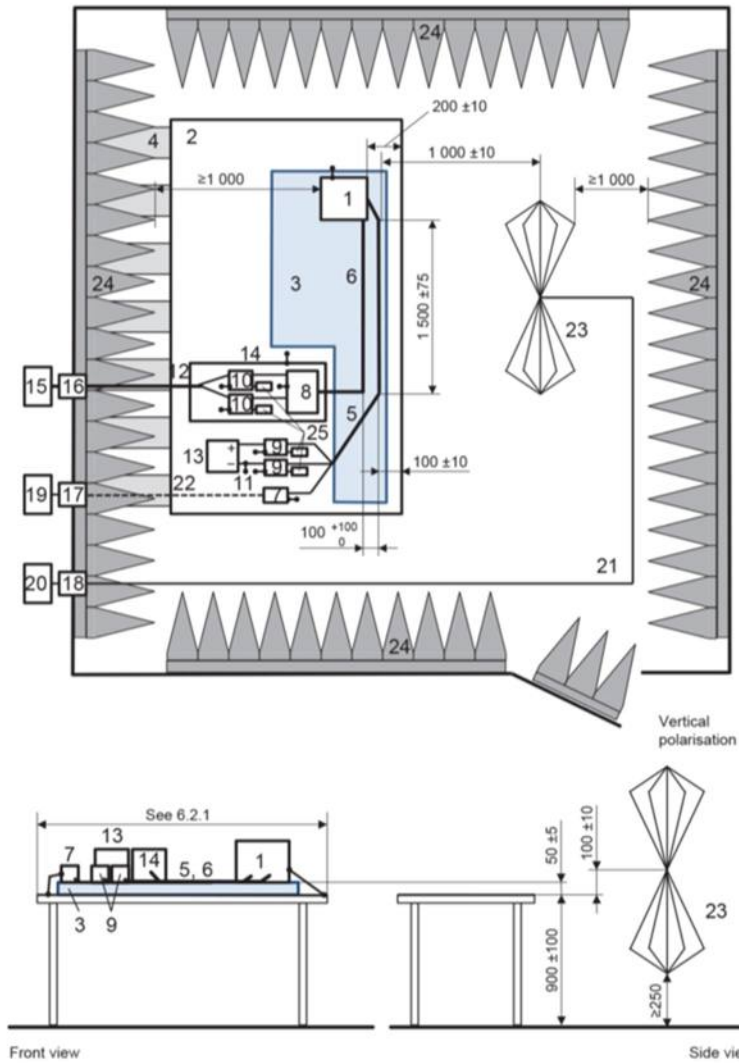
Le ulteriori prove qui sotto elencate fanno riferimento all' Annex H, che definisce le tecniche di test per i componenti elettronici del veicolo connessi alla rete di LV e/o HV. L'analisi si concentrerà sulle prove irradiate, che hanno come limiti quelli definiti nelle tabelle del capitolo 6, un'analisi più accurata degli altri tipi di prove definite nella norma si possono trovare nell'appendice B.

Il piano di massa, l'Artificial Network e il simulatore di carico utilizzano le stesse regole che sono state definite nel capitolo 6. Nel caso in cui non si utilizzi il cablaggio effettivo utilizzato in auto si devono seguire le seguenti regole sulla lunghezza da utilizzare:

- 1700 mm (+300mm) per le linee di LV e la parte di cablaggio di LV parallelo al lato frontale del piano di massa deve essere di $1500 \text{ mm} \pm 75 \text{ mm}$.
- 1700 mm (+300mm) per le linee di HV e la parte di cablaggio di HV parallelo al lato frontale del piano di massa deve essere di $1500 \text{ mm} \pm 75 \text{ mm}$.
- Non più lungo di 1000 mm per le linee trifase tra EUT e motore elettrico.

Il cablaggio, come gli EUT, devono trovarsi ad una altezza di $50 \pm 5 \text{ mm}$ al di sopra del piano di massa. Il pezzo più lungo del cablaggio di LV deve esser posizionato parallelo al bordo del piano di massa che si affaccia all'antenna e deve essere ad una distanza da questo bordo di $100 \pm 10 \text{ mm}$. Il cablaggio di HV invece deve posizionarsi ad almeno $100 + 100/0 \text{ mm}$ dal cablaggio di LV. Il cablaggio utilizzato deve essere rappresentativo di quello presente in auto (se non è quello effettivo dell'auto), questo significa che devono essere utilizzati dei connettori e cavi dalle performance simili a quelli utilizzati nel cablaggio reale del veicolo. La distanza tra le linee di potenza in AC e il cablaggio HV o LV più vicino deve essere di almeno $+100 \text{ mm}$. Le antenne da utilizzare sono le medesime definite nel capitolo 6. Nella figura 3.7 è mostrato un esempio di test setup, tutti gli altri possibili setup di misura sono illustrati nell'appendice B.

Top view (horizontal polarisation)



IEC

1 EUT	2 reference ground plane
3 low permittivity support	4 Ground straps
5 LV harness	6 HV lines (HV+,HV-)
7 LV load simulator	8 Impedance matching network
9 LV-AN	10 HV-AN
11 LV supply lines	12 HV supply lines
13 LV power supply 12V/24V/48V	14 additional shielded box
15 HV power supply	16 power line filter
17 Fiber optic feed through	18 bulk head connector
19 stimulating and monitoring system	20 measuring instrument
21 high quality coaxial cable	22 optical fiber
23 biconical antenna	24 RF absorber material
25 50Ω load	

Figura 3.7: Esempio di test per EUT con shielded power supply

Accoppiamenti parassiti tra HV e LV

Una misura importante nei test con HV e LV è il test di accoppiamento tra la rete HV e LV, per essere completa la prova e il test deve essere condotto sia con misurazioni condotte che irradiate. Nell'esecuzione del test l'EUT può essere alimentato o non alimentato, viene iniettato un segnale di test a HV+ e in seguito a HV-. Il tipo di segnale deve essere concordato con il produttore.

Il segnale di test deve rientrare nei limiti indicati all'appendice B, prima di poter essere applicato è necessario provvedere ad una calibrazione, per la calibrazione l'EUT deve essere connesso e non alimentato. Va misurata la porta d'uscita della HV-AN nell'intervallo da 150 kHz a 108 MHz con un rilevatore di picco di banda 9 kHz, la calibrazione va fatta fornendo il segnale di test prima ad HV+ e poi ad HV-. Nella figura 3.8 è illustrato un esempio di test setup.

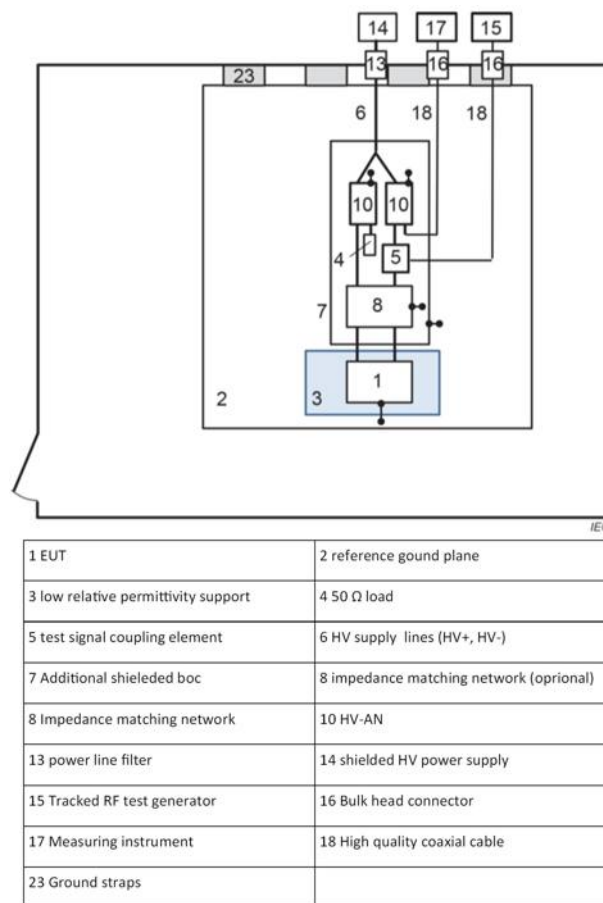


Figura 3.8: Test setup per la calibrazione del segnale di test

La procedura d'esecuzione della prova è sotto riportata per le tre tecniche che possono essere utilizzate:

- Il test condotto "Voltage Method" misura il disturbo alla fine dell'alimentazione LV, il livello d'emissione deve essere misurato su LV+ e LV- per ogni segnale di test utilizzato.

- Il test condotto "Current Probe" misura il disturbo presente nel cablaggio, come per il "Voltage Method" deve essere eseguito per ogni segnale di test utilizzato. La sonda di corrente deve essere posizionata in tutto il cablaggio LV, nel caso ci siano più connettori o gruppi di cavi la misura deve fatta per ogni connettore e tutti i fili assieme, la misurazione va eseguita ad una distanza di 50/750 mm dall'EUT in base alla lunghezza del cablaggio.
- Per le misurazioni irradiate si devono utilizzare le antenne definite nel capitolo 6 per l'intervallo di frequenze ad esse corrispondente, è altamente raccomandato l'utilizzo di ferrite con un'impedenza di 50 Ω a 25 MHz e 110 Ω a 100 MHz.

Il test setup che deve essere utilizzato nella prova è lo stesso riportato in figura 3.7.

In aggiunta alla prova precedente si può eseguire la stima del coefficiente a_c , che rappresenta il coupling attenuator factor la cui misurazione deve essere effettuata con un analizzatore di spettro. I parametri da utilizzare nell'analizzatore di spettro sono i seguenti:

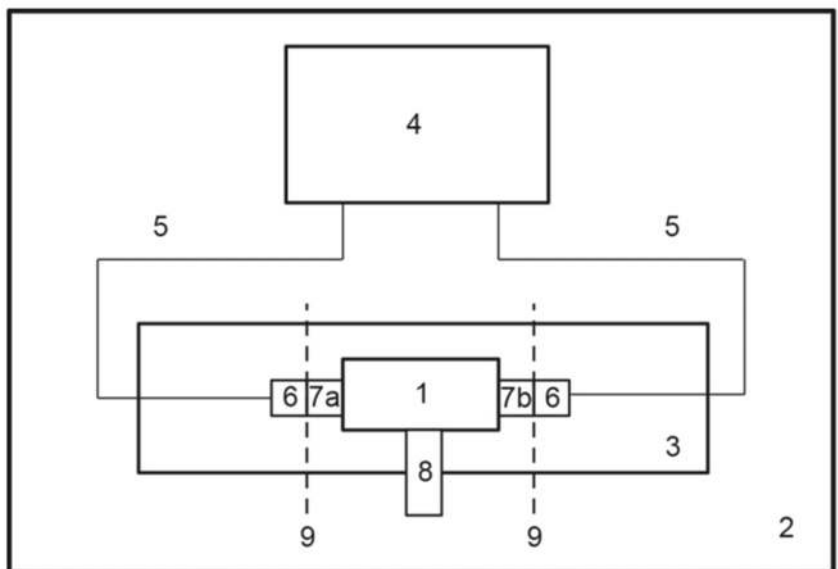
- Power level: 0 dBm.
- Minimum averaging factor: 8.
- Minimum number of points (with logarithmic sweep): 401.
- Maximum IF bandwidth: 1 kHz.

L'EUT durante il test deve essere non alimentato, il coefficiente a_c è ottenuto utilizzando un analizzatore di scattering, il coefficiente che corrisponde al nostro coupling factor è S_{21} sapendo la relazione $a_c = -S_{21}$.

L'EUT deve essere posizionato ad una altezza di 50 \pm 5 mm dal piano di massa, la tabella 3.7 spiega dove deve essere effettuata la misurazione e la figura 3.9 mostra un esempio di setup di misura.

Configurazione per dispositivi senza LV-		
	Porta 1	Porta 2
Configurazione 1	DC HV+ line	LV+ line
Configurazione 2	DC HV- line	LV+ line
Configurazione per dispositivi con LV-		
	Porta 1	Porta 2
Configurazione 1	DC HV+ line	LV+ line
Configurazione 2	DC HV- line	LV+ line
Configurazione 3	DC HV+ line	LV- line
Configurazione 4	DC HV- line	LV- line

Tabella 3.7: Dove effettuare la misurazione nei diversi casi possibili



IEC

1 EUT	2 reference ground plane
3 low relative permittivity support	4 Network analyser
5 coaxial cable	6 Network analyser con coaxial measuring cable connector
7a HV adapter	7b LV adapter
8 EUT bonding connection	9 Reference plane for network analy-

Figura 3.9: Test setup per la misura del coefficiente di attenuazione

I requisiti per il valore minimo del coefficiente d'accoppiamento sono i seguenti:

Frequency in MHz	Class	Minimum coupling attenuation, a_c in dB
0,15 - 1000	A5	$80 - 10 \times \log(f_{MHz}/0,15)$
	A4	$70 - 10 \times \log(f_{MHz}/0,15)$
	A3	$60 - 10 \times \log(f_{MHz}/0,15)$
	A2	$50 - 10 \times \log(f_{MHz}/0,15)$
	A1	$40 - 10 \times \log(f_{MHz}/0,15)$

Tabella 3.8: Limiti del coefficiente di coupling

3.2 ISO 7637

La normativa viene utilizzata per testare i disturbi indotti nei conduttori o accoppiamenti tra i conduttori nei sistemi di bassa tensione (12/24 V). Sono previste particolari forme d'onda che vanno a simulare la presenza di impulsi di tensione o disconnessioni improvvise di carichi. La normativa è suddivisa in tre parti:

- La parte prima definisce le condizioni di test alle quali deve essere sottoposto il dispositivo;
- La seconda definisce tutti gli strumenti e i requisiti di performance che questi devono avere;
- La terza specifica il tipo di prove e come queste devono essere eseguite;

3.2.1 Parte 1

La parte prima della normativa definisce due valori da tenere in considerazione durante il test, che sono temperatura e tensione di alimentazione. In particolare la temperatura da tenere durante il test deve essere di $23 \pm 5^{\circ}\text{C}$ con una tensione di alimentazione che deve essere di $13 \pm 1\text{ V}$ e $26 \pm 2\text{ V}$ per rispettivamente sistemi a 12V e 24V.

La normativa definisce anche il Function Performance Status Classification (FPSC) che è un metodo qualitativo per stimare le performance del DUT, questo approccio è consigliato soprattutto quando si testano dispositivi semplici, che hanno funzioni del tipo on-off oppure di bus communication. L'approccio definisce quattro livelli di funzionamento:

- Stato I: il dispositivo performa come progettato anche durante l'esecuzione del test;
- Stato II: il dispositivo non performa come progettato durante il test, ma ritorna a funzionare correttamente un volta terminato;
- Stato III: il dispositivo non performa come progettato durante il test e senza l'intervento del guidatore, spegnimento e riaccensione del mezzo, il dispositivo non torna ad operare correttamente;
- Stato IV: il dispositivo non performa come progettato durante il test e senza un intervento di un operatore, come la disconnessione e riconnessione della batteria o una riprogrammazione, il dispositivo non torna a funzionare correttamente;

Ad ogni stato va poi indicato il livello di severità con il quale è stato raggiunto quello stato, il livello di severità viene deciso dal produttore del veicolo in base alla tipologia di applicazione per cui ha progettato il dispositivo.

3.2.2 Parte 2

La parte 2 dell'ISO specifica i test a banco da eseguire per il test di iniezione e misura dei transienti d'emissione nelle linee. Che viene descritto e applicato solamente a dispositivi che devono comandare grandi carichi induttivi come sedili motorizzati, finestrini motorizzati e grandi induttanze, per piccoli carichi non deve essere condotto questo test.

Le condizioni in cui si deve trovare il DUT, temperatura e tensione, sono definite nel capitolo precedente. L'esecuzione di questo test deve essere eseguita utilizzando una AN come definita nell'appendice A, la parte di cablaggio che collega l'AN, lo switch e il DUT deve essere posizionato 50 ± 5 mm sopra un piano di metallo. Il DUT deve essere posizionato su un materiale non conduttivo a 50 ± 5 mm al di sopra del piano di massa, poichè l'installazione del DUT deve rispecchiare quella reale in macchina potrebbe essere necessario collegare a massa la custodia. Il tempo di campionamento e la visualizzazione della forma d'onda deve essere tale da poter visualizzare il picco massimo e minimo con una risoluzione sufficiente.

Setup per impulsi lenti e veloci

Il test setup per impulsi lenti è mostrato in figura 3.10, il test dovrà essere eseguito aprendo lo switch S. In caso in cui il DUT abbia uno switch interno questo deve essere sempre chiuso e nel caso in cui non si possa controllare esternamente lo stato si deve registrare ed indicare nel test report lo stato dello switch interno.

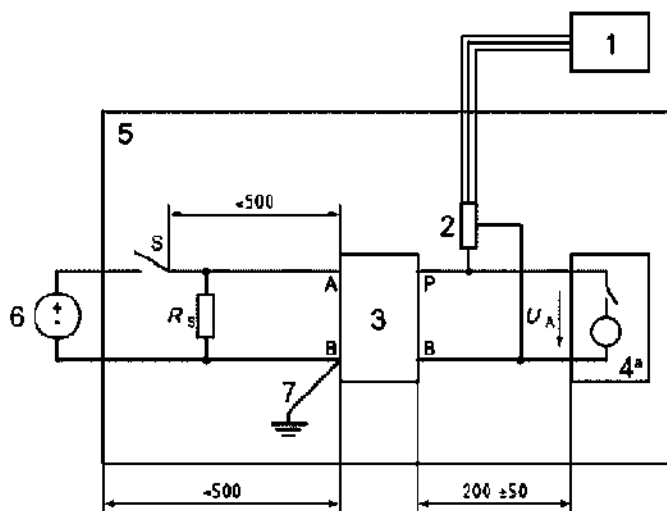


Figura 3.10: Setup per il test ad impulso lento

Nel test d' impulsi rapidi sono utilizzati due setup, uno per DUT con switch interno e l'altro per DUT con switch esterno. La differenza tra i due setup è che se il DUT è dotato di switch interno, deve essere usato questo per condurre la prova, nel caso non ci fosse deve essere utilizzato quello esterno. In figura 3.11 sono illustrati i setup di misura, la differenza è nella presenza o meno dello switch S.

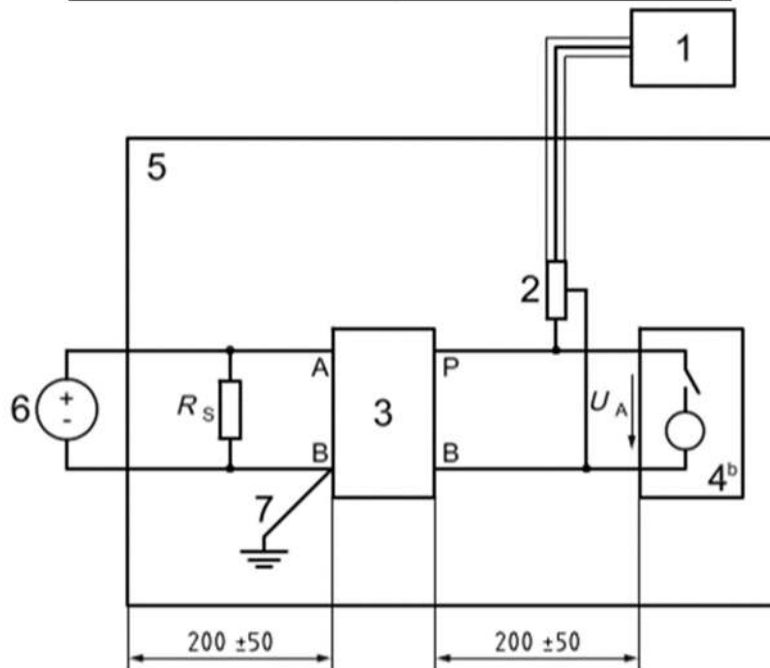
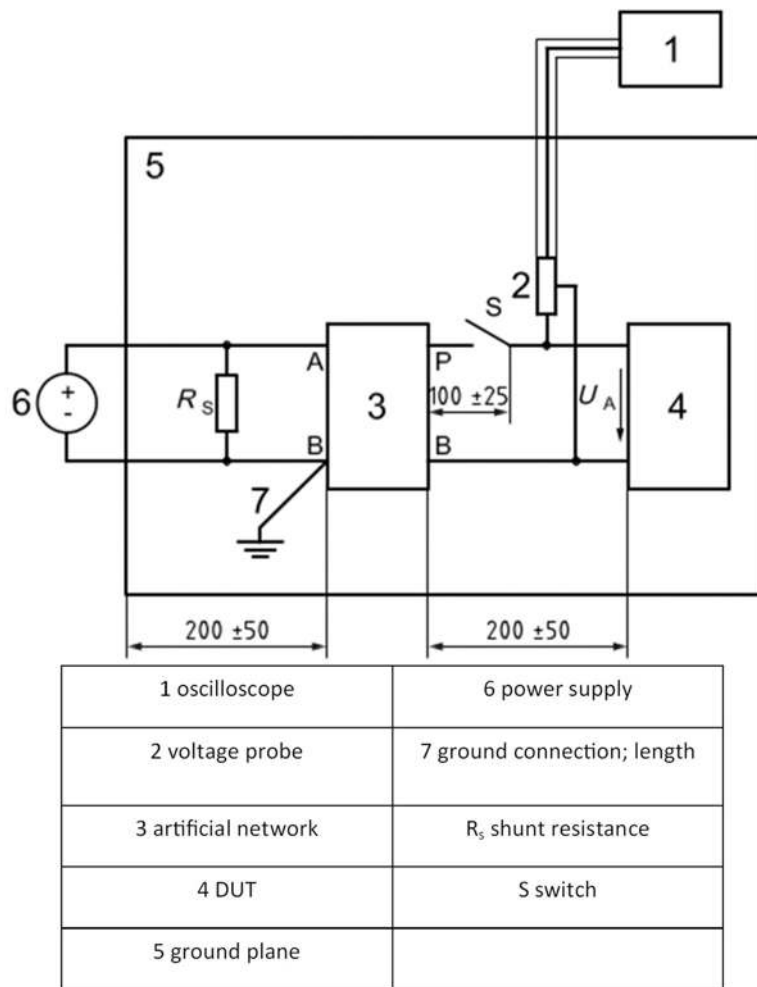


Figura 3.11: Test setup per impulsi rapidi

Setup per i test d'immunità

Il posizionamento da utilizzare per il DUT nella prova è lo stesso della sezione precedente, per questo tipo di prova è necessario utilizzare un simulatore di carico che può essere posizionato anche a terra durante la prova oppure adiacente al piano di massa in caso in cui sia necessario collegare il contenitore a terra. La prova deve essere eseguita due volte, una prima volta con l'oscilloscopio collegato ed una seconda con un oscilloscopio scollegato. In figura 3.12 sono mostrati entrambi i setup di misura, la differenza è nella connessione e disconnessione dell'oscilloscopio.

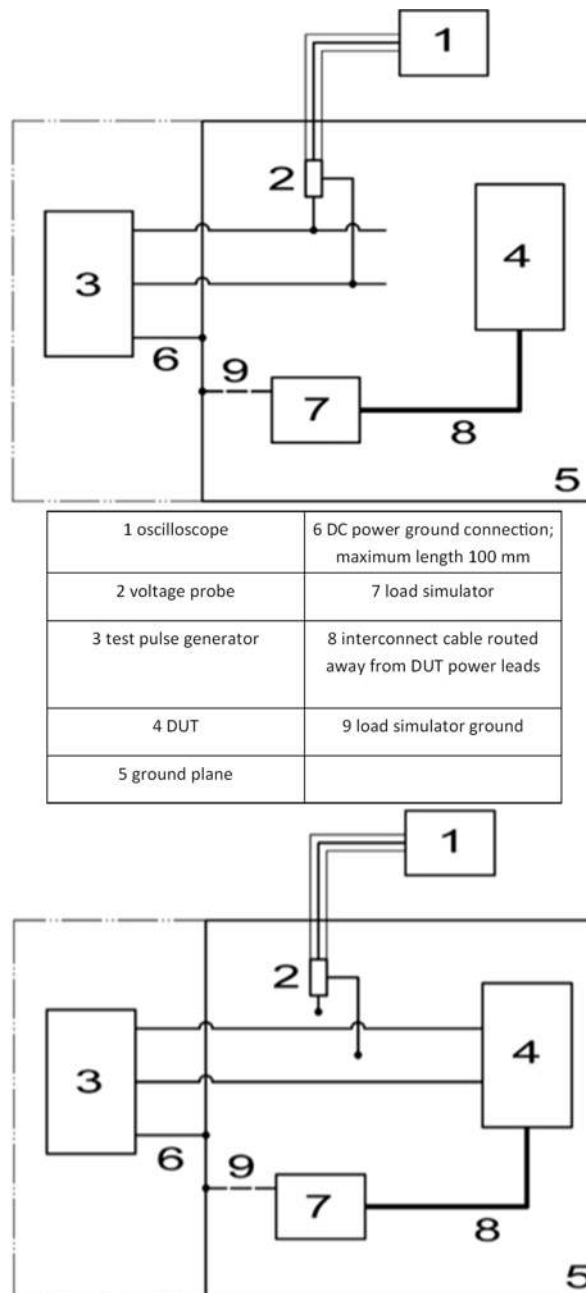


Figura 3.12: Test setup per la prova d'immunità

Resistenza di Shunt

Il resistore di shunt simula l'impedenza degli altri dispositivi del veicolo che sono connessi in parallelo con L'EUT. Il valore del resistore di shunt deve essere specificato dal costruttore, in genere corrisponde all'impedenza media del cablaggio tra l'interruttore d'accensione e massa, se non è specificato dal costruttore il suo valore deve essere di $R_s = 40 \Omega$.

Interruttore S

L'interruttore utilizzato deve poter essere attuato in un tempo di qualche ns per la generazione dei fast transient e nel caso della generazione dei slow transient l'ordine è di qualche ms. Il tipo d'interruttore che si può utilizzare può essere di due tipi, elettronico o meccanico (relay), in funzione del tipo d'interruttore che si intende utilizzare sono richiesti dei livelli di performance diversi.

- Per la misurazione di transienti di tensione ad alto voltaggio, sopra i 400 V, si possono utilizzare dei relay automotive con le seguenti caratteristiche:
 - Corrente massima di contatto $I = 30 \text{ A}$;
 - Contatti in argento;
 - no dispositivi di soppressione tra i contatti del relay;
 - Contatto singolo o doppio, elettricamente isolato dal circuito d'eccitazione;
- Per la misurazione di transienti di tensione a basso voltaggio, sotto i 400 V, si possono utilizzare degli interruttori elettronici con le seguenti caratteristiche:
 - voltage rating: $U_{max} = 400 \text{ V}$ a 25 A (riferimento minimo);
 - current rating : $I_{max} = 25 \text{ A}$ continuativa, 100 A per $< 1 \text{ s}$;
 - caduta di tensione: $\Delta U < 2 \text{ V}$ a 25 A ;
 - tempo di commutazione: $\Delta t_s = 300 \text{ ns} \pm 20 \%$ a $13,5 \text{ V}$;
 - trigger: interno o esterno;

Power supply

L'alimentatore utilizzato per fornire potenza deve avere una resistenza interna di meno di $0,01 \Omega$ fino ad una frequenza di 400 Hz . La tensione d'uscita non deve variare di più di 1 V . Il ripple di tensione iniettato U_r non deve superare $0,2 \text{ V}$ picco-picco.

Strumenti di misura

Per la misurazione dei parametri può essere utilizzato un oscilloscopio con sonda di tensione oppure un dispositivo d'acquisizione di forme d'onda. Nel caso di utilizzo di un oscilloscopio le seguenti caratteristiche devono essere utilizzate:

- bandwidth: almeno 400 MHz;
- tempo di campionamento: 2 GS/s;

Le caratteristiche della sonda di tensione sono invece le seguenti:

- attenuazione: 10/1;
- massima tensione d'ingresso: 500 V;
- bandwidth: almeno 400 MHz o maggiore dell'oscilloscopio;
- impedenza d'ingresso: $Z > 1 \text{ M}\Omega$ in DC;

Segnali di test

La normativa definisce 5 segnali di test per la prova di impulso, nelle figure e tabelle seguenti sono illustrati i segnali e le loro caratteristiche.

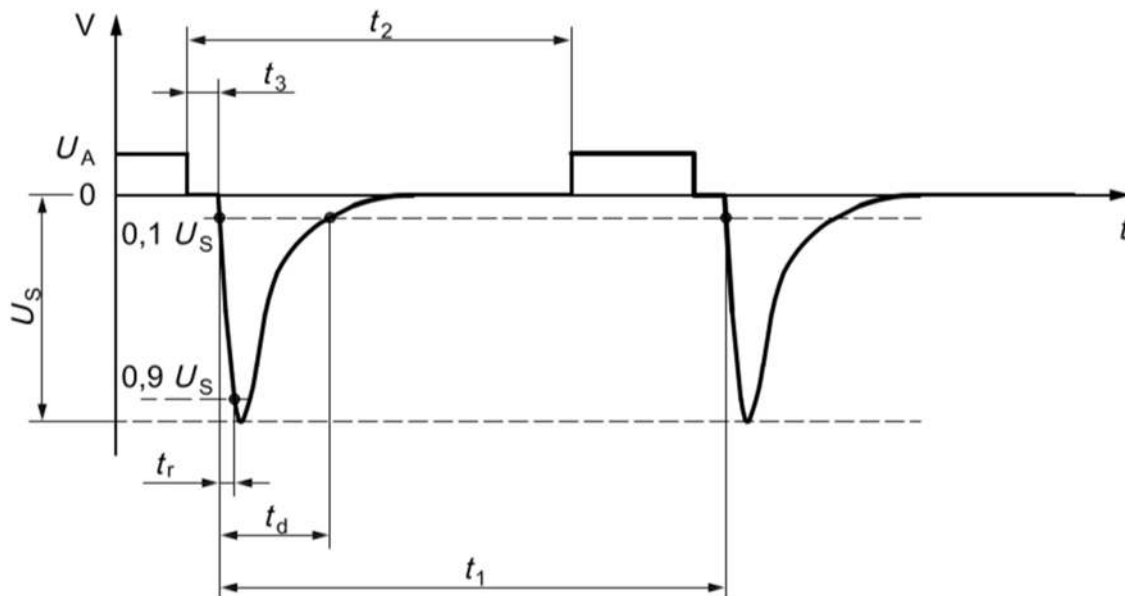


Figura 3.13: Forma d'onda 1

Parameters	Nominal 12 V system	Nominal 24 V system
U_s	-75 V to -150 V	-300 V to -600V
R_i	10 Ω	50 Ω
t_d	2 ms	1 ms
t_r	1 μs	3 μs
t_1^a	> 0,5 s	
t_2	200 ms	
t_3^b	< 100 μs	
t_1 shall be chosen such that it is the minimum time for the DUT to be correctly initialized before the application of the next pulse and shall be $\geq 0,5$ s.		
t_3 is the smallest possible time necessary between the disconnection of the supply source and the application of the pulse.		

Tabella 3.9: Parametri per la forma d'onda 1

Forma d'onda 2a.

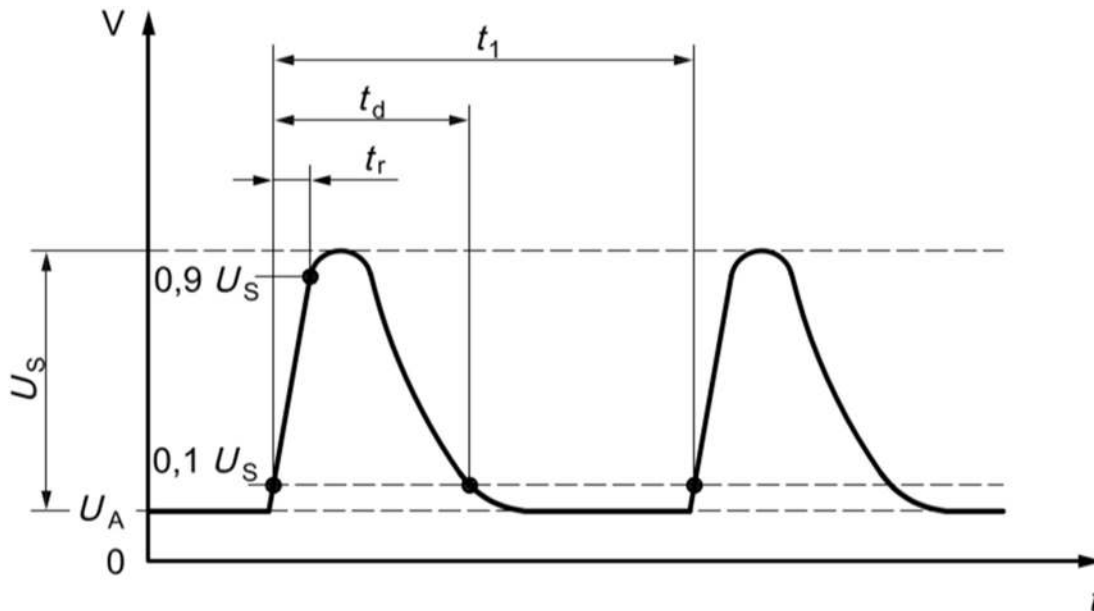


Figura 3.14: Forma d'onda 2a

Parameters	Nominal 12 V and 24 V system
U_s	+37 V to +112 V
R_i	2 Ω
t_d	0,05 ms
t_r	1 μ s
t_1^a	0,2 s to 5 s
a the repetition time t_1 can be short depending on the switching. The use of a short repetition time reduces the test time	

Tabella 3.10: Parametri per la forma d'onda 2a

Forma d'onda 2b.

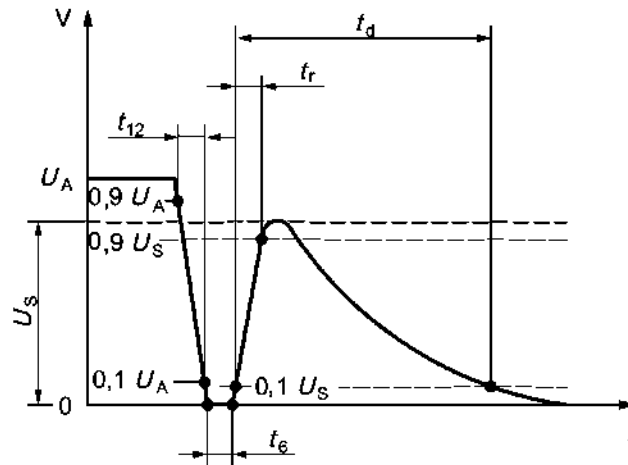


Figura 3.15: Forma d'onda 2b

Parameters	Nominal 12 V	Nominal 24 V system
U_s	10 V	20V
R_i	0 Ω to 0,05 Ω	
t_d	0,2 s to 2s	
t_{12}	1 ms \pm 0,5 ms	
t_r	1 ms \pm 0,5 ms	
t_6	1 ms \pm 0,5 ms	

Tabella 3.11: Parametri per la forma d'onda 2b

Forma d'onda 3a.

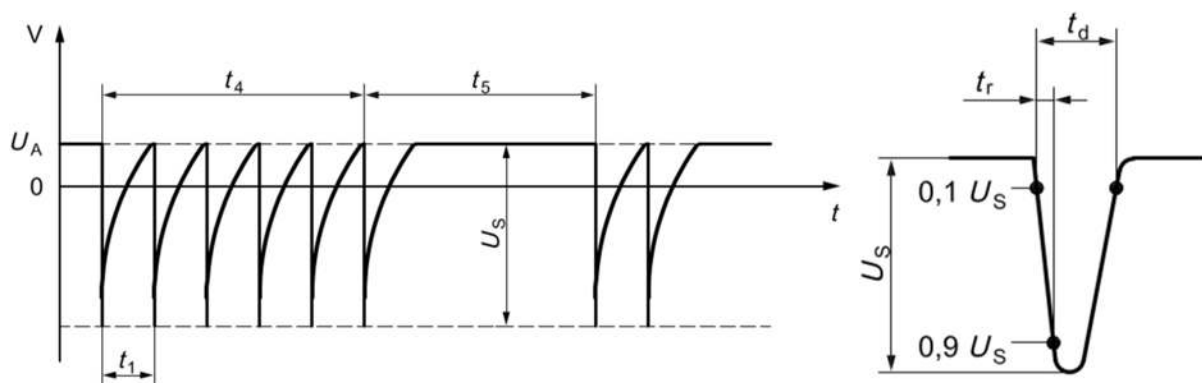


Figura 3.16: Forma d'onda 3a

Parameters	Nominal 12 V	Nominal 24 V system
U_s	-112 V to -220 V	-150 V to -300 V
R_i	50 Ω	
t_d	150 ns \pm 45 ns	
t_r	5 ns \pm 1,5 ns	
t_1	100 μ s	
t_4	10 ms	
t_5	90 ms	

Tabella 3.12: Parametri per la forma d'onda 3a

Forma d'onda 3b.

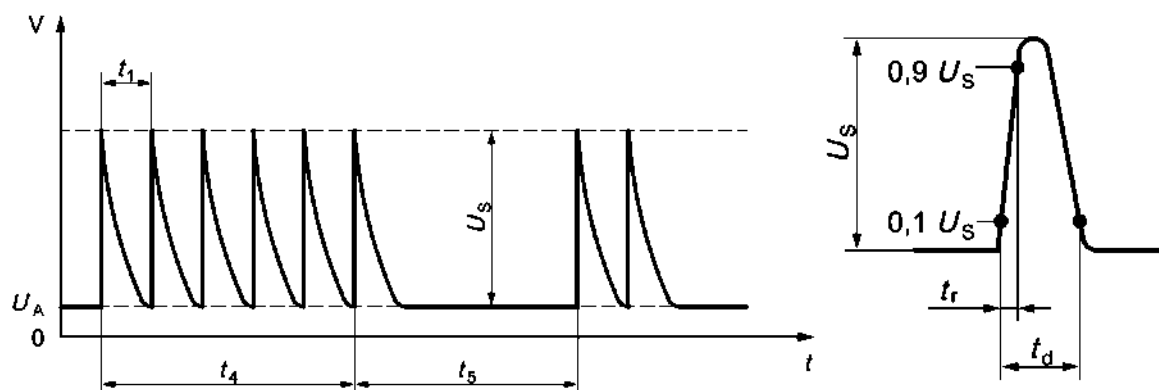


Figura 3.17: Forma d'onda 3b

Parameters	Nominal 12 V	Nominal 24 V system
U_s	+75 V to +150 V	+50 V to +300 V
R_i	50 Ω	
t_d	150 ns \pm 45 ns	
t_r	5 ns \pm 1,5 ns	
t_1	100 μ s	
t_4	10 ms	
t_5	90 ms	

Tabella 3.13: Parametri per la forma d'onda 3b

Limiti del test

La normativa definisce dei livelli di severità, che devono essere applicati in accordo con il produttore. In base al tipo di livello di severità applicato cambiano i limiti che il dispositivo deve sopportare. Nella tabella 3.14 sono riportati i livelli di severità da utilizzare in un sistema a 12 V e nella tabella 3.15 sono riportati i livelli di severità da utilizzare in un sistema a 24 V.

Test pulse	Test pulse severity level U_s			Min. number of pulse or test time	pulse repetition time	
	IV	III	I/II		min	max
1	-150 V	-112 V	-75 V	500 pulses	0,5 s	minimum time for the DUT for a corrected inizialization
2a	+112 V	+55 V	+37 V	500 pulses	0,2 s	5 s
2b	+10 V	+55 V	+37 V	10 pulses	0,5 s	5 s
3a	-220 V	-165 V	-112 V	1 h	90 ms	100 ms
3b	+150 V	+112 V	+75 V	1 h	90 ms	100 ms

Tabella 3.14: Livelli di severità per sistemi a 12 V

Test pulse	Test pulse severity level U_s			Min. number of pulse or test time	pulse repetition time	
	IV	III	I/II		min	max
1	-600 V	-450 V	-300 V	500 pulses	0,5 s	minimum time for the DUT for a corrected inizialization
2a	+112 V	+55 V	+37 V	500 pulses	0,2 s	5 s
2b	+20 V	+20 V	+20 V	10 pulses	0,5 s	5 s
3a	-300 V	-220 V	-150 V	1 h	90 ms	100 ms
3b	+300 V	+220 V	+150 V	1 h	90 ms	100 ms

Tabella 3.15: Livelli di severità per sistemi a 24 V

Nel caso in cui venga utilizzata la tecnica FPSC, nella tabella 3.16 è riportato la correlazione tra i test severity level della norma e quello della FPSC per definire il Function Status Performance.

	Category 1	Category 2	Category 3
L_{4i}	Level IV	Level IV	Level IV
L_{3i}	Level I/ II/ III	Level IV	Level IV
L_{2i}	Level I/ II/ III	Level I/ II/ III	Level IV
L_{1i}	Level I/ II/ III	Level I/ II/ III	Level I/ II/ III

Tabella 3.16: Livelli di severità per sistemi a 24 V

Nelle figure seguenti sono riportati degli esempi di forme d'onda, nella prova ad impulsi lenti (figura 3.18) e impulsi rapidi (figura 3.19). Come illustrato possiamo avere delle curve diverse che hanno diversi picchi, sia positivi che negativi. Ogni tipo di picco, positivo o negativo, ha dei limiti ai quali deve sottostare che sono illustrati nelle tabelle 3.17 e 3.18.

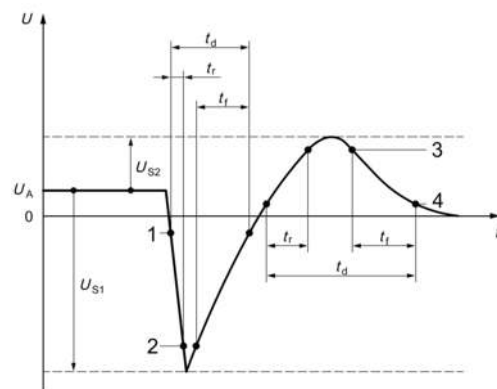


Figura 3.18: Esempio di risposta in caso d'applicazione d'impulsi lenti

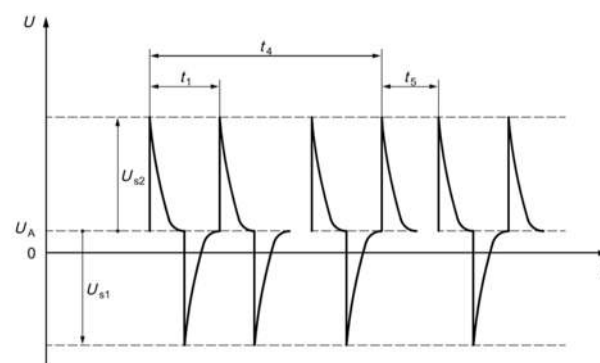


Figura 3.19: Esempio di risposta in caso d'applicazione d'impulsi rapidi

Pulse amplitude (U_s)	Limiti per U_s nei diversi severity level			
	I / II	III	IV	V
Positive slow pulses	+25 V	+37 V	+75	Values determined by vehicle manufacturer
Negative slow pulses	-50 V	-75 V	-100 V	
Positive fast pulses	+50 V	+75 V	+100 V	
Negative fast pulses	-75 V	-112 V	-150 V	

Tabella 3.17: Limiti per sistemi a 12 V

Pulse amplitude (U_s)	Limiti per U_s nei diversi severity level			
	I / II	III	IV	V
Positive slow pulses	+25 V	+37 V	+75	Values determined by vehicle manufacturer
Negative slow pulses	-100 V	-150 V	-200 V	
Positive fast pulses	+100 V	+150 V	+200 V	
Negative fast pulses	-100 V	-150 V	-200 V	

Tabella 3.18: Limiti per sistemi a 24 V

3.2.3 Parte 3

La parte numero 3 della ISO 7637 definisce i test a banco che devono essere condotti per analizzare l'immunità del DUT ad impulsi presenti in linee diverse da quelle dell'alimentazione. Il test che viene condotto esegue una simulazione di variazione di tensione lente e rapide per simulare una variazione del carico induttivo, la normativa definisce tre tipi di prova che possono essere eseguiti:

- Capacitive Coupling Calmp (CCC);
- Direct Capacitive Coupling (DCC);
- Inductive Coupling Clamp (ICC);

Non tutti e tre i metodi descritti possono essere utilizzati per variazione di tensione rapide o lente, nella tabella 3.19 è riportato uno schema che illustra che tipo di metodo deve essere utilizzato per i diversi tipi di segnale.

Transient pulses type	CCC method	DCC method	ICC method
Slow transient pulses 2a	Not applicable	Applicable	Applicable

Tabella 3.19: Test method applicability

Test setup

Rispetto alla ISO 7637 parte 2 la norma prevede delle dimensioni minime e massime per il piano di massa da utilizzare, che però sono simili a quanto visto nella EN55025. La dimensione del piano di massa sul quale deve essere posto il DUT è di 1000 mm di larghezza oppure l'intera zona di test +200 mm quale dei due è più grande, nella zona di test non sono considerati alimentatore e generatore d'impulsi. La lunghezza del piano deve essere di 2000 mm oppure l'intera zona di test +200 mm. Il DUT deve essere posizionato a 50 mm d'altezza rispetto al piano di massa tramite un materiale dielettrico, eventuali sensori, carichi ecc. che devono essere utilizzati durante il test, devono essere collegati a massa con il percorso più breve possibile. Per minimizzare ogni possibile accoppiamento capacitivo è consigliato avere una distanza minima tra DUT e altri elementi conduttivi di almeno 0,5 m.

CCC test

La prova di Capacitive Coupling Clamp (CCC) definisce un setup di prova con il quale deve essere posizionato il DUT. Le linee di alimentazione (12/24 V) del DUT non devono essere incluse nella prova, al contrario tutte le altre linee, comprese quelle di massa, devono essere incluse nella prova. Il test deve essere condotto su tutte le singole linee che partono dal DUT,

eventuali linee intrecciate o shielded devono essere mantenute durante la prova. Le linee devono essere posizionate sullo stesso supporto del DUT ad una distanza di 100 mm dal coupling clamp, la lunghezza totale del cablaggio deve essere di 1700 mm (+300 mm/ 0 mm). Nella figura 3.20 è riportato l'esempio di test setup da seguire e nella figura 3.21 è riportato un esempio di setup per la calibrazione.

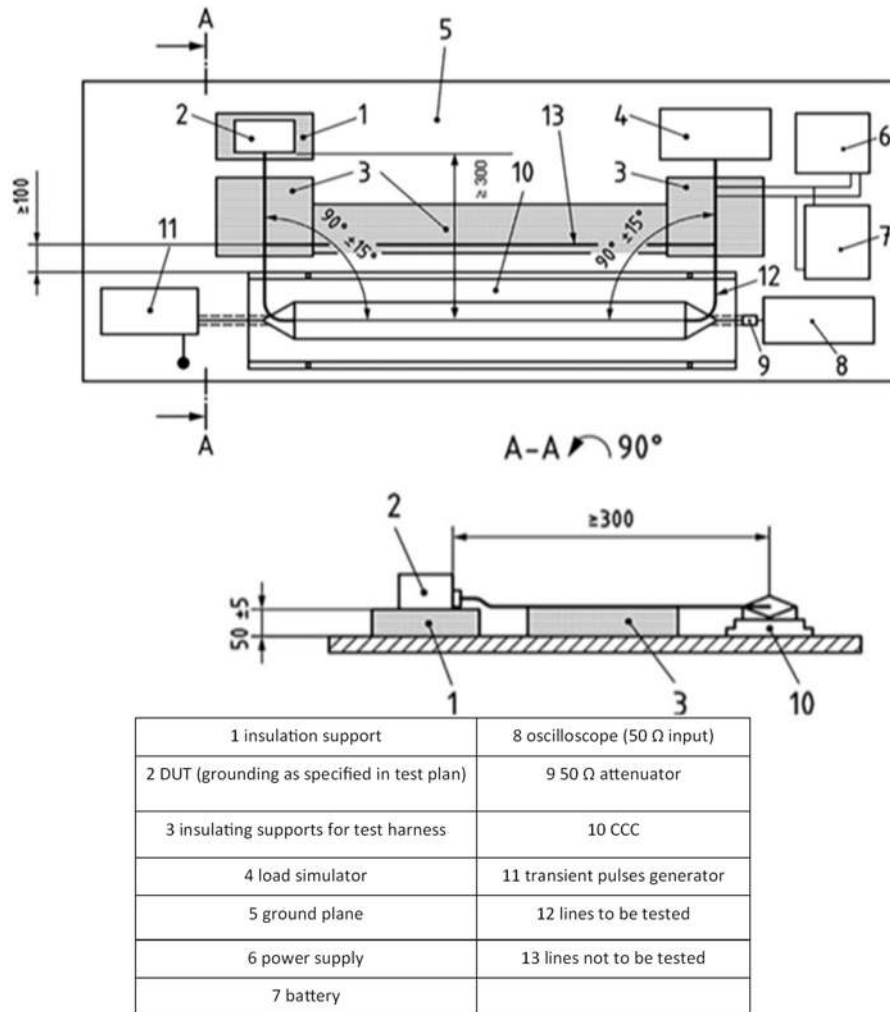


Figura 3.20: Test setup per CCC test



Figura 3.21: Prova per la calibrazione del CCC test

DCC test

Questa tipologia di prova può essere utilizzata sia per il test con impulsi lenti che per il test con impulsi rapidi. I valori di capacità da utilizzare per il test sono indicati nella tabella 3.20, un'eccezione al tipo di capacità da utilizzare è fatto per le linee di comunicazione che possono utilizzare un livello di capacità diverso da quello definito nella tabella 3.20. Per la regolazione

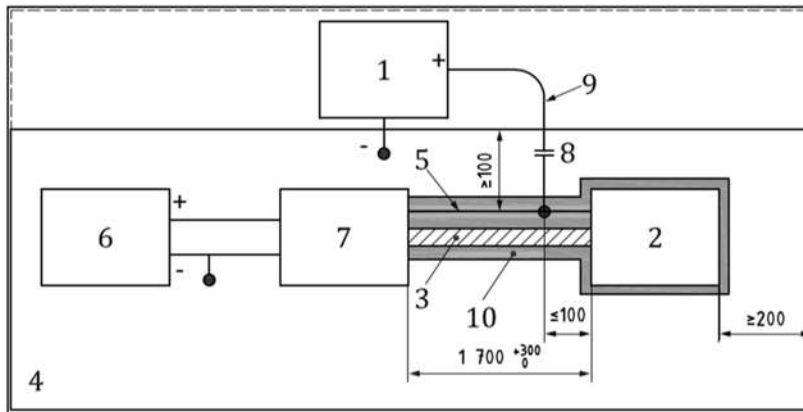
Test pulses	Capacitor value
Slow transient pulses	0,1 μ f
Fast transient pulses	100 pF

Tabella 3.20: Valori di capacità per il DCC test

dei livelli di potenza da utilizzare nella prova è consigliato utilizzare due setup di test diversi per il test a impulsi lenti e test a impulsi rapidi.

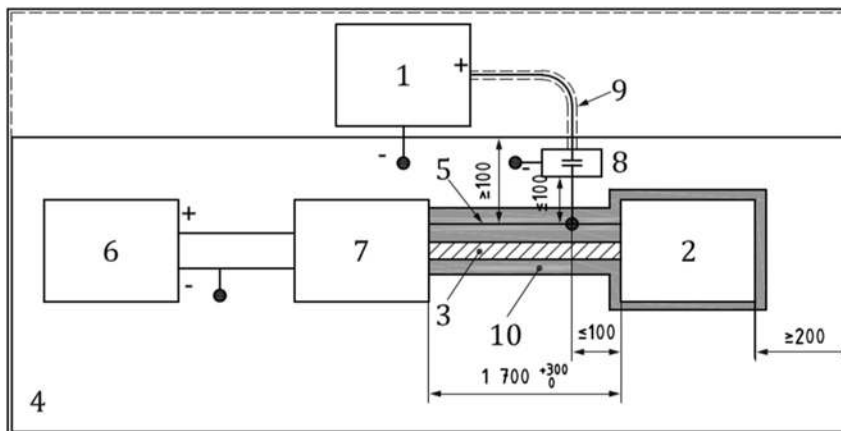
- Per gli impulsi lenti è consigliato utilizzare un sonda ad alta impedenza per condurre il test;
- Per gli impulsi rapidi è consigliato collegare all'uscita del condensatore un adattatore da 50 Ω - 1 k Ω . L'adattatore deve essere collegato ad un oscilloscopio con l'ingresso settato a 50 Ω e il collegamento deve essere eseguito tramite un cavo coassiale a 50 Ω d'impedenza. Solo per le prove con impulsi rapidi il/i condensatori dovranno essere posizionati all'interno di una scatola schermata collegata a massa;

Per questo tipo di prova sono indicate delle modifiche particolari al setup di prova generale, in particolare la distanza delle linee di I/O rispetto alla scatola che contiene il condensatore deve avere una distanza inferiore o uguale a 100 mm e la distanza tra il generatore e il condensatore non deve essere superiore a 500 mm utilizzando un cavo coassiale a 50 Ω d'impedenza. Nelle figura 3.22 e figura 3.23 sono illustrate rispettivamente la prova per impulsi lenti e impulsi rapidi.



1 transient pulses generator	6 power supply
2 DUT	7 load simulator
3 wiring harness	8 high-voltage non-polarized lead capacitor
4 ground plane	9 injection line
5 I/O line under test	10 insulation support with low relative permittivity material

Figura 3.22: Test setup per DCC test con impulsi lenti



1 transient pulses generator	6 power supply
2 DUT	7 load simulator
3 wiring harness	8 high-voltage non-polarized lead capacitor
4 ground plane	9 50 Ω coaxial cable (length not greater than 500 mm)
5 I/O line under test	10 insulation support with low relative permittivity material

Figura 3.23: Prova per la calibrazione del DCC test con impulsi rapidi

ICC method

Questa tipologia di prova è consigliato utilizzarla nel caso in cui il DUT sia dotato di un numero elevato di ingressi e uscite, solo prove con impulsi lenti possono essere condotte con questo tipo di prova. Le prestazioni che devono essere raggiunte per questo tipo di prova sono illustrate nella tabella 3.21, nella figura 3.24 è mostrato un esempio di injection probe.

Parameters	12 V system	24 V system
t_d	$7 \mu s \pm 30 \%$	$7 \mu s \pm 30 \%$
t_r	$\leq 1,2 \mu s$	$\leq 1,2 \mu s$

Tabella 3.21: Caratteristiche per ICC



Figura 3.24: Esempio di injection probe (ICC)

Durante la procedura di test l'ICC deve essere posizionata a 150 ± 50 mm dal connettore del DUT, in generale le condizioni di test riportate nella sezione di test setup si possono applicare per questa tipologia di prova. Nella figura 3.25 è illustrato un esempio di test-setup per questo tipo di prova.

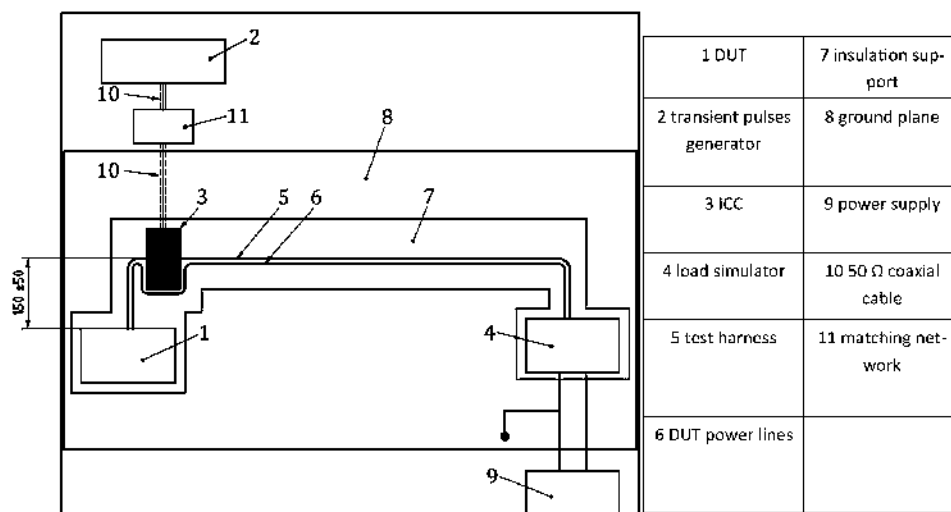


Figura 3.25: Esempio di test setup

Generatori d'impulsi

La normativa prevede l'utilizzo di 4 tipi diversi di segnali per la prova, 2 lenti e 2 veloci di cui 1 per i lenti e 1 per i veloci deve essere negativo. L'intento di questi segnali è quello di simulare l'apertura del circuito dovuta alla disconnessione di grossi carichi induttivi.

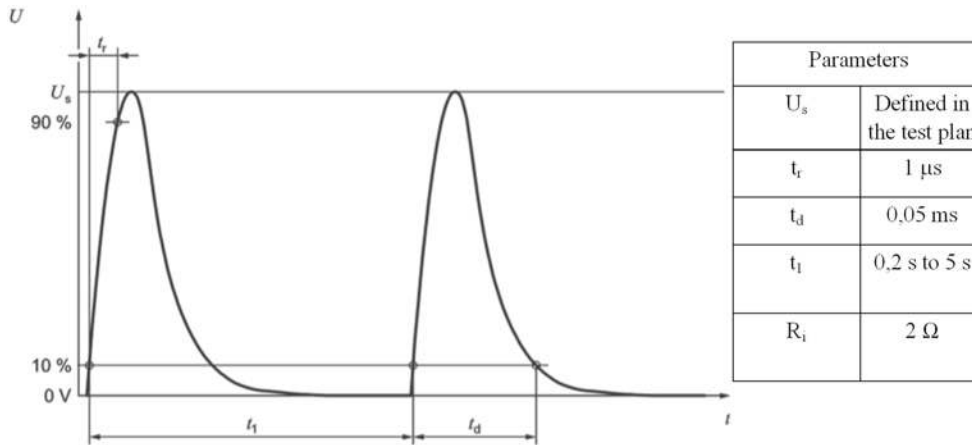


Figura 3.26: Impulso lento positivo

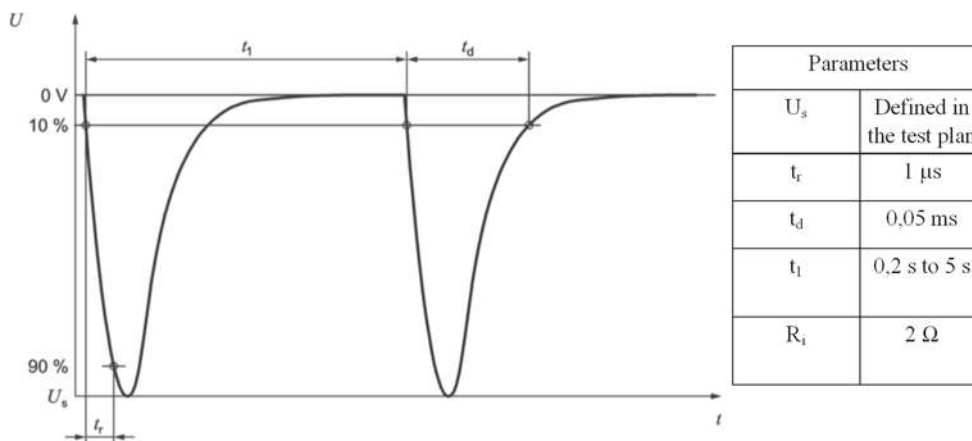


Figura 3.27: Impulso lento negativo

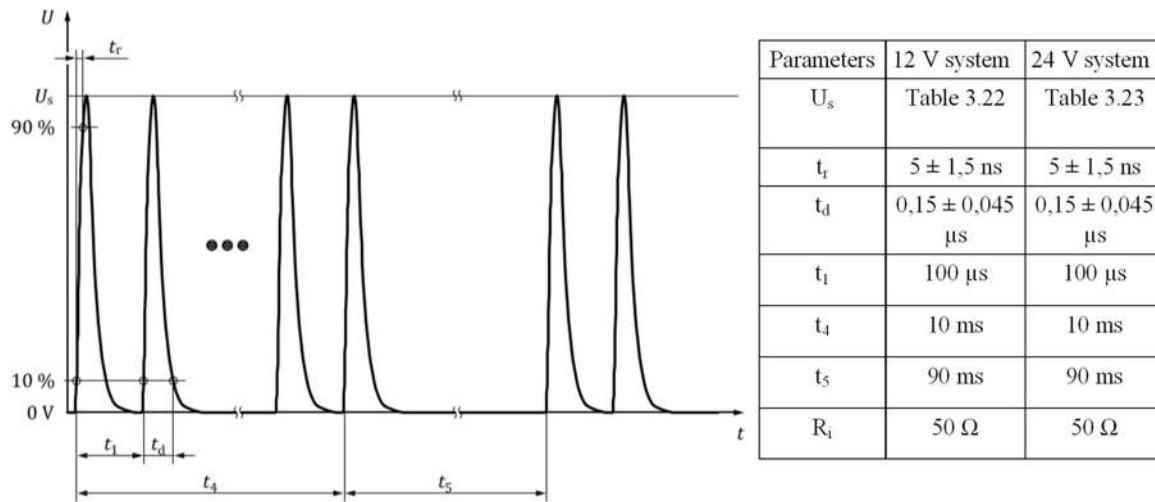


Figura 3.28: Impulso rapido positivo

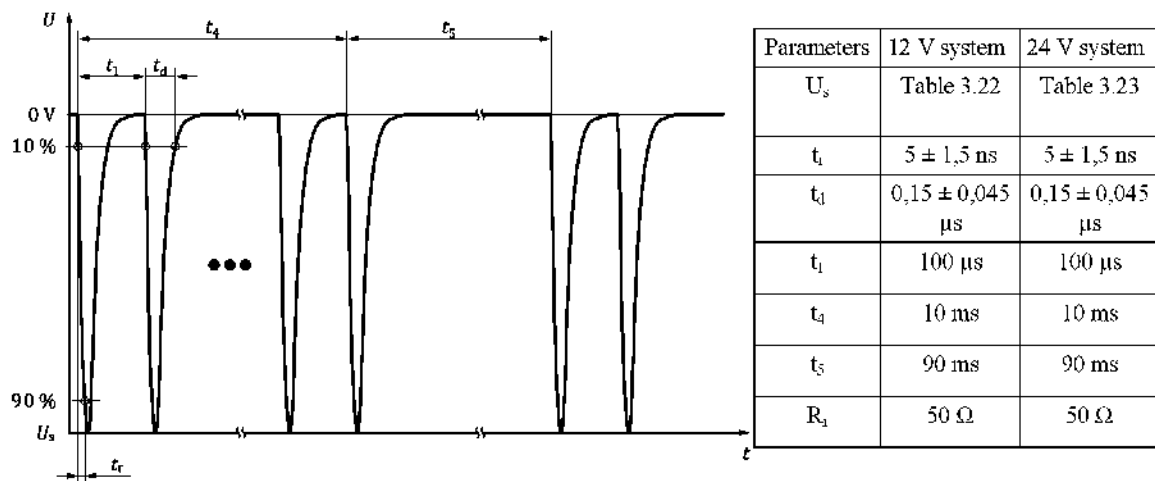


Figura 3.29: Impulso rapido negativo

Limiti

In questa sezione sono indicati i limiti e i livelli di tensione U_s da utilizzare, la tecnica utilizzata per condurre questo tipo di prova è la FPSC. La tipologia di test e la sua durata deve essere scelta in accordo con il produttore, che sceglierà tra durate e livello di test elencati nelle tabelle sottostanti.

Transient pulse test	Test levels U_s^c V				Test time min
	I	II	III	IV	
Fast 3a (DCC and CCC)	-37	-75	-110	-150	10
Fast 3b (DCC and CCC)	+37	+75	+110	+150	10
DCC slow +	+15	+25	+35	+45	5
DCC slow -	-15	-25	-35	-45	5
ICC slow +	+4	+6	+8	+10	5
ICC slow -	-4	-6	-8	-10	5
c The amplitude in the table are the values of U_s					

Tabella 3.22: Livelli di severità per sistemi a 12 V

Transient pulse test	Test levels U_s^c V				Test time min
	I	II	III	IV	
Fast 3a (DCC and CCC)	-30	-60	-80	-110	10
Fast 3b (DCC and CCC)	+18	+37	+60	+75	10
DCC slow +	+8	+15	+23	+30	5
DCC slow -	-8	-15	-23	-30	5
ICC slow +	+3	+4	+5	+6	5
ICC slow -	-3	-4	-5	-6	5
c The amplitude in the table are the values of U_s					

Tabella 3.23: Livelli di severità per sistemi a 24 V

Nella tabella 3.24 è riportato un esempio di FPSC

	Category 1	Category 2	Category 3
L_{4i}	Level II	Level III	Level IV
L_{3i}	Level II	Level III	Level III
L_{2i}	Level II	Level II	Level III
L_{1i}	Level I	Level I	Level II

Tabella 3.24: Esempio di FPSC

3.3 ISO 11452

La normativa viene utilizzata per testare l'immunità dei dispositivi ai disturbi di sorgenti elettromagnetiche situate in prossimità di essi. La norma viene divisa in 9 sezioni, in cui sono testati dispositivi e cablaggio a diverse frequenze e a diverse grandezze. In particolare, analizzeremo le seguenti sezioni della normativa:

- ISO11452-2 che lavora tra 80 MHz e 18 GHz;
- ISO11452-4 che lavora tra 1 MHz e 3 GHz;
- ISO11452-8 che lavora in continua e tra 15 Hz e 150 kHz;

3.3.1 ISO11452-2

La normativa viene utilizzata per testare l'immunità dei dispositivi elettronici di bordo alla presenza di disturbi generati dai sistemi di propulsione come motori elettrici, inverter ecc. Le prove che verranno eseguite saranno applicate non solo ai dispositivi ma anche al loro cablaggio, con annessi eventuali carichi che possono condurre o emettere disturbi in particolari condizioni di test. Il setup di misura è diverso in base al fatto che il DUT sia schermato oppure no, nelle seguenti sezioni analizzeremo entrambi i setup e prove.

Test setup per un sistema non schermato

Il piano di massa deve avere uno spessore di almeno 0,5 mm con una dimensione minima 1 x 2 m o comunque deve contenere interamente il DUT oltre ad essere 200 mm più lungo e/o largo. L'altezza da terra alla quale deve essere posizionato il piano di massa deve essere di 900 mm e la resistenza tra il piano e la camera anecoica deve essere di massimo 2,5 mΩ.

Il DUT deve essere alimentato tramite un AN, illustrata nell'appendice A, in funzione dell'installazione del veicolo questo potrà avere più AN. Nel caso in cui il DUT in macchina abbia una lunghezza del cavo di ground superiore a 200 mm è necessaria un AN per il positivo e il negativo, nel caso la lunghezza sia inferiore solo un AN per il positivo può essere utilizzato. L'AN deve essere posizionata al di sopra del piano di massa e le porte di misura devono essere terminate con un'impedenza da 50 Ω.

Il DUT deve essere posizionato al di sopra di un materiale dielettrico, ad una altezza di circa 50 mm dal piano di massa, la parte frontale del DUT deve trovarsi ad una distanza di circa 200 mm dal bordo del piano di massa. La disposizione del cablaggio del DUT deve seguire le seguenti linee guida:

- La parte del cablaggio parallela alla sezione frontale del piano di massa deve avere una lunghezza di 1500 mm;

- La lunghezza totale tra il DUT e il simulatore di carico deve essere di almeno 1700 mm;
- Il cablaggio deve trovarsi al di sopra dello stesso piano dielettrico del DUT;

Il simulatore di carico deve essere posizionato al di sopra del piano di massa e collegato ad esso. L'altezza del centro di fase deve essere posizionata a 100 mm sopra il piano di massa. Nessun componente emissiva dell'antenna deve essere più vicina di 250 mm dal terreno e 500 mm dalle pareti della stanza. La distanza tra il cablaggio e l'antenna deve essere di 1 m, misurato in funzione della tipologia d'antenna usata:

- Il centro di fase dell'antenna biconica;
- La parte emissiva più vicina nell'antenna log-periodica;
- La parte più vicina dell'antenna horn;

La parte centrale dell'antenna per le frequenze tra 80 MHz e 1 GHz deve essere in linea con la parte longitudinale (1500 mm) del cablaggio, per frequenze superiori al gigahertz questo deve essere allineato con il DUT. Nella figura 3.30 è illustrato un esempio di setup di misura.

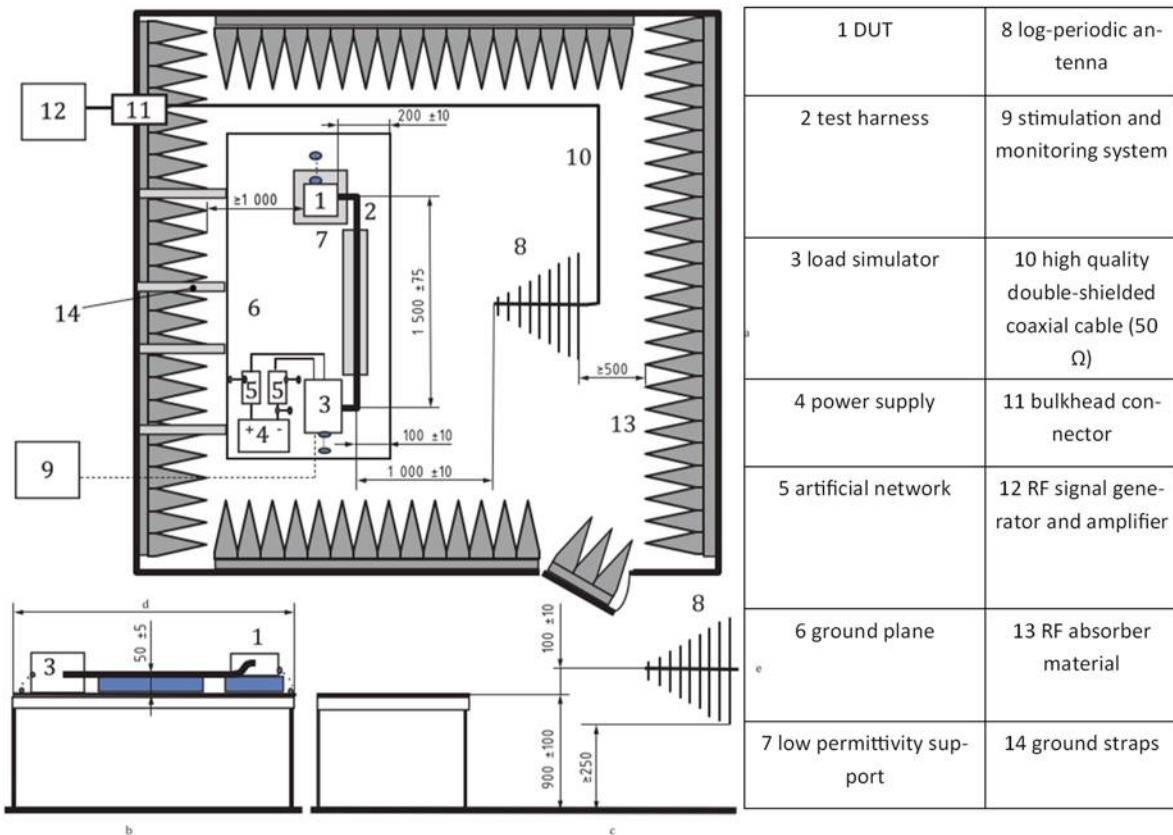


Figura 3.30: Esempio di setup di misura

Test setup per un sistema schermato

Ogni DUT deve essere alimentato tramite un HV-AN (High voltage artificial network) oppure tramite una AMN (per DUT con alimentazione AC), lo schema della tipologia di artificial network è illustrato nell'appendice A. L'HV-AN deve essere posizionata sopra al piano di massa e, se necessario, deve essere collegata ad esso. La porta della HV-AN deve essere terminata con un carico a 50Ω , per alimentare il dispositivo deve essere utilizzata la batteria di alta tensione del veicolo e connessa tramite un filtro. Attenzione deve essere fatta nell'utilizzo di filtri di potenza poichè possono aumentare le capacità di modo comune innescando effetti risonanti.

Il DUT deve essere posizionato al di sopra del piano di massa ad una distanza di 200 mm dal bordo di esso, collegato al piano di massa direttamente. Nel caso il test venga condotto su un OBC anche la batteria deve essere collegata al piano di massa. Se non viene utilizzato lo stesso cablaggio che c'è in macchina la lunghezza delle linee di bassa tensione da utilizzare sono di 1700 mm e per le linee di alta tensione sono 1700 mm, di cui 1500 mm devono essere posizionati di fronte al piano di massa e ad essi parallelo. La lunghezza dei cavi delle tre fasi del motore deve essere inferiore a 1000 mm. Il cablaggio insieme al DUT devono essere posizionati al di sopra di un materiale dielettrico al di sopra del piano di massa, la distanza tra i cavi di bassa tensione e quelli di alta tensione deve essere di 100 mm. Per gli inverter/caricatore le linee AC devono essere posizionate alla maggior distanza dall'antenna.

Il simulatore di carico deve essere posizionato direttamente sul piano di massa e nel caso abbiamo un case metallico questo deve essere collegato a massa. Nel caso non sia possibile farlo il simulatore di carico deve essere posizionato al di fuori della camera. Gli eventuali motori elettrici devono essere posizionati al di sopra al di sopra del piano di massa separati da uno strato di materiale dielettrico.

La posizione del centro di fase dell'antenna deve essere 100 mm sopra il piano di massa, nessuna parte irradiante dell'antenna deve essere più vicina di 250 mm dal pavimento. Gli elementi irradianti dell'antenna devono trovarsi ad almeno 500 mm dal materiale assorbente più vicino. La distanza tra il cablaggio e l'antenna deve essere di 1 m, misurato in funzione della tipologia d'antenna usata:

- Il centro di fase dell'antenna biconica;
- La parte emissiva più vicina nell'antenna log-periodica;
- La parte più vicina dell'antenna horn;

La parte centrale dell'antenna per le frequenze tra 80 MHz e 1 GHz deve essere in linea con la parte longitudinale (1500 mm) del cablaggio, per frequenze superiori al gigahertz questo deve essere allineato con il DUT. Nella figura 3.31 è illustrato un esempio di setup di misura per HV-DUT generici, invece in figura 3.32 è mostrato un esempio con la presenza di eventuali motori elettrici e in figura 3.33 è mostrato un esempio applicabile solamente a OBC o inverter.

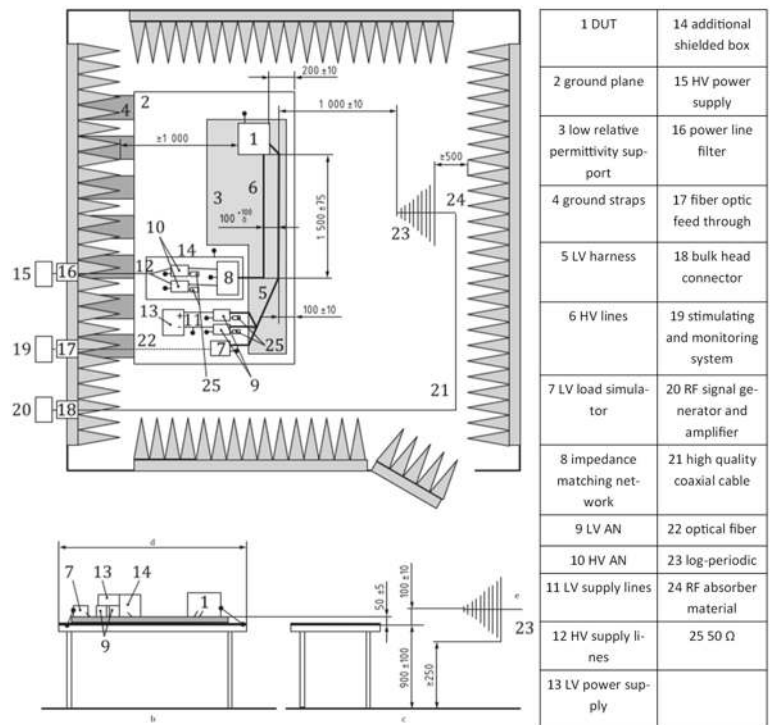


Figura 3.31: Esempio di setup di misura per HV-DUT generico

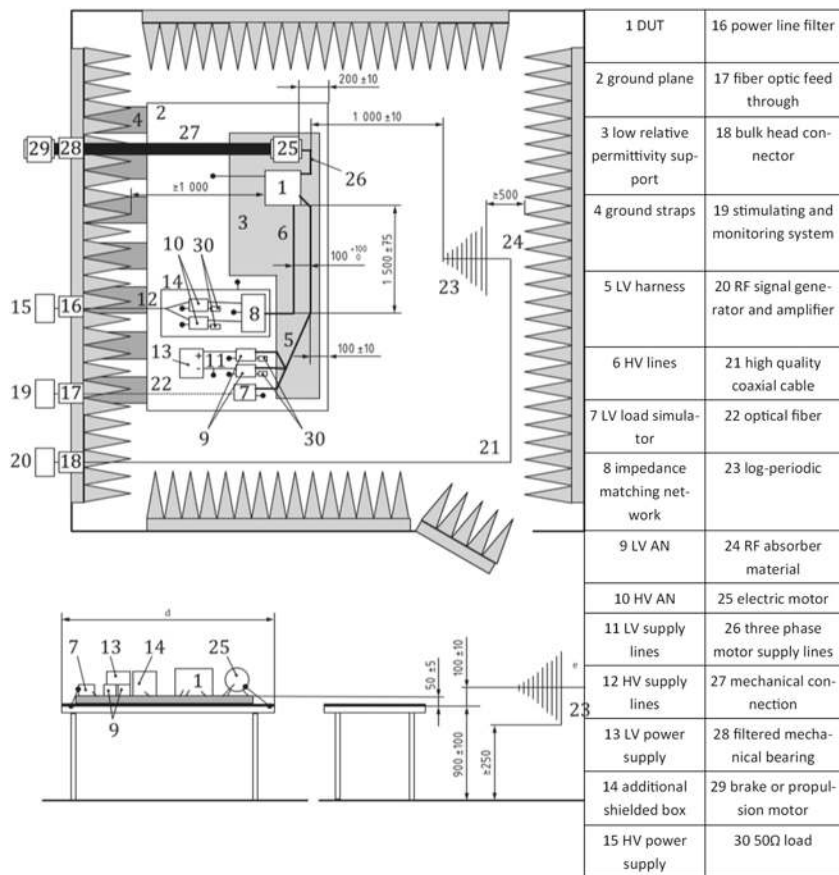


Figura 3.32: Esempio di setup di misura per HV-DUT generico con motori elettrici

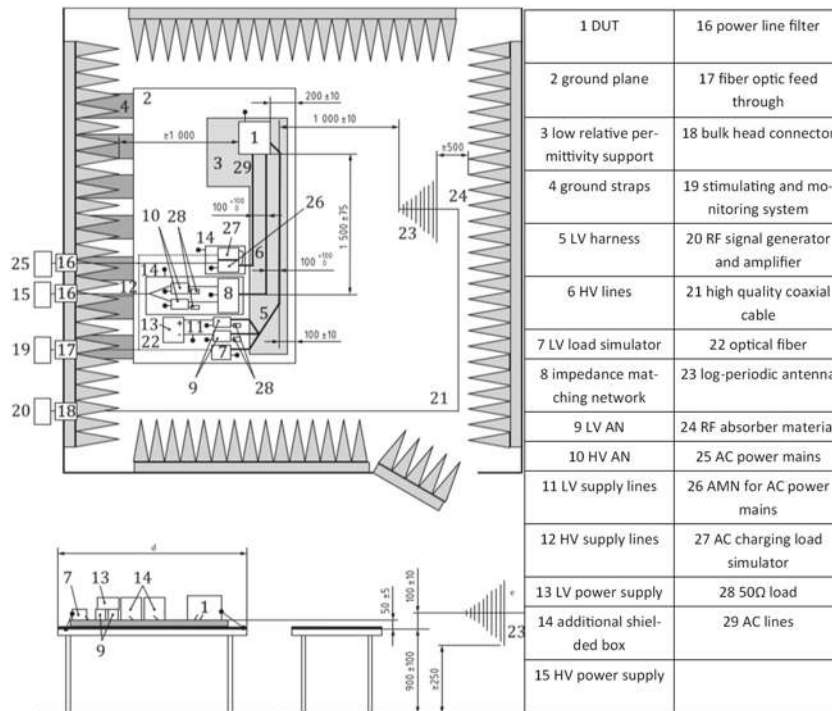


Figura 3.33: Esempio di setup di misura per il test con inverter e OBC

Metodo di test e limiti

Durante la procedura di test il DUT deve operare in condizioni di lavoro simili a quelle presenti quando installato nel veicolo, la posizione del DUT durante la prova deve essere scelta ed indicata nel test plan. La misurazione in polarizzazione verticale va eseguita per le frequenze da 80 MHz a 18 GHz, invece per quelle in polarizzazione orizzontale vanno eseguite da 400 MHz a 18 GHz.

La tecnica da utilizzare per eseguire questo tipo di misurazione è la prova di sostituzione, in cui senza l'apparecchiatura di test viene eseguita una misurazione del campo elettromagnetico generato e verificata la sua intensità prima di eseguire la prova. Per eseguire la calibrazione deve essere utilizzata una sonda di campo elettromagnetico posizionato a 150 ± 10 mm dal pavimento, ad una distanza di 100 ± 10 mm dal punto centrale del piano di massa e a 1000 ± 10 mm dall'antenna, la cui intensità di campo deve essere la risultante dei valori RMS del campo nei 3-axis ($\sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2}$). Per frequenze comprese tra 80 MHz e 1 GHz il punto di fase centrale della sonda deve essere in linea con la parte longitudinale (1500 mm) della posizione del cablaggio, invece per frequenze superiore al gigahertz il punto di fase centrale della sonda deve essere in linea con la posizione del DUT. La calibrazione deve essere condotta sia in polarizzazione verticale che orizzontale, la dimensione degli step da eseguire per la calibrazione è definita nella tabella 3.25.

Nella tabella 3.26 sono illustrati dei valori standard con il quale eseguire il test, ma si può definire l'intensità del campo elettromagnetico direttamente con il produttore.

Frequency band	Linear steps	Logarithmic steps
10 MHz to 200 MHz	5 MHz	5 %
200 MHz to 400 MHz	10 MHz	5 %
400 MHz to 1 GHz	20 MHz	2 %
1 GHz to 18 GHz	40 MHz	2 %

Tabella 3.25: Step size per la calibrazione

Frequency band (MHz)	Test Level I (V/m)	Test Level II (V/m)	Test Level III (V/m)	Test Level IV (V/m)	Test Level V (V/m)
80 MHz to 200 MHz	25	50	75	100	Valori concordati tra l'utente e il produttore
200 MHz to 1 GHz	25	50	75	100	
1 GHz to 8 GHz	25	50	75	100	
8 GHz to 18 GHz	25	50	75	100	

Tabella 3.26: Intensità di campo elettromagnetico per condurre le prove

Nella tabella 3.27 sono illustrati i livelli di severità per la prova FPSC

Test severity level	Function Category 1	Function Category 2	Function Category 3	Function Category 4
L4i	Level IV	-	-	-
L3i	Level III	Level IV	-	-
L2i	Level II	Level III	Level IV	-
L1i	Level I	Level II	Level III	Level IV

Tabella 3.27: Livello di severità per la prova FPSC

3.3.2 ISO11452-4

La parte numero 4 della normativa verifica l'immunità dei dispositivi elettronici utilizzando come tecnica la BCI (Bulk Current Injection) basata nell'iniezione di corrente nella parte di cablaggio. Insieme alla tecnica BCI, viene utilizzata la TWC (Tubular Wave Coupler) che si basa sull'emissione di un'onda elettromagnetica che si vada ad accoppiare utilizzando il principio dell'accoppiamento diretto. L'utilizzo di queste due tecniche è discriminato dal range di frequenze nel quale viene indagato il comportamento:

- La tecnica BCI va utilizzata in un range di frequenze da 1 MHz a 400 MHz;
- La tecnica TWC va utilizzata in un range di frequenze da 400 MHz a 3 GHz;

La tecnica BCI verifica l'immunità dei dispositivi iniettando dei disturbi direttamente nel cablaggio utilizzando una sonda di corrente. La sonda di corrente deve essere in grado di operare in tutto il range di frequenze nel quale è necessario testare il DUT, la sonda di corrente non deve saturare durante il test quindi la sua calibrazione è importante e deve essere tenuta in considerazione. Durante la prova il DUT deve operare nelle condizioni definite nel test plan che vengono scelte in accordo con il produttore, la misurazione deve essere acquisita tramite cavi in fibra ottica o cavi appositi per la riduzione dei disturbi. In figura 3.34 è mostrato un esempio di BCI.



Figura 3.34: Esempio di BCI da utilizzare nel test

La tecnica TWC simula l'accoppiamento di un'onda piana con il cablaggio della vettura, per condurre la prova si utilizza un cavo coassiale a 50Ω con la parte finale aperta in un tubo metallico, come in una guida d'onda che genera forme d'onda di tipo TEM. In figura 3.35 vi è un esempio di guida d'onda.

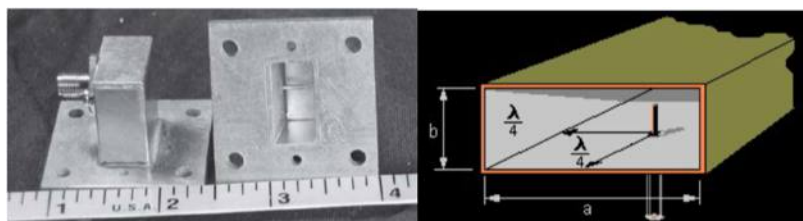


Figura 3.35: Esempio di guida d'onda

Test setup

In questa prova il piano di massa deve avere uno spessore di almeno 0,5 mm, una larghezza di almeno 1000 mm e la lunghezza minima deve essere di 1500 mm per la prova BCI e di 2000 mm per la prova TWC, in ogni caso deve essere comunque più grande di 200 mm rispetto all'intera area di test. La distanza tra le ground strap deve essere di massimo 300m e il piano di massa deve essere collegato elettricamente con il ground della sala di prova con un una resistenza di massimo 2,5mΩ. L'alimentazione del DUT deve essere fornita tramite una AN, la tecnica di collegamento segue quanto indicato nella ISO 11452-2 a pagina 46. Il DUT deve essere posizionato al di sopra di un piano non conduttivo che lo vada a posizionare ad un'altezza di 50mm dalla superficie del piano di massa. La parte frontale del DUT deve essere posizionato ad una distanza di almeno 100 mm dal bordo del piano di massa, la distanza minima degli altri lati da qualsiasi parte metallica deve essere di almeno 500 mm. La lunghezza del cablaggio tra il simulatore di carico e il DUT deve rispettare i due punti seguenti:

- 1700 mm per tutti i metodi di test tranne per la tecnica BCI ad anello chiuso con la limitazione di potenza;
- 1000 mm nel caso si usi la tecnica BCI ad anello chiuso con limitazione di potenza;

Il cablaggio deve essere dritto per almeno 1400 mm per il primo punto e per la sua interezza per il secondo punto, il tutto posizionato nello stesso supporto del DUT. Il simulatore di carico deve essere posizionato sul piano di massa e, nel caso lo avesse, il suo case deve essere collegato al piano di massa.

Se esegue la prova utilizzando la BCI, questa deve essere posizionata ad una distanza di 150 ± 50 mm dal connettore del DUT, ulteriori test a distanze $d = 450 \pm 50$ mm e $d = 750 \pm 50$ mm sono richiesti. Se una sonda di corrente viene utilizzata questa deve essere posizionata ad una distanza di 50 ± 10 mm dal connettore del DUT. Nel caso venga utilizzato il metodo ad anello chiuso con limitazione di potenza, la sonda BCI deve essere posizionata ad una distanza di 900 ± 10 mm dal connettore del DUT. La sonda di corrente deve essere posizionata ad una distanza di 50 ± 10 mm dal connettore del DUT. Se si esegue la prova TWC, la guida d'onda deve essere posizionata a 100 ± 10 mm dal DUT e isolata dal piano di massa. Nelle figure 3.36, 3.37, 3.38 sono illustrati degli esempi di test setup.

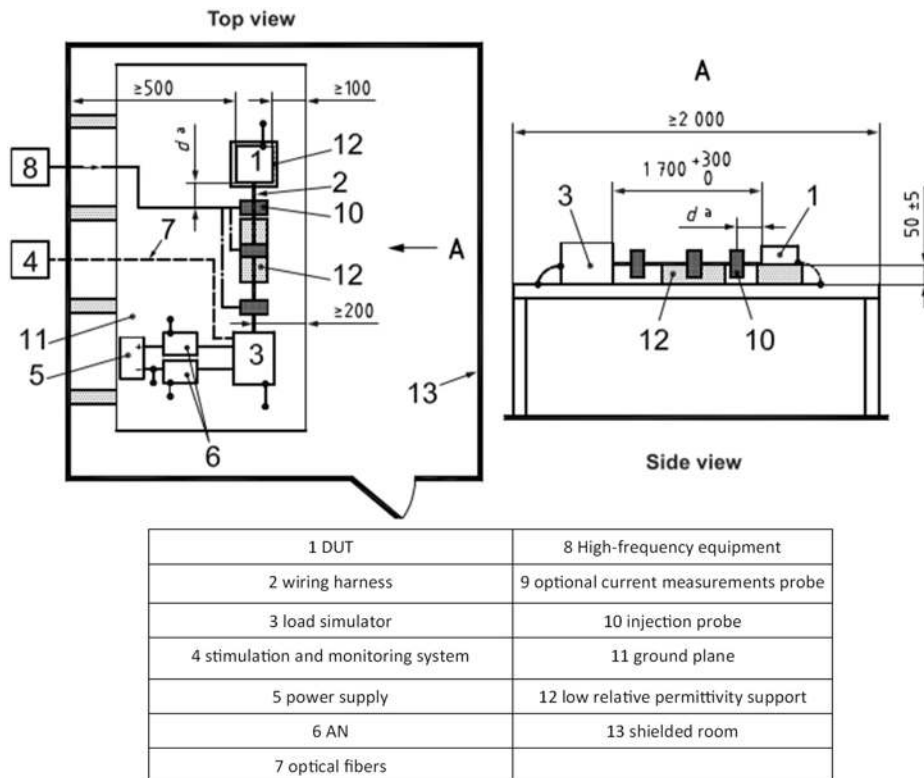


Figura 3.36: Esempio di setup con il metodo di sostituzione

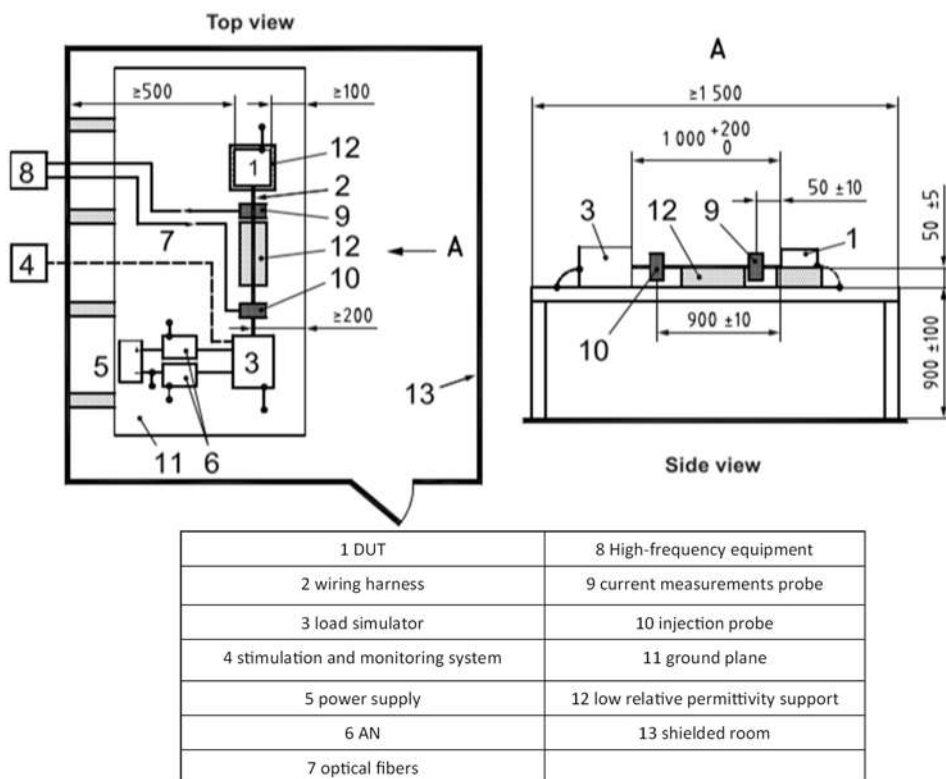


Figura 3.37: Esempio di setup con il metodo ad anello chiuso e limitazione di potenza

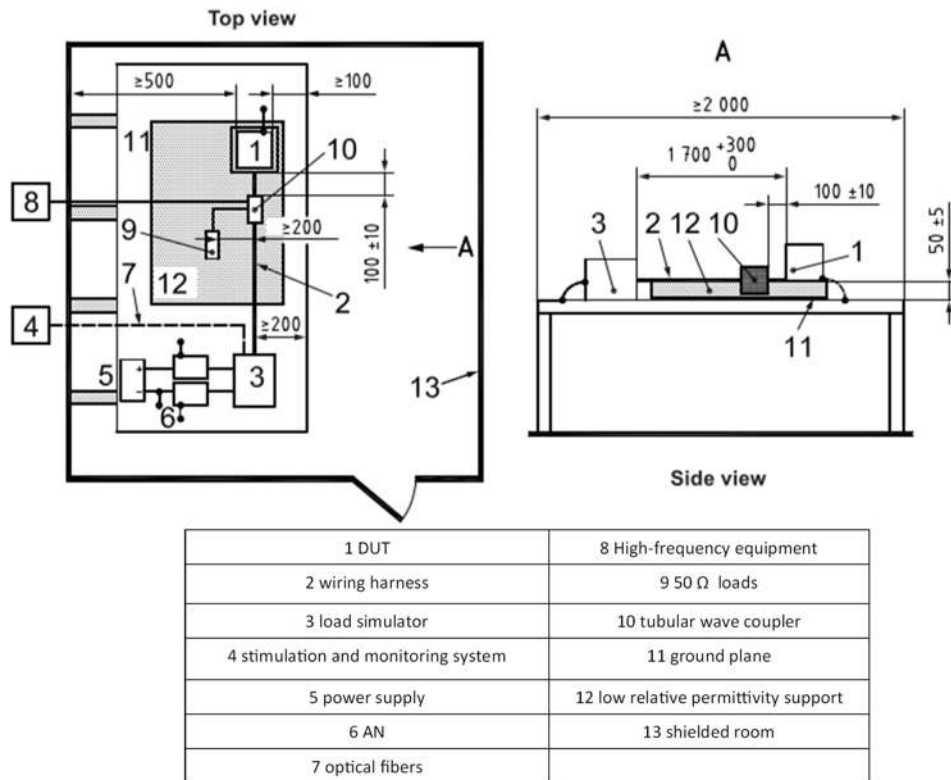


Figura 3.38: Esempio di setup per la prova TWC

Metodo di test e limiti

Il metodo di sostituzione applicato alla BCI prevede una prima calibrazione dello strumento e poi un secondo test di essa. Il test viene condotto in maniera molto semplice applicando i segnali di prova che sono stati decisi nel test plan, nel caso una connessione utilizzasse più cavi uniti insieme in una dorsale questi devono essere provati singolarmente. Una sonda di misurazione di corrente deve essere posizionata tra la BCI e il DUT. Nel test ad anello chiuso con limitazione di corrente è fondamentale la corretta calibrazione dello strumento, la limitazione di potenza $P_{CWlimit}$ viene utilizzando lo strumento di calibrazione e $I_{disturbance}$ la corrente di disturbo applicata al DUT viene determinata utilizzando una curva limite riferita alla frequenza. La formula per ottenere il power limiti è $P_{CWlimit} = kP_{calibration}$ dove k è uguale a 4 e $P_{calibration}$ è la potenza utilizzata in fase di calibrazione che deve essere riportata nel test report. La procedura durante la fase di test è la seguente e deve essere ripetuta per ogni frequenza di misura:

- Viene applicata un potenza $P_{reference}$ che fornisce una certa corrente $I_{reference}$ al BCI per la prova;
- I valori di $P_{reference}$ e $I_{reference}$ vengono aumentati gradualmente finchè non si raggiunge il valore stabilito di corrente o il limite di potenza $P_{CWlimit}$;
- Nel caso in cui il DUT raggiunga il proprio limite prima di raggiungere questi valori deve essere indicato nel test report il valore di I_{fault} e P_{fault} ;

Se la connessione utilizza più cavi uniti assieme, questi devono essere testati uno alla volta ad una distanza compresa tra 900 e 50 mm dal DUT.

Il test con TWC come per i precedenti prevede una prima parte di calibrazione dello strumento, in cui viene calcolata l'insertion loss dello strumento, tramite un analizzatore di rete viene misurato il parametro S_{21} e il valore dell'insertion loss viene calcolato con la seguente formula:

$$I_L = -|S_{21}| - F$$

dove $|I_L|$ sono le insertion loss della TWC in dB, $|S_{21}|$ è l'ampiezza del parametro S_{21} in dB e F è il fattore di correzione dello strumento in dB. Per la prova del DUT il valore da calcolare è $P_{forward}$ in dBm e le altre formule $P_{forward} = P_{test} + I_L$, dove P_{test} è la potenza richiesta per il test definita nel test plan e I_L sono le insertion loss.

I limiti per la prova BCI sono illustrati nella tabella 3.28 e nelle grafico di figura 3.39. I limiti

Frequency band MHz	Test Level I mA	Test Level II mA	Test Level III mA	Test Level IV mA	Test Level V
1 to 3	$60 \times F_{MHz} / 3$	$100 \times F_{MHz} / 3$	$150 \times F_{MHz} / 3$	$200 \times F_{MHz} / 3$	values agreed between the users
3 to 200	60	100	150	200	
200 to 400	$60 \times 200 / F_{MHz}$	$100 \times 200 / F_{MHz}$	$150 \times 200 / F_{MHz}$	$200 \times 200 / F_{MHz}$	

Tabella 3.28: Esempio di limiti per il test

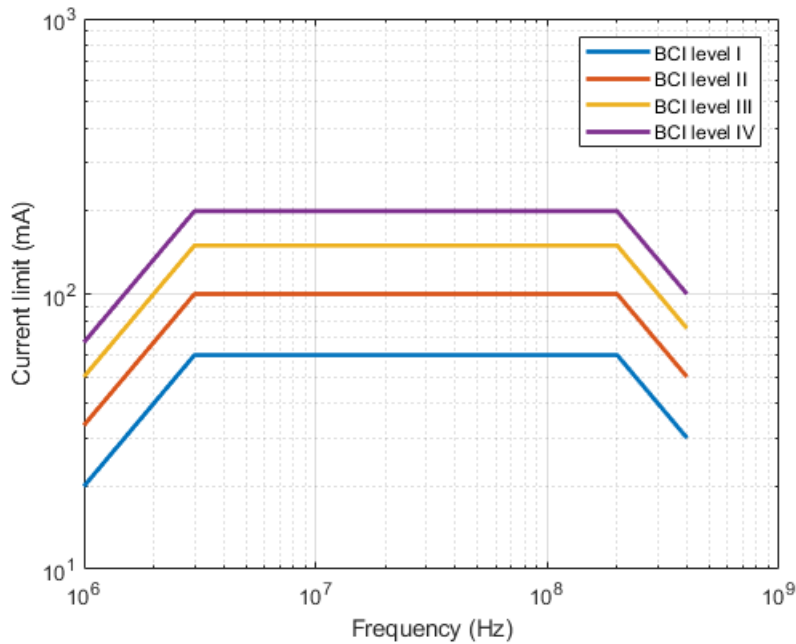


Figura 3.39: Grafico dei valori dei limiti precedenti

per la prova BCI sono illustrati nella tabella 3.29 e nelle grafico di figura 3.40.

Frequency band GHz	Test Level I dBm	Test Level II dBm	Test Level III dBm	Test Level IV dBm	Test level V
0,400 to 1	$15 - [10,05x \lg(f_{MHz}/400)]$	$21 - [10,05x \lg(f_{MHz}/400)]$	$27 - [10,05x \lg(f_{MHz}/400)]$	$33 - [10,05x \lg(f_{MHz}/400)]$	values agreed between the users
1 to 2	$11 - [9,97x \lg(f_{MHz}/1000)]$	$17 - [9,97x \lg(f_{MHz}/1000)]$	$23 - [9,97x \lg(f_{MHz}/1000)]$	$29 - [9,97x \lg(f_{MHz}/1000)]$	
2 to 3	8	14	20	26	

Tabella 3.29: Esempio di limiti per il test

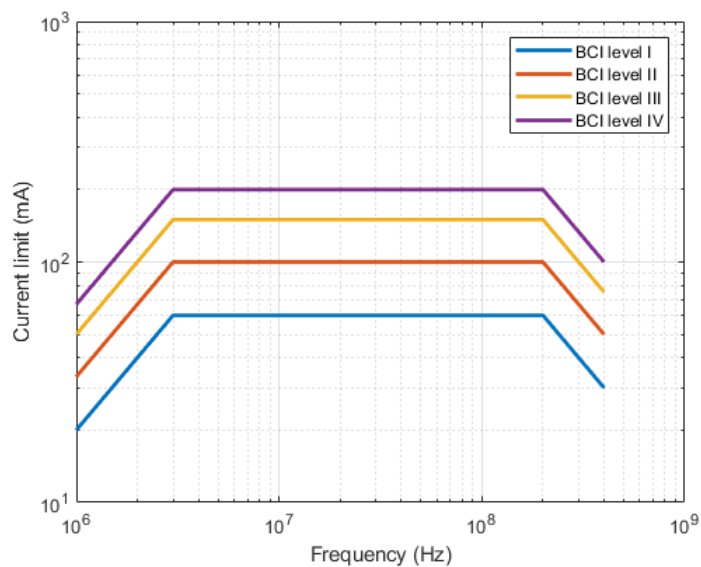


Figura 3.40: Grafico dei valori dei limiti precedenti

Nella tabella 3.30 sono illustrati i livelli di severità per la prova FPSC

Test severity level	Category 1	Category 2	Category 3
L4i	Level III	Level III	Level IV
L3i	Level II	Level III	Level III
L2i	Level I	Level II	Level IV
L1i	Level I	Level I	Level II

Tabella 3.30: Livello di severità per la prova FPSC

3.3.3 ISO11452-8

Questa parte della ISO 11452 definisce i test che devono essere eseguiti per testare l'immunità elettromagnetica dei dispositivi elettronici nei veicoli commerciali. Le tecniche che possono essere usate sono diverse e vanno dall'utilizzo di dispositivi irradianti come nel metodo a loop, che vedremo in seguito, o con le Helmholtz coil che però è limitata nell'utilizzo dovuto alle dimensioni del DUT. Questo tipo di prova si applica nell'analisi a basse frequenze che vanno dai 15 Hz fino a 150 kHz, la dimensione degli intervalli che è possibile utilizzare è descritto nella tabella sottostante:

Frequency band kHz	Linear steps kHz	Logarithmic steps %
0 (d.c.)	-	-
0,015 to 0,1	0,01	10
0,1 to 1	0,1	10
1 to 10	1	10
10 to 150	10	10

Tabella 3.31: Step size for the test

Test setup

Per il test con l'anello irradiante si deve utilizzare una coil con le seguenti dimensioni:

- diametro: 120 mm;
- numero di giri: 20;
- cavo di una sezione di 2 mm (12 AWG);

Questo tipo di coil non può essere usate nelle prove in d.c. in quando viene richiesto dalla normativa un tipo di coil specifica per questa applicazione. La densità magnetica ad una distanza di 50 mm deve essere calcolata con la seguente formula:

$$B_{50mm} = \mu_0 \times H = 95 \times I$$

B flusso magnetico in micro tesla
H campo magnetico in ampere per metro
95 costante in volt
I la corrente nella coil

Per avere una corretta correlazione tra corrente e flusso di campo magnetico, una caratterizzazione della coil deve essere effettuata. L'utilizzo della Helmholtz coil permette di generare una

regione di campo magnetico uniforme, che è lo scopo principale del suo utilizzo. Il raggio della coil è determinato dalla sezione del DUT, in figura 3.41 è illustrato il calcolo per dimensionare il raggio della coil di Helmholtz, per ottenere il flusso magnetico B e il campo magnetico si possono utilizzare le seguenti formule:

$$B = \mu_0 \times H = 0,899 \times N \times I / R$$

B flusso magnetico in micro tesla
 N numero di rotazione nella coil
 R raggio della coil in metri
 I corrente nella coil in ampere
 0,899 costante in henry per metro

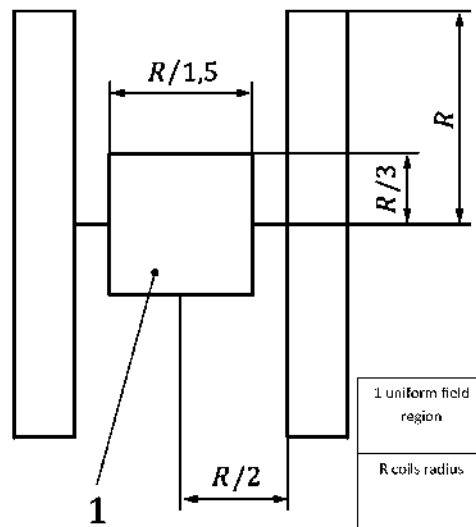


Figura 3.41: dimensionamento del raggio di helmholtz

Il misuratore di corrente deve fornire una misura RMS nel range di frequenze da d.c. fino a 150 kHz, usando una sonda di corrente o una resistenza di shunt. Può essere utilizzato un oscilloscopio, un voltmetro o un misuratore di corrente.

Nel metodo con coil irradiante è importante riuscire a monitorare l'intensità di campo elettromagnetico, per la misurazione del campo magnetico in d.c. è consigliato utilizzare un sensore ad effetto hall che sia in grado di misurare un'intensità di campo elettromagnetico di almeno 3000 A/m. Ad una frequenza $f \geq 15Hz$ è consigliato utilizzare un sensore a loop con le seguenti caratteristiche:

- diametro: 40 mm;
- numero di giri: 51;
- cavo di una sezione di 0,071 mm (41 AWG);

- shielding: electrostatic;
- correction factor: Il produttore fornisce la formula per il calcolo tensione intensità di campo;

La coil deve essere in grado di misurare almeno un intensità di campo di 1000 A/m nel range di frequenze interessato.

Per il test con coil irradiata il DUT deve essere suddiviso in aree uguali di dimensione 100x100 mm o inferiore e la coil irradiante dovrà essere posizionata ad una distanza di 50 mm dal centro di ognuna di queste aree parallela alla faccia del DUT. La coil dovrà essere posizionata ad ogni interfaccia o connettore collegato al DUT. In figura 3.42 è mostrato un esempio di setup di prova.

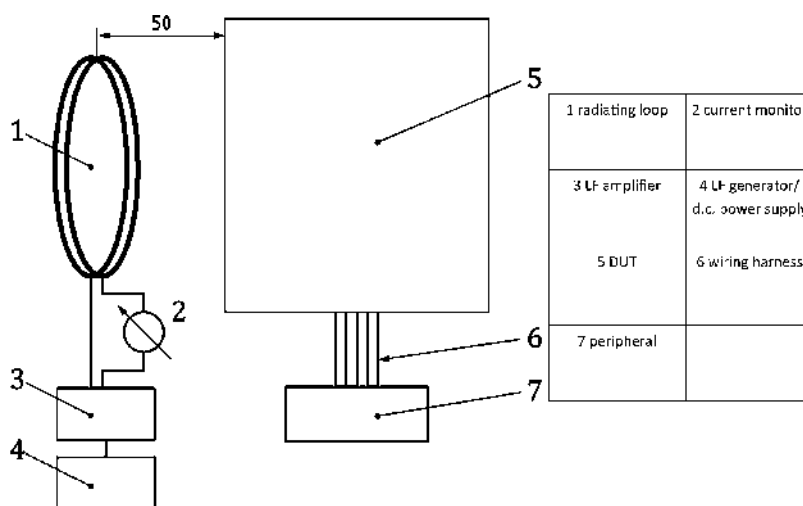


Figura 3.42: esempio di setup per la prova con coil

Nella prova con la coil di Helmholtz il DUT deve essere posizionato in uno dei suoi assi principali (x,y o z) in un supporto non conduttivo a bassa permeabilità magnetica $\mu_r \approx 1$ all'interno della regione di campo magnetico generata dalla coil di Helmholtz. Il cablaggio che si collega al DUT deve essere posizionato verticalmente e distante dalle coil e materiale di supporto, tutti i cavi di collegamento dovranno essere terminati o aperti e l'alimentazione deve essere fornita tramite un AN. In figura 3.43 è mostrato un esempio di setup di prova.

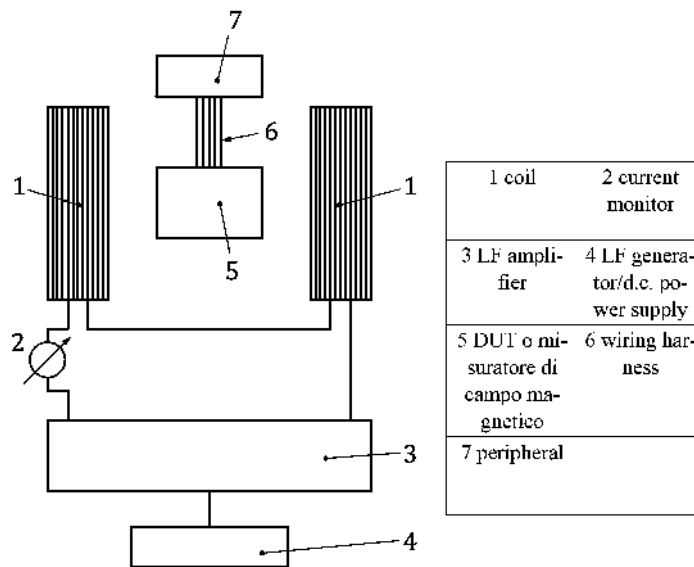
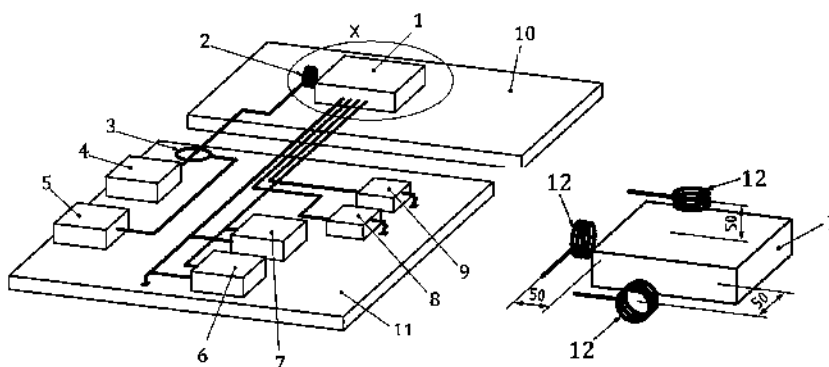


Figura 3.43: esempio di setup per la prova con coil di Helmholtz

Metodo di test e limiti

La prova con l'utilizzo di una coil prevede prima una fase di verifica dell'intensità del campo, questa verifica deve essere eseguita in d.c. e, almeno, un'altra frequenza (es.1 kHz), si può utilizzare lo stesso setup di figura 3.42 con al posto del DUT il sensore hall o il sensore a coil. Per la verifica si deve utilizzare un'onda sinusoidale non modulata. Il test effettivo deve essere eseguito emettendo campo magnetico in tutti e 3 gli assi, quindi 3 coil devono essere impiegate, le coil irradianti vanno posizionate ad una distanza di 50 mm dal DUT e l'esposizione al campo deve durare per un minimo di 1 s. In caso di malfunzionamenti deve essere registrata l'intensità del campo e la frequenza usata, in figura 3.44 è mostrato un esempio di setup.



1 DUT	2 radiating loop
3 current probe	4 generator and amplifier
5 oscilloscope	6 power supply
7 battery	8 sensor
9 actuators	10 insulating support
11 ground plane	12 three orthogonal positions

Figura 3.44: esempio di setup per la prova con coil

Come per la prova precedente anche con la coil di Helmholtz va eseguita una prima fase di calibrazione e in seguito una seconda fase di test, a differenza della coil classica in questa prova la verifica viene eseguita per ogni frequenza con un onda sinusoidale non modulata. Per la verifica si sostituisce al DUT il sensore ad effetto hall o la coil, per questo si può prendere come esempio la figura 3.43 come setup per la verifica. Durante la prova il DUT e il suo cablaggio vanno esposti per una durata minima di 1s, ad ogni frequenza la prova va ripetuta per ognuna delle 3 direzioni (x,y,z) del DUT. In caso di malfunzionamenti, la corrispondente frequenza e intensità del campo vanno registrati.

Nelle tabelle sottostanti sono riportati i livelli di minimi per i livelli di campo interni ed esterni.

Frequency band Hz	Test Level I A/m	Test Level II A/m	Test Level III A/m	Test Level IV A/m	Test Level V
0 (d.c.)	90	300	900	3000	values agreed between the users the users
15 to 1000	30	100	300	1000	
1000 to 10000	$30/(f/1000)^2$	$100/(f/1000)^2$	$300/(f/1000)^2$	$1000/(f/1000)^2$	
10000 to 150000	0,3	1	3	10	

Tabella 3.32: Esempio di limiti per il test per campi interni

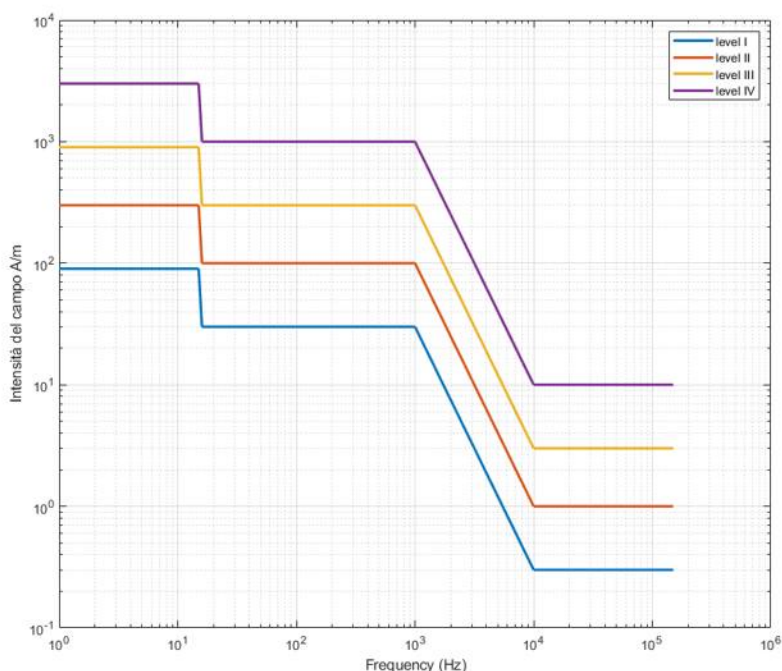


Figura 3.45: Grafico dei valori dei limiti precedenti

Frequency band Hz	Test Level I A/m	Test Level II A/m	Test Level III A/m	Test Level IV A/m	Test Level V
0 (d.c.)	90	300	900	3000	values agreed between the users
15 to 60	30	100	300	1000	
60 to 180	$30/(f/60)$	$100/(f/60)$	$300/(f/60)$	$1000/(f/60)$	
180 to 600					
600 to 1800	10	10	10	10	
1800 to 6000					
6000 to 150000					

Tabella 3.33: Esempio di limiti per il test per campi esterni

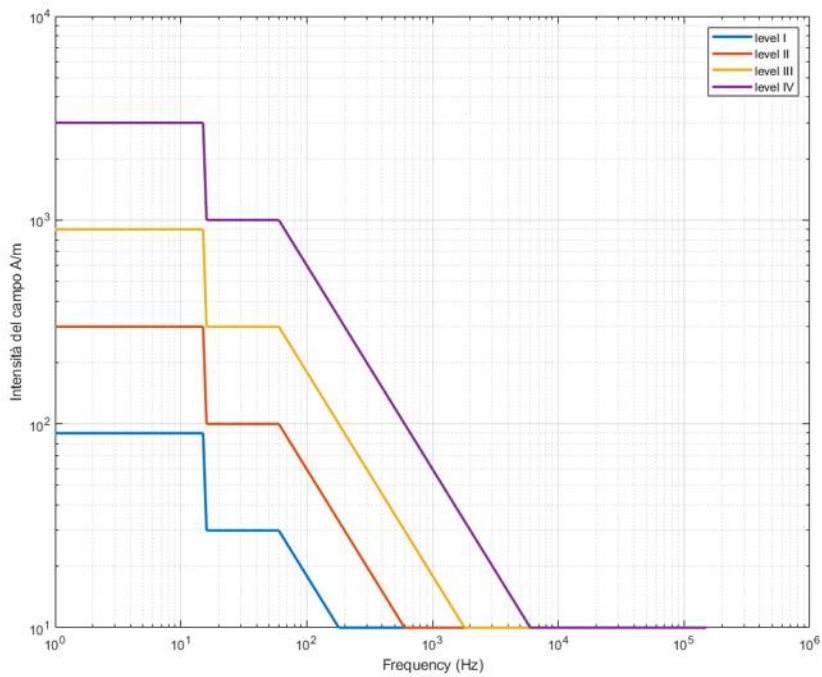


Figura 3.46: Grafico dei valori dei limiti precedenti

Nella tabella 3.34 sono illustrati i livelli di severità per la prova FPSC

Test severity level	Category 1	Category 2	Category 3	Category 4
L4i	Level IV	-	-	-
L3i	Level III	Level IV	-	-
L2i	Level II	Level III	Level IV	-
L1i	Level I	Level II	Level III	Level IV

Tabella 3.34: Livello di severità per la prova FPSC

Capitolo 4

Conclusioni

L'obiettivo dell'attività di tesi era quello di fornire un quadro normativo sulle principali norme a livello automotive con particolare attenzione alle normative IEC 61851, EN 55025, ISO 7637 e ISO 11452 con una spiegazione e analisi dettagliata di quest'ultime. In particolare, le normative IEC 61851 hanno illustrato le diverse tipologie di ricarica e definito come avviene lo scambio di informazioni e di potenza tra la colonnina di ricarica e il veicolo elettrico. La normativa viene poi suddivisa in diverse sezioni con l'obiettivo di definire in dettaglio diversi tipi di test, prove e requisiti di ricarica. Le normative EN 55025, ISO 7637 e ISO 11452 si applicano all'elettronica di bordo, anche se non a elementi critici come possono essere i sistemi di controllo del veicolo. In particolare, la norma EN 55025 definisce le prove e i test per i disturbi irradiati sia per parti di alta potenza che per parti di bassa potenza, la ISO 7637 invece definisce le prove da eseguire per i test d'immunità nelle linee di alimentazione e infine la ISO 11452 invece definisce i test per verificare l'immunità dei dispositivi. Le normative descritte sono fondamentali a livello automotive e costituiscono la base per qualsiasi tipo di dispositivo elettronico che poi deve essere montato in un veicolo, queste normative hanno subito e subiranno ancora diversi cambiamenti dovuti principalmente ad un settore in forte evoluzione. È stato svolto un lavoro dettagliato per riuscire ad ottimizzare e spiegare in maniera chiara il tipo di prove e come queste devono essere eseguite, realizzando un manuale (di cui l'estratto nell'appendice B) che descrive passo passo le operazioni da eseguire nel processo di test, utile per gli operatori del settore che devono eseguire questa tipologia di prove sui dispositivi.

Capitolo 5

Appendice A

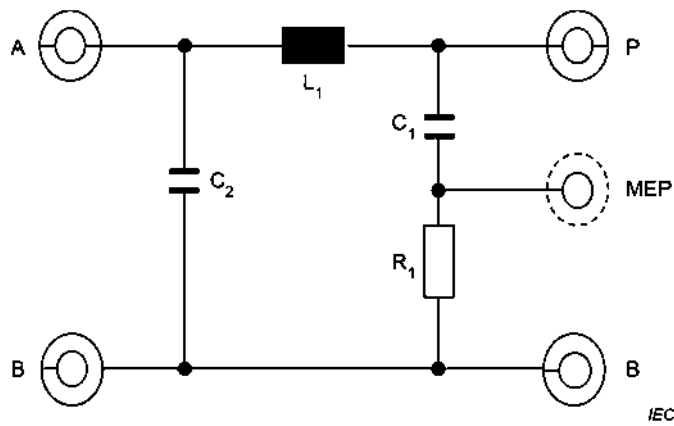
In questa appendice vengono riassunte e descritte tutte le tipologie di Artificial Network che possono essere utilizzate nelle prove delle normative EN55025 e ISO 7637, ISO 11452. Una Artificial Network serve ad avere una impedenza d'ingresso, lato DUT, con una certa caratteristica in frequenza. Lo scopo è quello di eliminare eventuali disturbi o riflessioni che si possono propagare attraverso l'alimentatore o la rete che non sarebbe riproducibili in un qualsiasi altro laboratorio.

5.1 EN55025

La normativa EN55025 utilizza diverse AN poichè i test che vengono eseguiti devono essere realizzati in tutte le possibili situazioni in cui si può trovare il veicolo, ad esempio alimentazione LV o HV, in fase di ricarica AC o DC ecc.

AN-LV

La prima AN che viene qui descritta viene utilizzata per i test dei dispositivi alimentati da un sistema di bassa tensione (LV). La normativa definisce l'andamento dell'impedenza Z_{pb} in un range che va da 0,1 MHz a 100 MHz, la curva descritta in figura 5.2 è stimata misurando tra i terminali P e B con un carico a 50 Ω e i terminali A e B cortocircuitati. Questo tipo di AN è compatibile con quella definita nella normativa ISO 11452 e quindi può essere utilizzata anche per i test di questa normativa.



$L_1 : 5 \mu\text{F}$	A : Port to power supply
$C_1 : 0,1 \mu\text{F}$	P: Port to EUT
$C_2 : 1 \mu\text{F}$	B: Ground
$R_1 : 1 \text{ k}\Omega$	MEP : Measuring port

Figura 5.1: Esempio di AN-LV

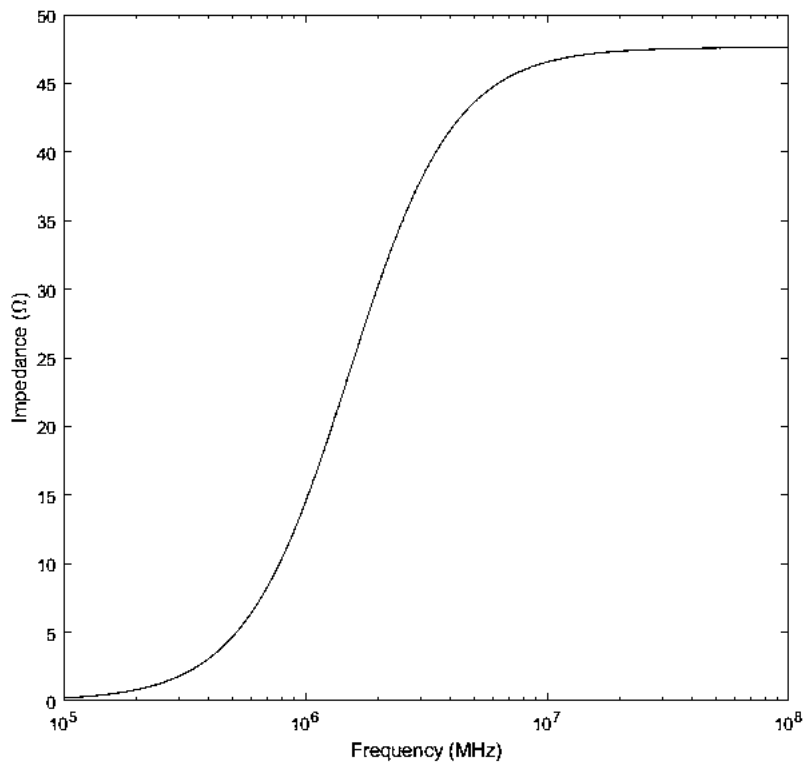


Figura 5.2: Caratteristica dell'impedenza in funzione della frequenza

AN-HV

L' AN che viene qui descritta viene utilizzata per i test dei dispositivi alimentati da un sistema di alta tensione (HV). L'AN-HV da utilizzare possono essere di due tipi diversi, il primo (figura 5.3) usa solo un terminale, il secondo (figura 5.4) usa due terminali. La risposta della sua impedenza in funzione del tempo fa sempre riferimento alla figura 5.2.

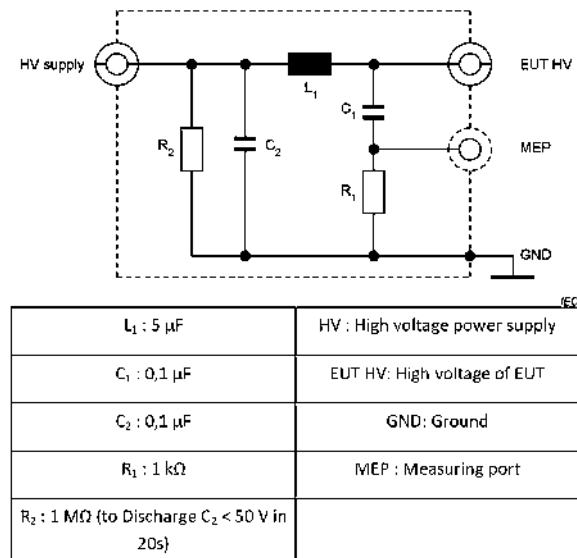


Figura 5.3: Schema di una AN a singolo terminale

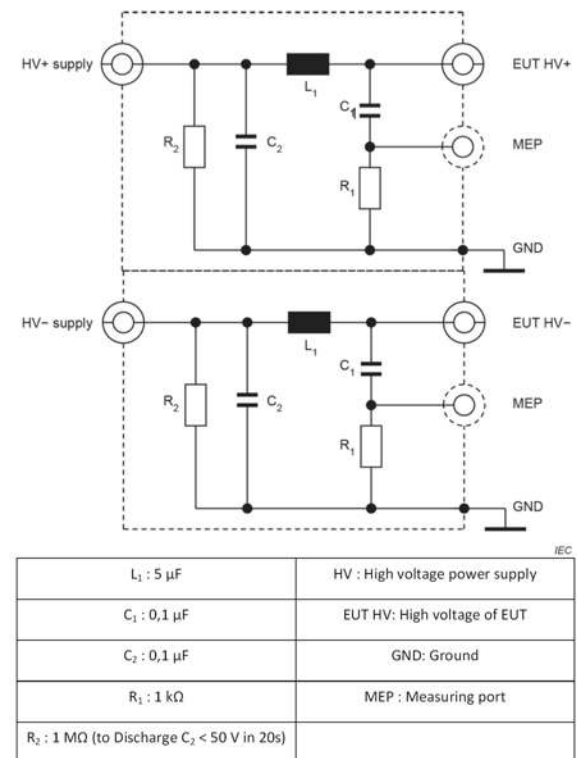


Figura 5.4: Schema di una AN a doppio terminale

DC-charging-AN

L'AN di cui viene mostrato lo schematico in figura 5.5 è di AN adibita alla simulazione della fase di ricarica del mezzo. La risposta della sua impedenza in funzione del tempo fa sempre riferimento alla figura 5.2.

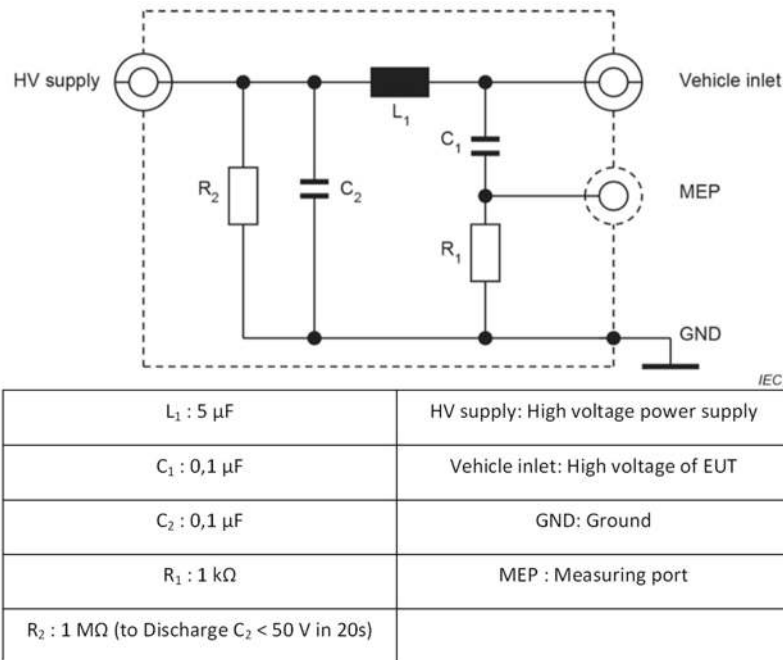


Figura 5.5: Schema di una AN per simulare la carica DC

Asymmetric Artificial Network (AAN)

Questa tipologia di Artificial Network ha lo scopo di simulare le PLC communication, che solitamente possono avvenire tra il veicolo e il dispositivo di ricarica. Questa tipologia di artificial network deve essere utilizzata per simulare la comunicazione tra il sistema di ricarica e il veicolo, l'impedenza di modo comune della ANN deve avere un valore di 150Ω e deve essere dotata di un'impedenza Z_{cat} variabile per mantenere la simmetria della linea. L'utilizzo delle AAN è necessario solamente se non è possibile utilizzare dei veri dispositivi di ricarica in grado di comunicare con il dispositivo, esistono diversi tipi di AAN in base al protocollo di comunicazione che deve essere utilizzato nella figura 5.3 è mostro un esempio di AAN che permette una comunicazione di tipo CAN.

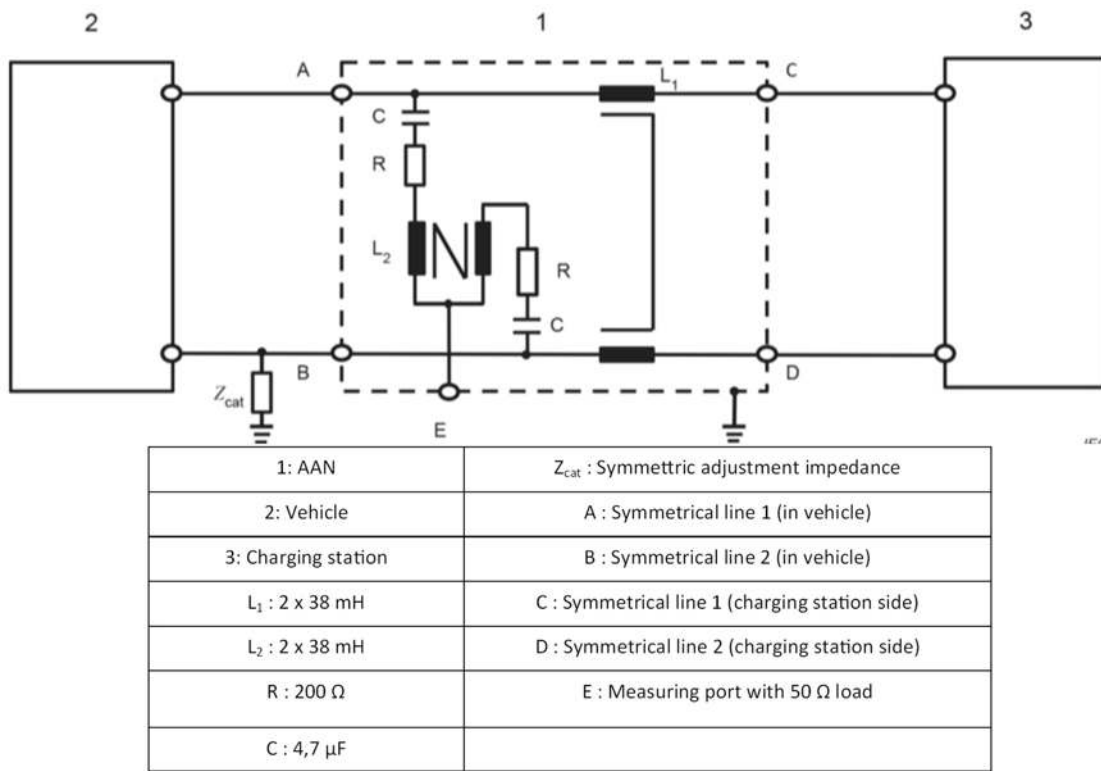
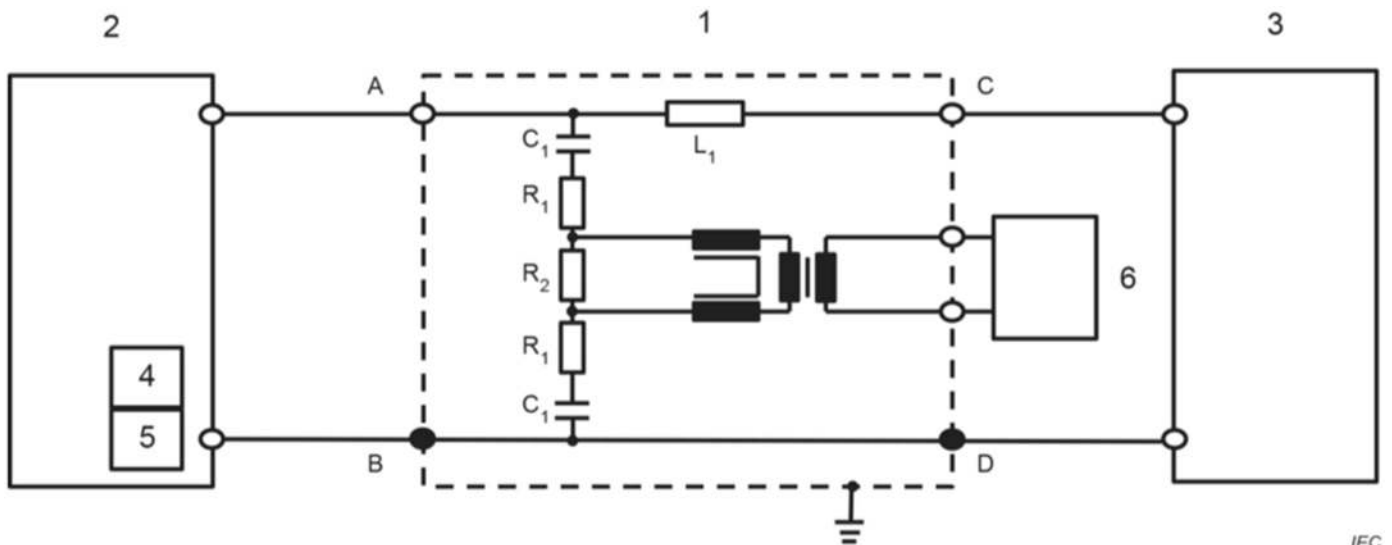


Figura 5.6: Esempio di AAN che implementa una comunicazione simmetrica di tipo CAN

Alcune tipologie di PLC communication impongono un segnale ad alta frequenza rispetto a terra sulle linee di potenza per scambiare i dati, questa tipologia di comunicazione permette una comunicazione non simmetrica. In figura 5.4 ne è mostrato un esempio.



IEC

1: AAN	$R_2 : 270 \Omega$
2: Vehicle	$C_1 : 2,2 \text{ nF}$
3: Charging station	$L_1 : 100 \mu\text{H}$
4: Control pilot (in vehicle)	A: Control pilot line (vehicle side)
5: CPL (in vehicle)	B/D: Protective earth
R6: AE	C: Control pilot line (charging station side)
$R_1 : 39 \Omega$	

Figura 5.7: Esempio di AAN con PLC sulle linee di potenza

5.2 ISO7637

Nella normativa ISO vengono utilizzate delle AN con caratteristiche diverse rispetto a quelle utilizzate nelle normative AN. Lo schema della AN per la ISO 7637 è mostrato nella figura 5.8 e quello della sua risposta in frequenza nella figura 5.9. La differenza principale rispetto a quella definita nella EN55025 è l'impedenza ad alta frequenza che satura a 50 Ω.

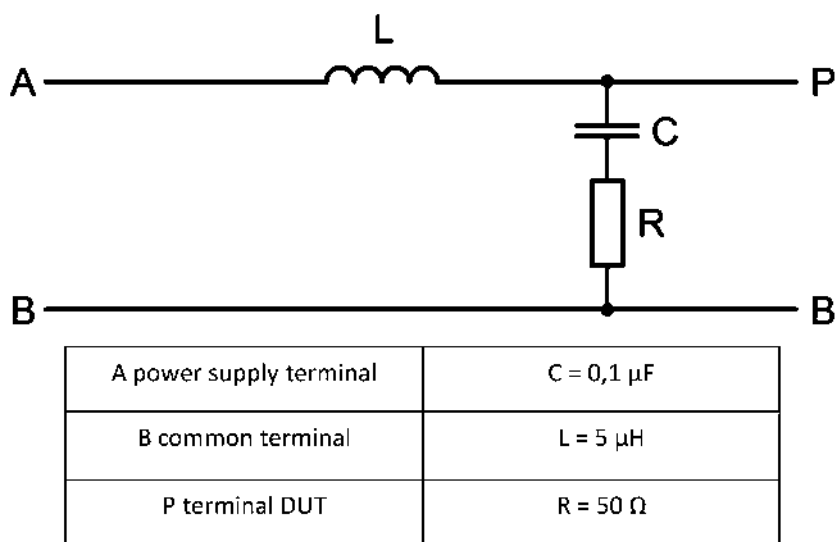


Figura 5.8: Schema della AN da utilizzare nella normativa

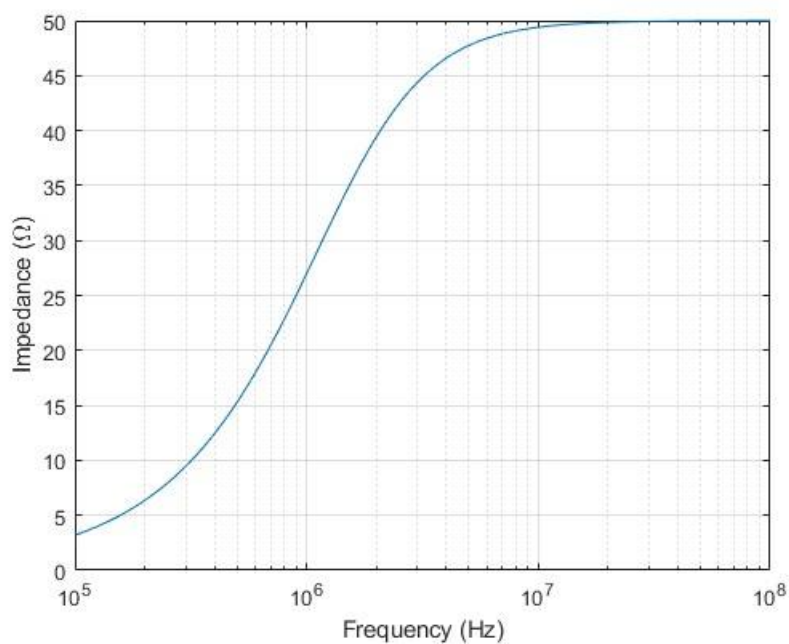


Figura 5.9: Caratteristica dell'impedenza in funzione della frequenza

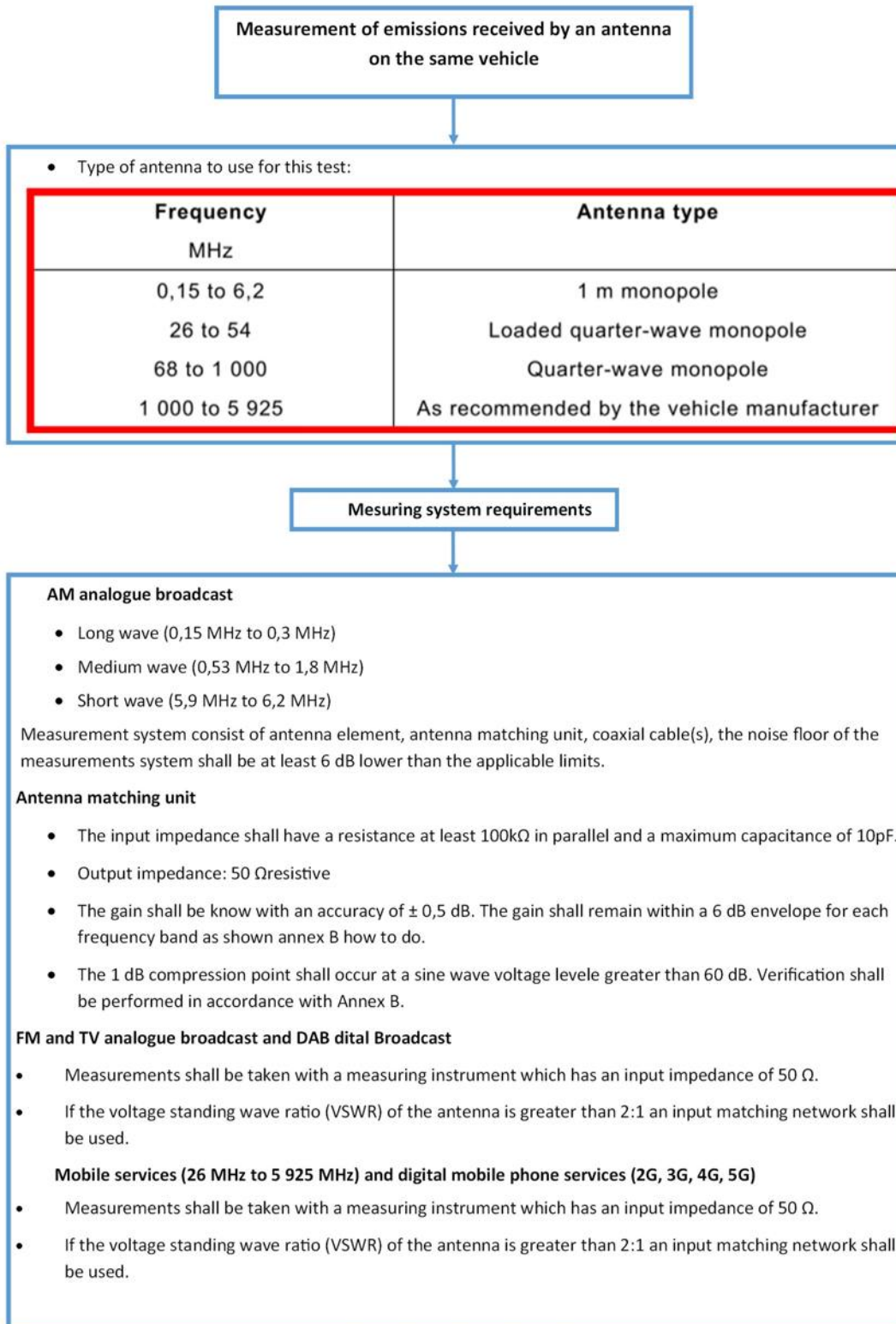
Capitolo 6

Appendice B

In questo capitolo è presente un estratto degli schemi logici per la certificazione dei dispositivi. Gli schemi qui inseriti sono un riassunto di quello che richiede la normativa e sono stati realizzati con l'intenzione di poter essere usati poi in fase di certificazione del prodotto come guida all'operatore per la creazione, configurazione e disposizione del setup di prova e misura. Gli schemi sono stati realizzati con una struttura schematica e facilmente impegnabile in fase di test.

- La prima parte di ogni schema descrive e identifica gli strumenti, i requisiti di precisione delle prove e degli strumenti che devono essere utilizzati, lo scopo è quello di verificare il corretto utilizzo e configurazione degli strumenti che vengono utilizzati nel test.
- La seconda parte invece descrive lo scopo della prova e il setup del test, in particolare è descritto come e dove deve essere posizionato il DUT, le condizioni ambientali e i settaggi e le impostazioni da utilizzare negli strumenti di misura per la prova. Di solito questa sezione è accompagnata da delle immagini, che sono già presenti all'interno della normativa, poichè il posizionamento del DUT è fondamentale per una prova valida e molti setup di prova hanno versioni diverse in base al tipo di cablaggio e il ruolo di questo è fondamentale in molte prove.
- La terza parte è quella conclusiva, qui è indicato il risultato che si dovrebbe ottenere dal test e cosa va registrato nel report finale o meno. In particolare è mostrata la tabella riassuntiva con i limiti imposti dalla normativa così che l'operatore che esegue il test può immediatamente verificare il superamento o meno dello stesso.

6.1 EN 55025



Test setup for vehicle in charging mode

Test setup

Vehicle in charging mode 1 or mode 2 (AC power charging without communication)

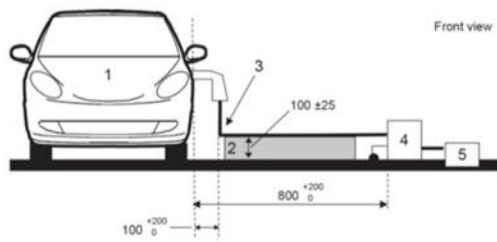
- Power main shall be placed anywhere only if:
 - It's place on the ground plane;
 - The length of the harness between the power mains socket and the AMN(s) shall be kept as short as possible but not necessarily aligned with the charging harness;
 - The harness shall be placed as close as possible to the ground plane;

Artificial network

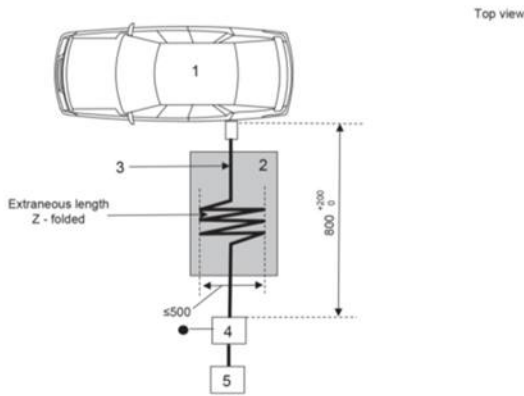
- The AMN(s) shall be mounted directly on the ground plane;
- The DC resistance between the ground of the AMN measurement port and the ground plane shall not exceed 2,5 m Ω ;
- AMN shall be terminated with a 50 Ω load;
- vehicles with the **inlet located front/rear** of the vehicle, the AMN should be placed on one side of the vehicle and perpendicularly to the vehicle power charging;
- vehicles with the **inlet located side of the vehicle**, the AMN should be placed on one side of the vehicle and aligned with the vehicle power charging inlet and should be aligned with the vehicle charging harness;

Power charging harness

- power charging harness shall be laid out in a straight line between the AMN(s) and the vehicle charging inlet and shall be routed perpendicularly to the vehicle's longitudinal axis.
- projected harness length from the side of the AMN(s) to the side of the vehicle shall be 800 mm;
- longer harness, the extraneous length shall be "Z-folded" in a less than 0,5 m width approximately around the middle of the AMN to vehicle distance;
- charging harness at the vehicle side shall hang vertically at a distance of 100 mm from the vehicle body;
- whole harness shall be placed on a non-conductive, low relative permittivity material at 100 ± 25 mm above the ground plane;



Example of test setup for vehicle with the inlet located on vehicle side



Key

- 1 Vehicle under test
- 2 Insulating support
- 3 Charging harness
- 4 AMN(s) grounded
- 5 Power mains socket (see 5.4.2.2)

Test setup

Vehicle in charging mode 3 (AC power charging with communication) or mode 4 (DC power charging with communication)

- The charging station can be placed either in the test location or outside the test location
- Power main shall be placed anywhere only if:
 - It's place on the ground plane;
 - The length of the harness between the power mains socket and the AMN(s) shall be kept as short as possible but not necessarily aligned with the charging harness;
 - The harness shall be placed as close as possible to the ground plane;
- If the charging station is placed inside the test location then the harness between the charging station and the power mains / local/private communication socket shall satisfy the following conditions:
 - The harness on the charging station side shall hang vertically down to the ground plane;
 - extraneous length shall be placed as close as possible to the ground plane and "Z-folded" if necessary;

Test setup

Artificial network

- AC mains shall be applied to the vehicle through 50 μ H/50 Ω AMN(s);
- DC power mains shall be applied to the vehicle through 5 μ H/50 Ω DC-charging-AN(s);
- AMN(s) / DC-charging-AN(s) shall be mounted directly on the ground plane and metallic case connected to ground plane;
- The DC resistance between the ground of the AMN / DC-charging-AN measurement port and the ground plane shall not exceed 2,5 m Ω ;
- measuring port of each AMN / DC-charging-AN shall be terminated with a 50 Ω load;
- For vehicles with **inlet located side of the vehicle**, the AMN/AN should be placed on one side of the vehicle and aligned with the vehicle power charging inlet and should be aligned with the vehicle charging cable;

Asymmetric artificial network

- Local/private communication lines connected to signal/control ports and lines connected to wired network ports shall be applied to the vehicle through AAN(s).
- The measuring port of each AAN shall be terminated with a 50 Ω load;
- For vehicles with the **inlet located front/rear of the vehicle**, the AAN should be placed on one side of the vehicle and perpendicularly to the vehicle power charging inlet and should be aligned with the vehicle charging harness;
- vehicles with the **inlet located side of the vehicle**, the AAN should be placed on one side of the vehicle and aligned with the vehicle power charging inlet and should be aligned with the vehicle charging harness;

Power charging location

- power charging with local/private communication harness shall be laid out in a straight line between the AMN(s) / DC-charging-AN(s) / AAN(s) and the vehicle charging inlet and shall be routed perpendicularly to the vehicle's longitudinal axis;
- harness length from the side of the AMN(s) to the side of the vehicle shall be 800 mm;
- For a longer harness, the extraneous length shall be "Z-folded" in a less than 0,5 m width;
- the power charging with local/private communication harness at the vehicle side shall hang vertically at a distance of 100 mm from the vehicle body;
- whole harness shall be placed on a non-conductive, low relative permittivity material at 100 ± 25 mm above the ground plane;

Limits for vehicle radiated disturbance

Service / Band ^a	Frequency MHz	Limit of disturbance voltage at antenna terminal of receiver in dB (µV)			RBW
		Peak	Quasi-Peak	Average	
Analogue broadcast services					
LW ^b	0,15 to 0,3	26	13	6	9 kHz
MW ^b	0,53 to 1,8	20	7	0	
SW ^b	5,9 to 6,2	20	7	0	
FM ^b	76 to 108	26	13	0	120 kHz
TV Band I ^c	41 to 88	16	-	6	
TV Band III ^c	174 to 230	16	-	6	
TV Band IV ^c	470 to 944	16	-	6	
Digital broadcast services					
DAB III	171 to 245	26	-	16	1 MHz
TV Band III ^c	174 to 230	26	-	16	
DTTV	470 to 770	32 ^d	-	22 ^d	
DAB L Band	1 447 to 1 494	32	-	22	
SDARS	2 320 to 2 345	32	-	22	
Mobile services					
CB ^b	26 to 28	20	7	0	9 kHz
VHF ^b	30 to 54	20	7	0	120 kHz
VHF ^b	68 to 87	20	7	0	
VHF ^b	142 to 175	20	7	0	
Analogue UHF ^b	380 to 512	20	7	0	
RKE & TPMS 1 ^e	300 to 330	20	-	6	
RKE & TPMS 2 ^e	420 to 450	20	-	6	
Analogue UHF ^b	820 to 960	20	7	0	
GPS L5 ^f	1 156,45 to 1 196,45	-	-	10	9 kHz
BDS, B1I ^g	1 553,098 to 1 569,098	-	-	-4,5	
GPS L1 ^h	1 567,42 to 1 583,42	-	-	0	
GLONASS L1 ⁱ	1 590,781 to 1 616,594	-	-	0	
Wi-Fi / Bluetooth	2 402 to 2 494	26	-	6	1 MHz
Wi-Fi	5 150 to 5 350	26	-	6	
Wi-Fi	5 470 to 5 725	26	-	6	
V2X (Wi-Fi)	5 850 to 5 925	50	-	30	

6.2 ISO 7637

Test method						
Transient pulses test ^a	Selected test level ^b	Test levels U_s^c				Test time min
		I min.	II	III	IV max.	
Fast 3a (DCC and CCC)		-37	-75	-110	-150	10
Fast 3b (DCC and CCC)		+37	+75	+110	+150	10
DCC slow +		+15	+25	+35	+45	5
DCC slow -		-15	-25	-35	-45	5
ICC slow +		+4	+6	+8	+10	5
ICC slow -		-4	-6	-8	-10	5

^a Transient pulses tests as in 5.3.

^b Values agreed to between vehicle manufacturer and supplier.

^c The amplitudes in the table are the values of U_s , as defined for each transient pulses in 5.3. U_s is referenced

- at the output of the CCC for the CCC method,
- at the output of the capacitor for the DCC method, and
- at the calibration jig output for ICC method.

The upper table is applied to 24V electrical system.

To choose which type of transient pulse shall be use for the method applied should use this table:

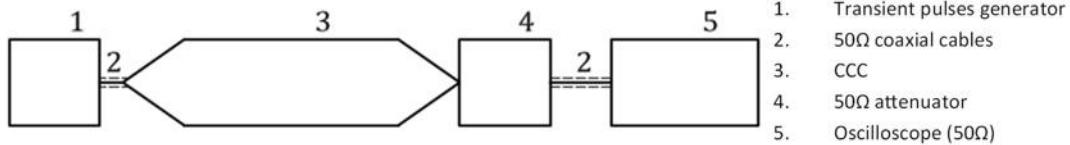
Transient pulses type	CCC method	DCC method	ICC method
Slow transient pulses 2a (5.3.2)	Not applicable	Applicable	Applicable
Fast transient pulses 3a and 3b (5.3.3)	Applicable	Applicable	Not applicable

Test procedure					
◇	Temperature during the test shall be $23 \pm 5^\circ\text{C}$;				
◇	For the supply voltage:				
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nominal 12V system</th> <th>Nominal 24 V system</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>13,5 \pm0,5 V</td> <td>27 \pm1 V</td> </tr> </tbody> </table>	Nominal 12V system	Nominal 24 V system	13,5 \pm 0,5 V	27 \pm 1 V
Nominal 12V system	Nominal 24 V system				
13,5 \pm 0,5 V	27 \pm 1 V				
Ground Plane					
◇	The ground plane thickness shall be made of 0.5 mm thick (minimum) copper, brass or galvanized steel.				
◇	The minimum width shall be 1 m or underneath the entire setup length plus 200mm (whichever is larger).				
◇	The minimum length shall be 2m or underneath the entire setup length plus 200mm (whichever is larger).				
◇	The DUT shall be place on a non-conductive, low relative permittivity material at 50mm above ground plane.				
◇	The DUT ground shall reflect the vehicle installation, all harness shall be place on a low permittivity material above the ground plane.				
◇	To minimize extraneous capacitive coupling to the DUT, it is advisable that the minimum distance between the DUT and all other conductive structures, such as walls of a shielded enclosure (with the exception of the ground plane underneath the test setup), should be more than 0,5 m.				
•	Suggested 1mx2mx0,9m				

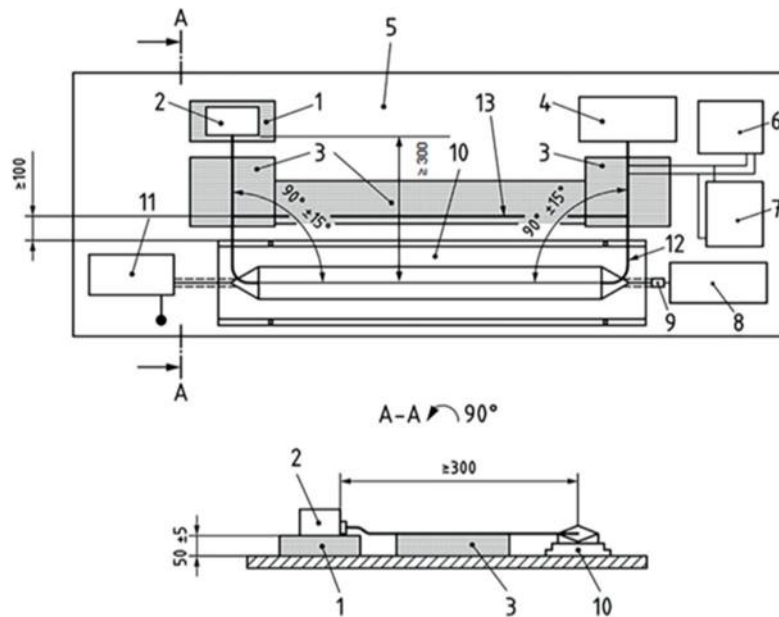
CCC method

The CCC method is suitable for coupling the fast transient pulses, particularly for DUTs with a moderate or large number of leads to be tested. It will not couple the slow transient pulses.

The transient pulse level is adjusted with a 50Ω input oscilloscope connected through a 50Ω coaxial cable to a 50Ω attenuator which is directly connected to the output of the CCC.



- ◇ The DUT 12/24V supply lines should not be included in the CCC, any other ground or supply line deliver by the DUT to an auxiliary equipment shall be included in the CCC (Any exception about ground or supply lines included in the CCC shall be stated in the test plan).



- ◇ All lines which are placed in the CCC shall lie flat in single layer, hinged lid of the CCC shall be placed as flat as possible to ensure contact with the test harness which should be positioned as flat as possible and

Key

1 insulation support	8 oscilloscope (50 Ω input)
2 DUT (grounding as specified in test plan)	9 50 Ω attenuator
3 insulating supports for test harness	10 CCC
4 load simulator	11 transient pulses generator
5 ground plane	12 lines to be tested
6 power supply	13 lines not to be tested
7 battery	

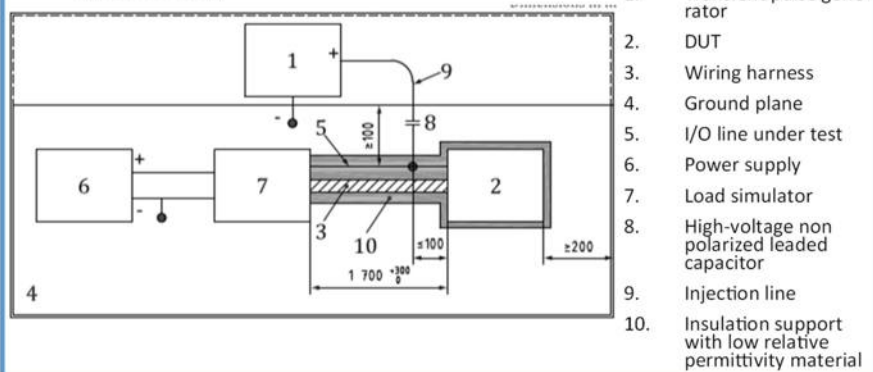
- Twisted and shielded wire configurations shall be maintained inside the CCC.
- ◇ The test conditions for a DUT with multiple connectors (single test on all the branches or test on individual branch) or for a harness with more than 10 to 20 lines shall be specified in the test plan.
- ◇ The distance between the DUT and the CCC, and between peripheral devices and the CCC, shall be greater than or equal to 300 mm.
- ◇ The portions of the lines being tested which are outside the CCC shall be placed at a distance of (50 ± 5) mm above the ground plane and oriented at $90^\circ \pm 15^\circ$ to the longitudinal CCC axis.
- ◇ The lines which are not under CCC test are routed outside the coupling clamp, they shall be placed on a (50 ± 5) mm height insulating support and shall be placed at a minimum distance of 100 mm to the coupling clamp.

DCC method

The DCC method uses capacitors for transient coupling.

Slow transient pulse

- ◇ Capacitor value: 0,1 μ F
- ◇ The transient pulse level shall be measured using a high impedance passive probe,
 - ◇ Probe characteristics:
 - ◇ attenuation: 10/1 (100/1, if needed);
 - ◇ maximum input voltage: 500 V (1 000 V, if needed);
 - ◇ bandwidth: DC to at least 400 MHz;
 - ◇ input impedance: $Z \geq 1 \text{ M}\Omega$ at DC.
- ◇ The generator ground shall be bonded to the ground plane with a DC resistance $\leq 2,5 \text{ m}\Omega$ and a bond length of less than 100 mm.
- ◇ For the test of the DUT with the DCC method the length of the harness shall be 1700mm.
- ◇ For slow and fast transient pulse test, the line shall be place on a non-conductive, low per-mittivity material.
- ◇ The distance between the I/O line injection point and the DUT shall be lower to 100 mm.
- ◇ The distance between the I/O line and the edge of the ground plane shall be greater or equal to 100 mm.

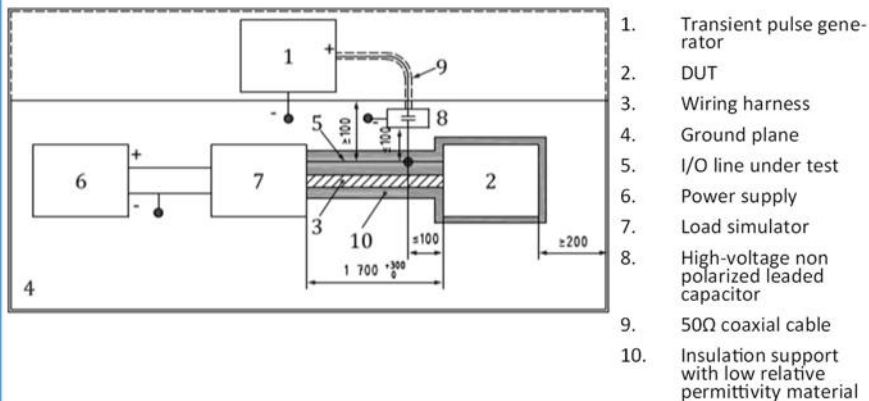


DCC method

The DCC method uses capacitors for transient coupling.

fast transient pulse

- ◇ Capacitor value: 100pF
- ◇ The output of the capacitor shall be connected to the 1 k Ω to 50 Ω adapter.
- ◇ The adapter is connected to an oscilloscope configured for 50 Ω input.
- ◇ The capacitor shall be placed in a shielded box which shall be grounded, the 50 Ω coaxial cable shall be connected to this box.
- ◇ The generator ground shall be bonded to the ground plane with a DC resistance $\leq 2,5$ m Ω and a bond length of less than 100 mm.
- ◇ For the test of the DUT with the DCC method the length of the harness shall be 1700mm.
- ◇ For fast transient test, the generator shall be connected to the capacitor using 50 Ω coaxial cable with a length not greater than 500mm.
- ◇ For slow and fast transient pulse test, the line shall be place on a non-conductive, low permittivity material.
- ◇ The distance between the I/O line injection point and the DUT shall be lower to 100 mm.
- ◇ For fast transient, the distance between the I/O line injection point and the capacitor shielded box shall be lower or equal to 100 mm.
- ◇ The distance between the I/O line and the edge of the ground plane shall be greater or equal to 100 mm.

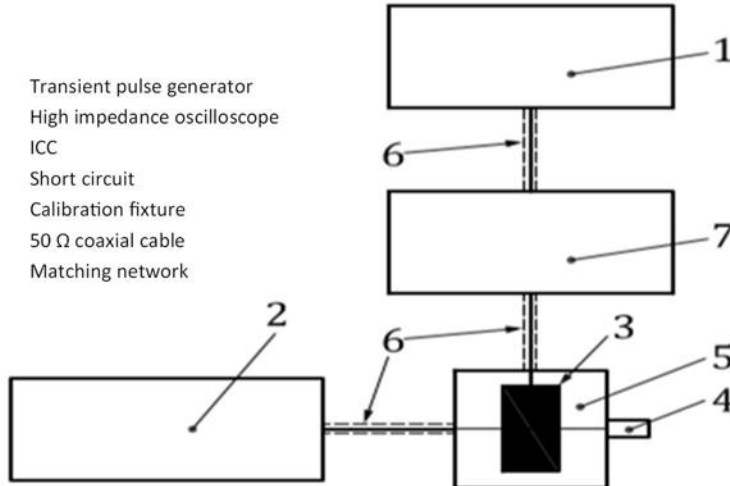


ICC method

The ICC method is suitable for coupling the slow transient pulses, particularly for DUTs with a moderate or large number of lines to be tested.

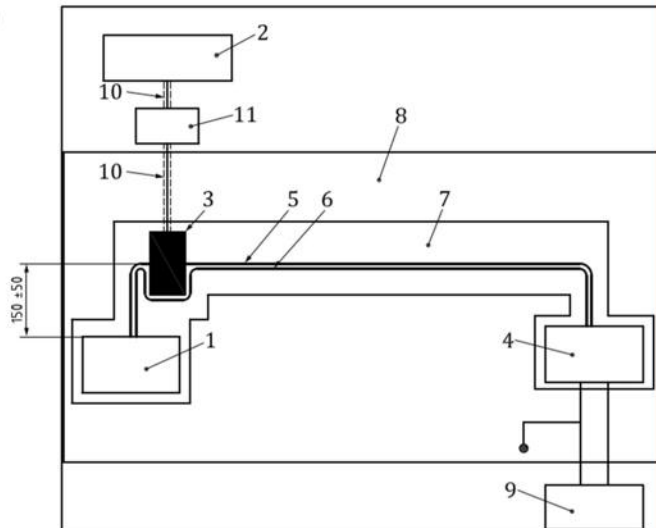
Parameters	12 V system	24 V system
t_d	$7 \mu s \pm 30 \%$	$7 \mu s \pm 30 \%$
t_r	$\leq 1,2 \mu s$	$\leq 1,2 \mu s$

1. Transient pulse generator
2. High impedance oscilloscope
3. ICC
4. Short circuit
5. Calibration fixture
6. 50 Ω coaxial cable
7. Matching network

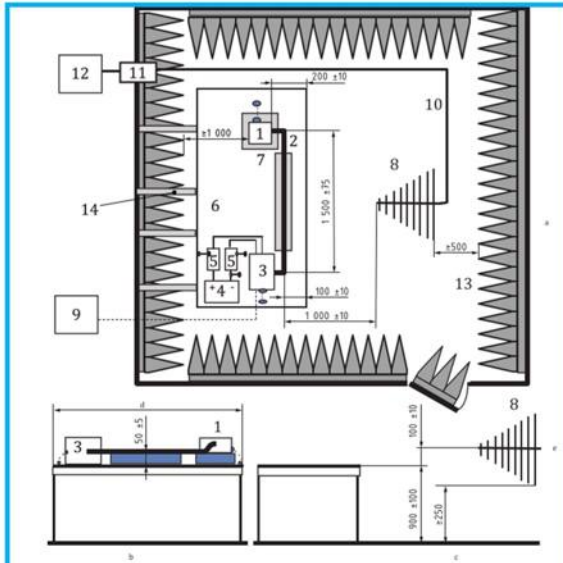


- ◇ The DUT power line should not be included in the ICC. Any other ground or supply line delivered by the DUT to an auxiliary equipment shall be included in the ICC.
- ◇ The test conditions for a DUT with multiple connectors (single test on all the branches or test on individual branch) shall be specified in the test plan.
- ◇ The harness shall be placed on a non-conductive, low relative permittivity (dielectric-constant) material ($\epsilon_r \leq 1,4$), at (50 ± 5) mm above the ground plane.
- ◇ The length of the harness shall be $1\ 700$ mm $(+300$ mm/0 mm).
- ◇ Centre of the ICC shall be placed (150 ± 50) mm from the connector of the DUT.
- ◇ For the ICC method, negative transient pulse polarity may be achieved by reversing the injection probe on the wiring harnesses.

1. DUT
2. Transient pulse generator
3. ICC
4. Load simulator
5. Test harness
6. DUT power lines
7. Insulation support
8. Ground plane
9. Power supply
10. 50 Ω coaxial cable
11. Matching network

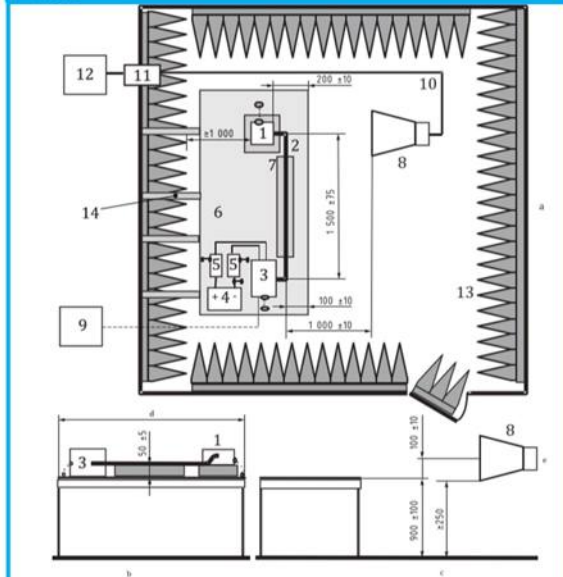


6.3 ISO 11452



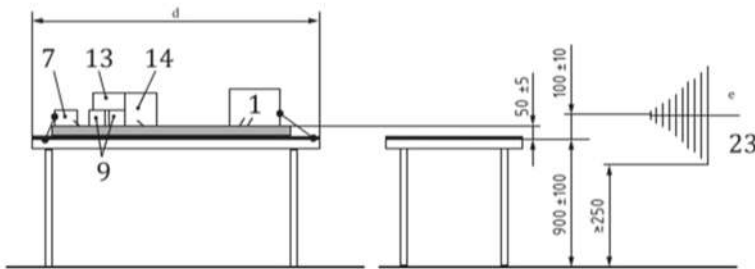
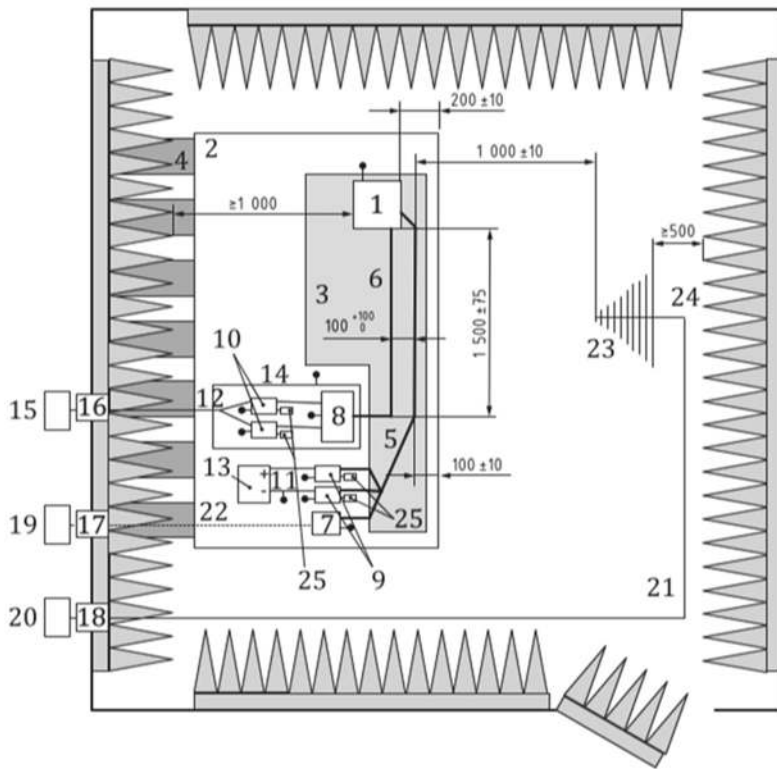
Example of test set-up with Log-periodic-antenna

- Key**
- | | |
|--|---|
| 1 DUT (grounded locally if required in test plan) | 7 low relative permittivity support ($\epsilon_r \leq 1,4$) |
| 2 test harness | 8 log-periodic antenna |
| 3 load simulator (placement and ground: connection according to 7.5) | 9 stimulation and monitoring system |
| 4 power supply (location optional) | 10 high quality double-shielded coaxial cable (50 Ω) |
| 5 artificial network (AN) | 11 bulkhead connector |
| 6 ground plane (bonded to shielded enclosure) | 12 RF signal generator and amplifier |
| a Upper view (horizontal polarisation). | 13 RF absorber material |
| b Front view. | 14 ground straps |
| c Side view. | |
| d See 7.1 | |



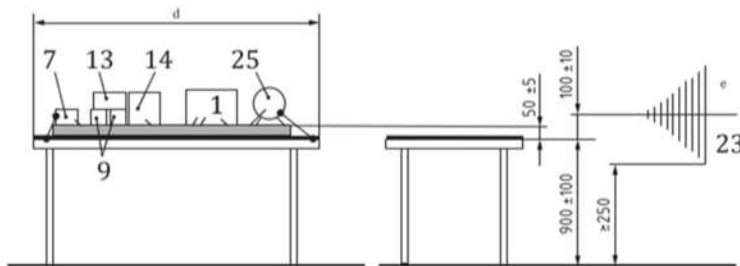
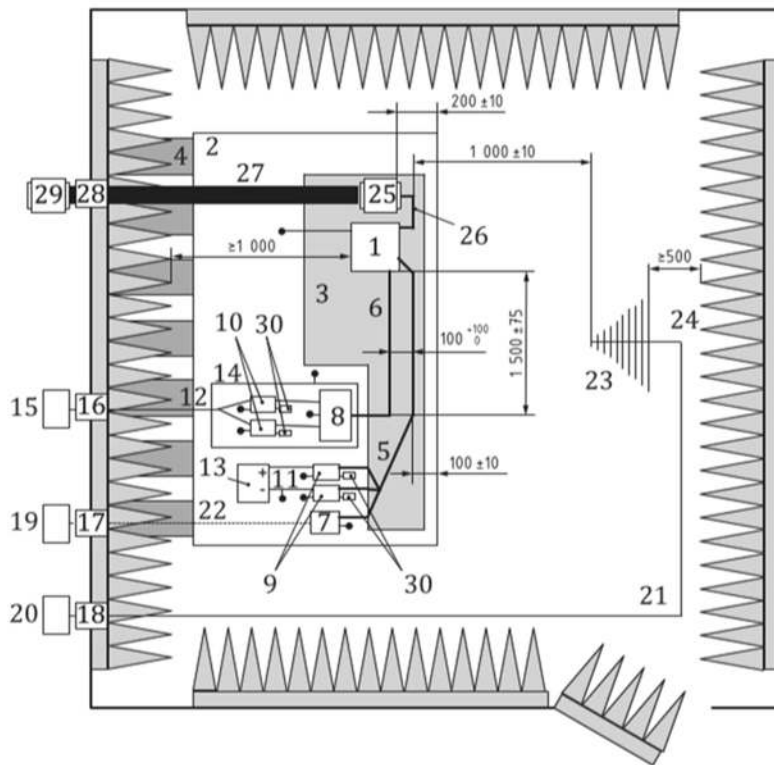
Example of test set-up with Horn antenna (above 1 GHz)

- Key**
- | | |
|--|---|
| 1 DUT (grounded locally if required in test plan) | 7 low relative permittivity support ($\epsilon_r \leq 1,4$) |
| 2 test harness | 8 horn antenna |
| 3 load simulator (placement and ground: connection according to 7.5) | 9 stimulation and monitoring system |
| 4 power supply (location optional) | 10 high quality double-shielded coaxial cable (50 Ω) |
| 5 artificial network (AN) | 11 bulkhead connector |
| 6 ground plane (bonded to shielded enclosure) | 12 RF signal generator and amplifier |
| a Upper view (horizontal polarisation). | 13 RF absorber material |
| b Front view. | 14 ground straps |
| c Side view. | |



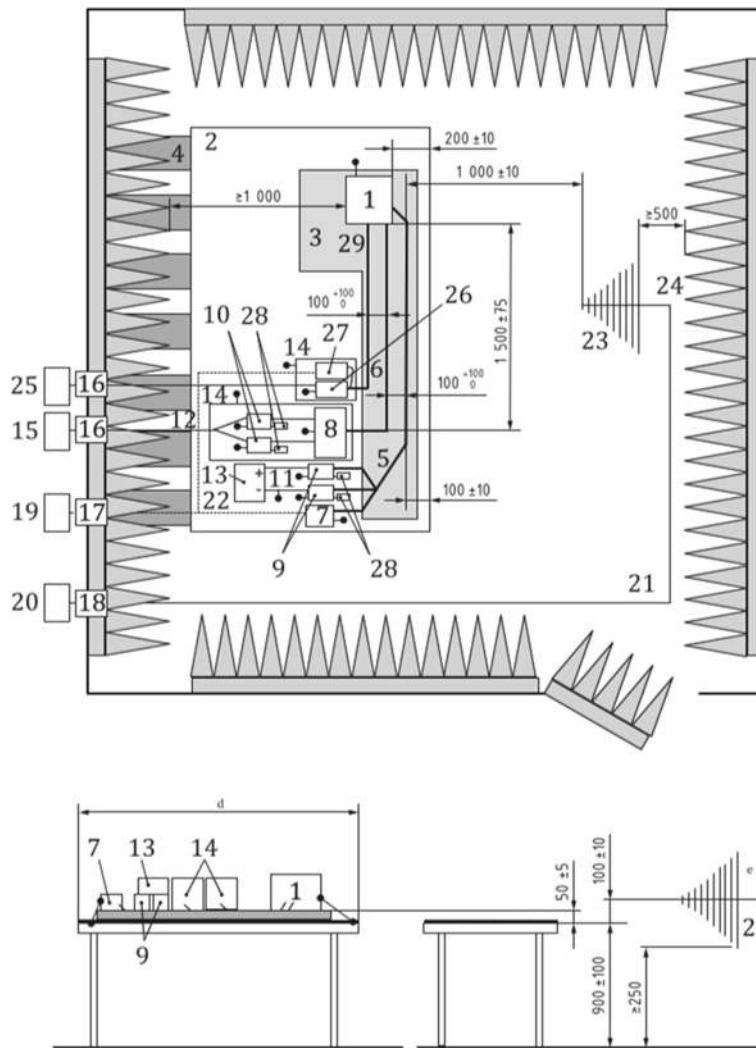
- | | |
|---|---|
| 1 DUT | 14 additional shielded box |
| 2 ground plane | 15 HV power supply (shielded if placed inside ALSE) |
| 3 low relative permittivity support ($\epsilon_r \leq 1,4$);
thickness 50 mm | 16 power line filter |
| 4 ground straps | 17 fibre optic feed through |
| 5 LV harness | 18 bulk head connector |
| 6 HV lines (HV+, HV-) | 19 stimulating and monitoring system |
| 7 LV load simulator | 20 RF signal generator and amplifier |
| 8 Impedance matching network (optional) | 21 high quality coaxial cable e.g. double shielded (50 Ω) |
| 9 LV AN | 22 optical fiber |
| 10 HV AN | 23 log-periodic antenna |
| 11 LV supply lines | 24 RF absorber material |
| 12 HV supply lines | 25 50 Ω load |
| 13 LV power supply 12 V / 24 V / 48 V
(placed on the bench) | |

Example of test set-up with a log-periodic antenna for DUTs with shielded power supply system



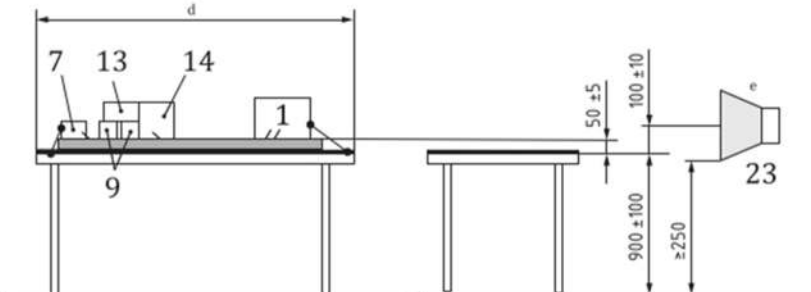
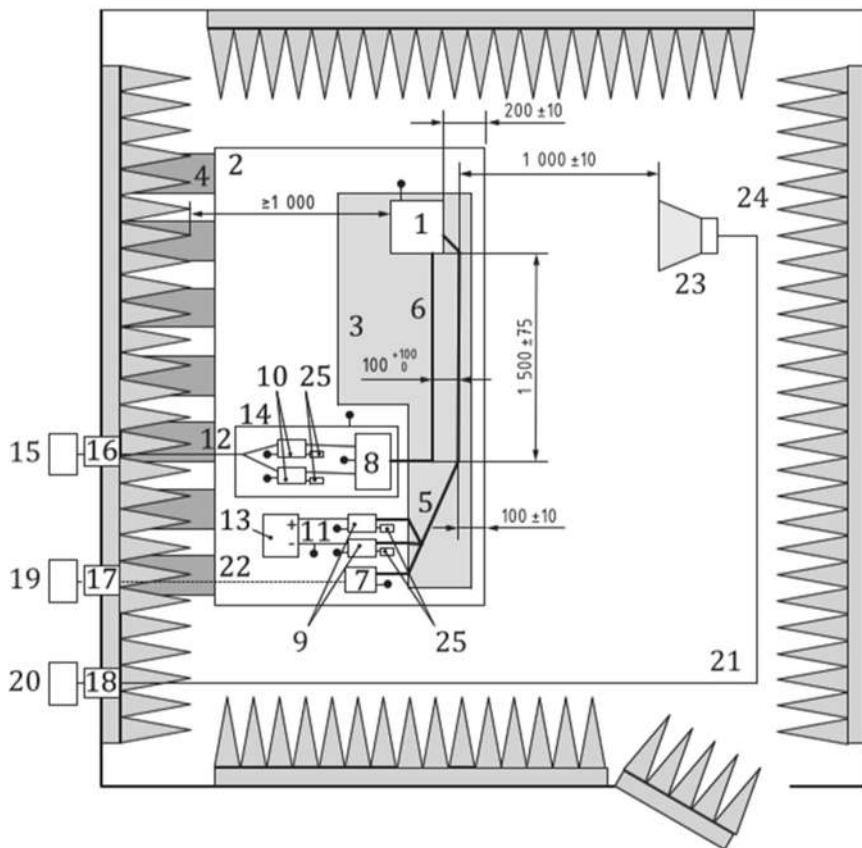
- | | |
|--|---|
| 1 DUT | 15 HV power supply (shielded if placed inside ALSE) |
| 2 ground plane | 16 power line filter |
| 3 low relative permittivity support ($\epsilon_r \leq 1,4$);
thickness 50 mm (a non-conductive
support can be used for the electric motor) | 17 fibre optic feed through |
| 4 ground straps | 18 bulk head connector |
| 5 LV harness | 19 stimulating and monitoring system |
| 6 HV lines (HV+, HV-) | 20 RF signal generator and amplifier |
| 7 LV load simulator | 21 high quality coaxial cable e.g. double shielded (50 Ω) |
| 8 impedance matching network (optional) | 22 optical fiber |
| 9 LV AN | 24 RF absorber material |
| 10 HV AN | 25 electric motor |
| 11 LV supply lines | 26 three phase motor supply lines |
| 12 HV supply lines | 27 mechanical connection (e.g. non-conductive) |
| 13 LV power supply 12 V / 24 V / 48 V (placed on the bench) | 28 filtered mechanical bearing |
| 14 additional shielded box | 29 brake or propulsion motor |
| | 30 50 Ω load |

Example of test set-up with a log-periodic antenna for DUTs with shielded power supply system with electric motor attached to the bench



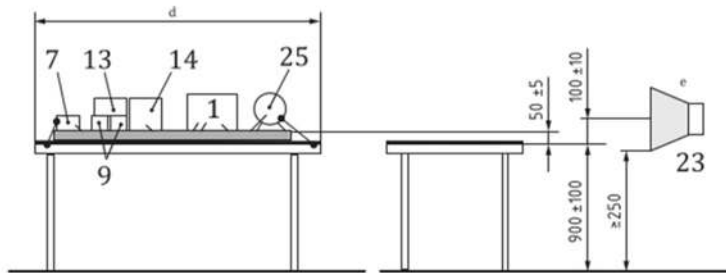
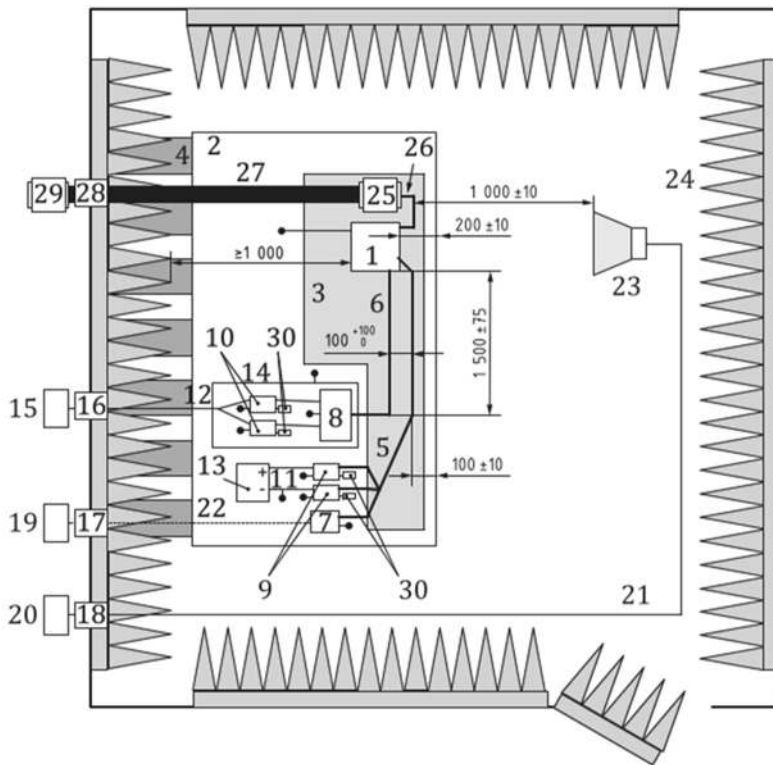
- | | |
|--|---|
| 1 DUT | 15 HV power supply (shielded if placed inside ALSE) |
| 2 ground plane | 16 power line filter |
| 3 low relative permittivity support ($\epsilon_r \leq 1,4$); thickness 50 mm | 17 fibre optic feed through |
| 4 ground straps | 18 bulk head connector |
| 5 LV harness | 19 stimulating and monitoring system |
| 6 HV lines (HV+, HV-) | 20 RF signal generator and amplifier |
| 7 LV load simulator | 21 high quality coaxial cable e.g. double shielded (50 Ω) |
| 8 impedance matching network (optional) | 22 optical fiber |
| 9 LV AN | 23 log-periodic antenna |
| 10 HV AN | 24 RF absorber material |
| 11 LV supply lines | 25 AC power mains |
| 12 HV supply lines | 26 AMN for AC power mains |
| 13 LV power supply 12 V / 24 V / 48 V (placed on the bench) | 27 AC charging load simulator |
| 14 additional shielded box (optional) | 28 50 Ω load |
| | 29 AC lines |

Example of test set-up with a log-periodic antenna for DUTs with shielded power supply system and inverter/charger device



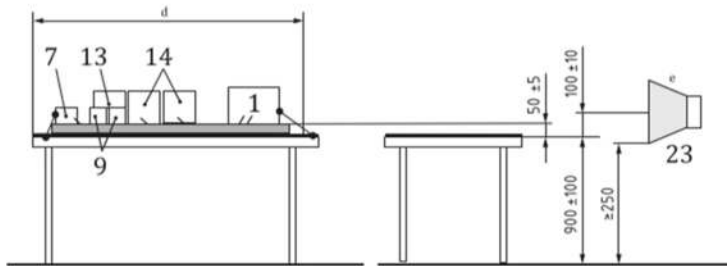
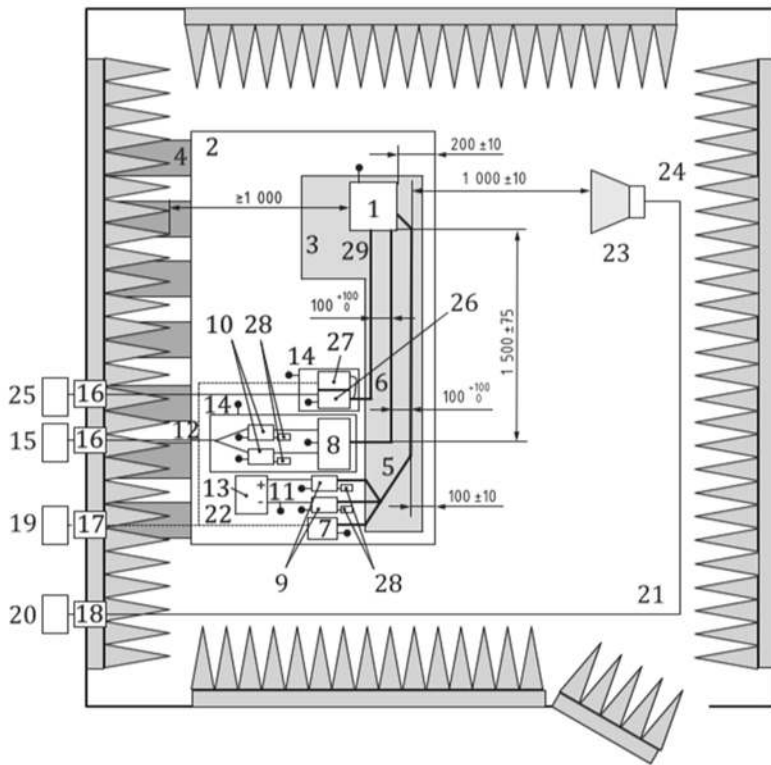
- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> 1 DUT 2 ground plane 3 low relative permittivity support ($\epsilon_r \leq 1,4$); thickness 50 mm 4 ground straps 5 LV harness 6 HV lines (HV+, HV-) 7 LV load simulator 8 impedance matching network (optional) 9 LV AN 10 HV AN 11 LV supply lines 12 HV supply lines 13 LV power supply 12 V / 24 V / 48 V (placed on the bench) | <ul style="list-style-type: none"> 14 additional shielded box 15 HV power supply (shielded if placed inside ALSE) 16 power line filter 17 fibre optic feed through 18 bulk head connector 19 stimulating and monitoring system 20 RF signal generator and amplifier 21 high quality coaxial cable e.g. double shielded (50 Ω) 22 optical fiber 23 horn antenna 24 RF absorber material 25 50 Ω load |
|--|---|

Example of test set-up with a Horn antenna for DUTs with shielded power supply systems



- | | |
|--|---|
| 1 DUT | 15 HV power supply (shielded if placed inside ALSE) |
| 2 ground plane | 16 power line filter |
| 3 low relative permittivity support ($\epsilon_r \leq 1,4$);
thickness 50 mm (a non-conductive support
can be used for the electric motor) | 17 fiber optic feed through |
| 4 ground straps | 18 bulk head connector |
| 5 LV harness | 19 stimulating and monitoring system |
| 6 HV lines (HV+, HV-) | 20 RF signal generator and amplifier |
| 7 LV load simulator | 21 high quality coaxial cable e.g. double shielded (50 Ω) |
| 8 impedance matching network (optional) | 22 optical fiber |
| 9 LV AN | 23 horn antenna |
| 10 HV AN | 24 RF absorber material |
| 11 LV supply lines | 25 electric motor |
| 12 HV supply lines | 26 three phase motor supply lines |
| 13 LV power supply 12 V / 24 V / 48 V (placed on the bench) | 27 mechanical connection (e.g. non-conductive) |
| 14 additional shielded box | 28 filtered mechanical bearing |
| | 29 brake or propulsion motor |
| | 30 50 Ω load |

Example of test set-up with a Horn antenna for DUTs with shielded power supply systems with electric motor attached to the bench



- | | |
|---|---|
| 1 DUT | 15 HV power supply (shielded if placed inside ALSE) |
| 2 ground plane | 16 power line filter |
| 3 low relative permittivity support ($\epsilon_r \leq 1,4$);
thickness 50 mm | 17 fiber optic feed through |
| 4 ground straps | 18 bulk head connector |
| 5 LV harness | 19 stimulating and monitoring system |
| 6 HV lines (HV+, HV-) | 20 RF signal generator and amplifier |
| 7 LV load simulator | 21 high quality coaxial cable e.g. double shielded (50 Ω) |
| 8 impedance matching network (optional) | 22 optical fibre |
| 9 LV AN | 23 horn antenna |
| 10 HV AN | 24 RF absorber material |
| 11 LV supply lines | 25 AC power mains |
| 12 HV supply lines | 26 AMN for AC power mains |
| 13 LV power supply 12 V / 24 V / 48 V (placed on the bench) | 27 AC charging load simulator |
| 14 additional shielded box | 28 50 Ω load |
| | 29 AC lines |

Example of test set-up with a Horn antenna for DUTs with shielded power supply systems and inverter/charger

Capitolo 7

Appendice C

7.1 Simulatore di comunicazione CP

Nella normativa è illustrato un simulatore di carico per la verifica del corretto funzionamento della colonnina di ricarica in base al tipo di segnale presente nella linea Control Pilot. Lo schema elettrico è illustrato nella normativa nell'annex A e viene qui sotto riportato.

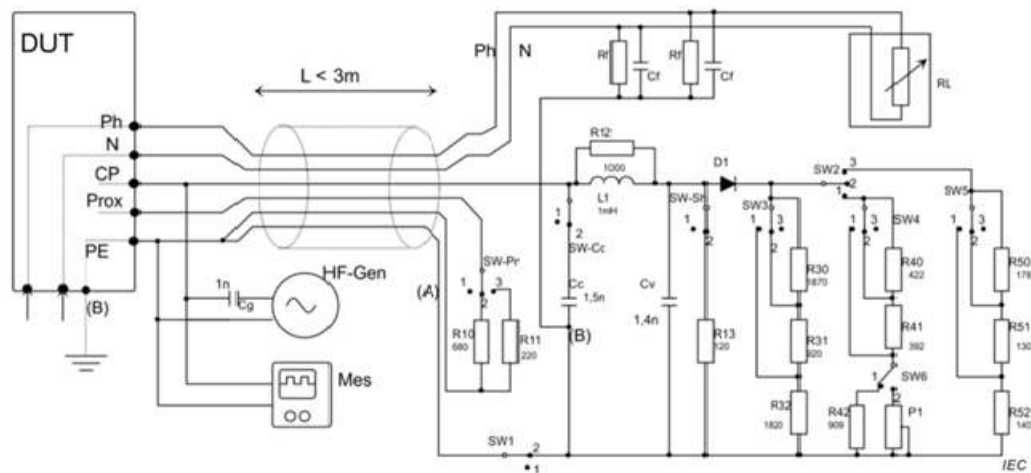
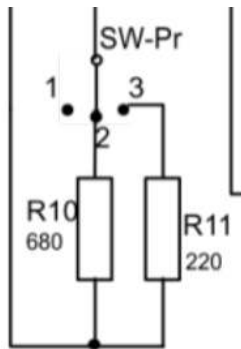


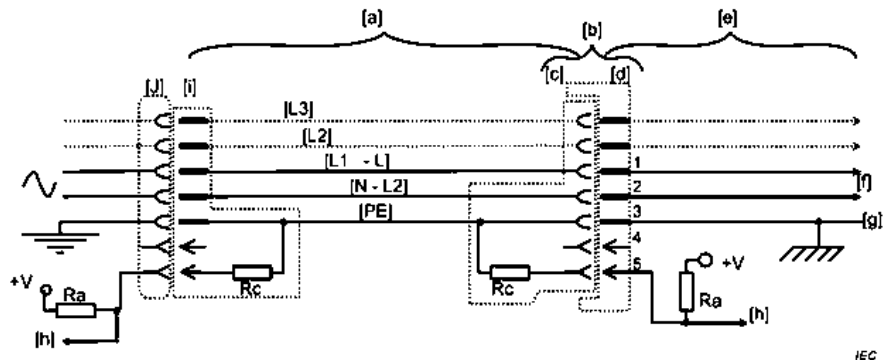
Figura 7.1: Schema d'esempio del simulatore

Il circuito evidenziato in figura 7.2 è necessario per rilevare la presenza o meno della connessione. Lo schema completo del pin proximity è illustrato nella figura 7.2. Il valore della resistenza R_c viene utilizzata per definire la massima corrente supportata dal cavo, nella tabella 7.1 è riassunto il valore e la massima corrente supportata dal cavo. Nello schema elettrico del simulatore è presente uno switch (SW-Pr) che permette di modificare la massima corrente assorbita dal circuito, che in accordo con la tabella 7.1 è di 20 A o 32 A, oppure simulare una condizione di circuito aperto e quindi la disconnessione. La simulazione della disconnessione serve a verificare che venga tolta potenza entro 100 ms dalla disconnessione del cavo. Le resistenze che sono state individuate a questo scopo sono per 220 ohm "RA73F2A221RBTDF" e per 680 ohm

“RA73F1J681RBTDF” che rientrano nei limiti di potenza e di tolleranza.



(a) Blocco di simulazione per il pin proximity



(b) Schema di funzionamento del pin proximity per rilevare la corretta connessione

Figura 7.2

Corrente massima del cavo (A)	Valore nominale della resistenza Rc tolleranza 3% (Ω)	Valore minimo del rating di dissipazione (W)	Intervallo di valori della resistenza Rc (Ω)
	Condizione d'errore o disconnessione		> 4500 Ω > 4500 Ω
13	1500	0,5	1100 - 2460
20	680	0,5	400 - 936
32	220	1	164 - 308
63 (3-phase) / 70 (1-phase)	100	1	80 - 140
	error condition		

Tabella 7.1: Valore della resistenza Rc in funziona della tipologia di corrente supportata dal cavo

La parte di circuito illustrata in figura 7.3 serve a verificare il comportamento del circuito nei diversi stati e controllare il comportamento della stazione di ricarica quando nel circuito sono presenti diverse combinazioni e valori limite delle resistenze, nella tabella 7.2 viene descritto il ruolo dei diversi interruttori:

Switch SW2	Posizione 2: stato Bx Posizione 1: stato Cx Posizione 3: stato Dx
Switch SW4	Posizione 2: R2 al suo valore nominale Cx Posizione 1: R2 al suo valore minimo Cx Posizione 3: R2 al suo valore massimo Cx Posizione 2 dello SW6 permette di testare il funzionamento ad isteresi del dispositivo
Switch SW5	Posizione 2: R2 al suo valore nominale Dx Posizione 1: R2 al suo valore minimo Dx Posizione 3: R2 al suo valore massimo Dx
Switch SW3	Posizione 2: R3 al suo valore nominale Posizione 1: R3 al suo valore minimo Posizione 3: R3 al suo valore massimo

Tabella 7.2: Posizione degli switch e corrispondente valore delle resistenze

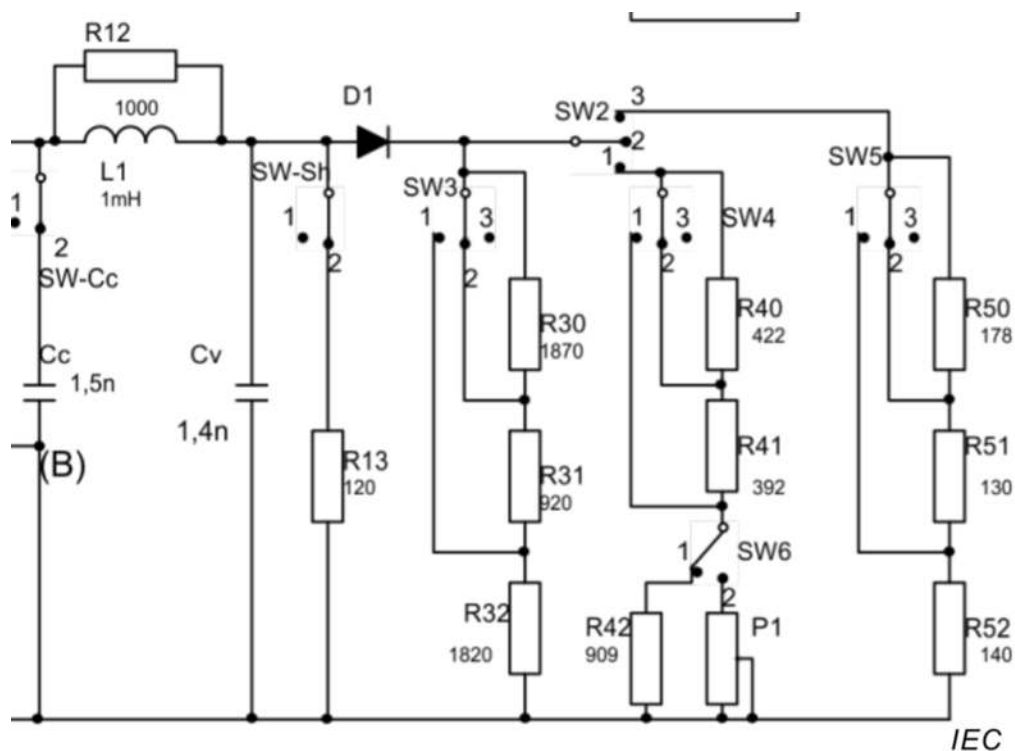


Figura 7.3: Circuito di funzionamento CP

Nella tabella 7.3 è presente uno schema che descrive il comportamento del circuito in base allo stato degli switch

	State/switch		Pr	Sh	SW1	SW2	SW3	SW4	SW5	SW6
1	A	Disconnesso	1	1	1	X	X	X	X	1
2	Earth Fault	Cavo di terra disconnesso	X	1	1	X	X	X	X	1
3	E		2,3	2	2	2	X	X	X	1
4	B	Nominal values	2,3	1	2	2	2	X	X	1
5	C		2,3	1	2	1	2	2	X	1
6	D		2,3	1	2	3	2	X	2	1
7	B	Upper values	2,3	1	2	2	3	X	X	1
8	C		2,3	1	2	1	3	3	X	1
9	D		2,3	1	2	3	3	X	3	1
10	B	Lower values	2,3	1	2	2	1	X	X	1
11	C		2,3	1	2	1	1	1	X	1
12	D		2,3	1	2	3	1	X	1	1
13	B-C	Hysteresis	2,3	1	2	1	2	1	X	2
14	C-D		2,3	1	2	1	2	1	X	2
15	C-E		2,3	1	2	1	2	1	X	2
16	D-E		2,3	1	2	1	2	1	X	2

Tabella 7.3: Combinazioni degli switch e corrispondente comportamento della scheda

La scelta della componentistica per questo circuito è abbastanza semplice in quanto non ci sono vincoli particolari al di fuori della tolleranza di resistenze e induttanza. Per il diodo invece vi è il vincolo nel tempo di turn-off che obbliga ad avere un diodo con $I_{rms} = 1 \text{ A}$, $V_r > 100 \text{ V}$ e $T_r = 200 \text{ ns}$, il componente “RGF1B” rispecchia queste caratteristiche ed è stato scelto.

La scheda realizzata, mostrata in figura 7.4, implementa anche dei circuiti per facilitare il test dell'interruzione di terra e del corto circuito. In particolare, in figura 7.5 è riportato la schema per la misura dell'interruzione di terra.

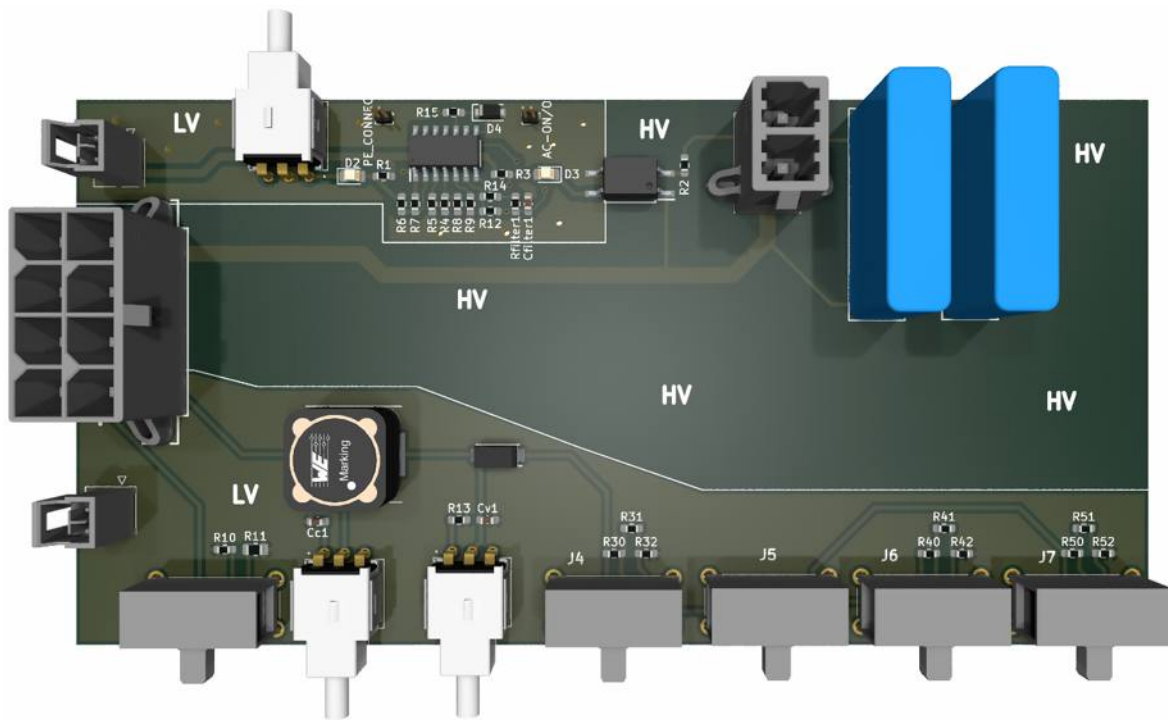


Figura 7.4: Modello 3D del simulatore

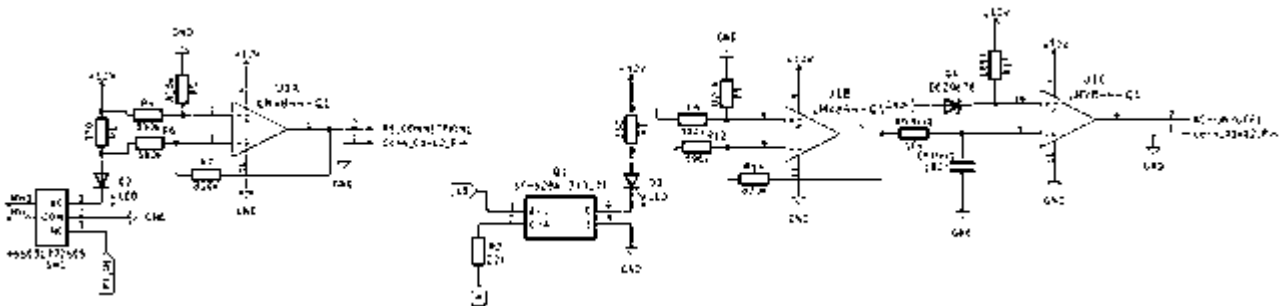


Figura 7.5: Circuito per il test di funzionamento della tensione AC

L'interruttore S3 scollega il piano di terra e il ground della parte di bassa potenza, quando questo avviene scorre una corrente sulla resistenza R1 che funge da sensing e grazie ad un amplificatore differenziale in uscita abbiamo un segnale 0-12V, in cui 0 → PE connesso a GND e 12V → PE disconnesso. Nella seconda parte di circuito si utilizza un optoisolatore AC “SFH628A” per rilevare la presenza della tensione lato carico e un circuito analogo al precedente viene utilizzato per fornire un segnale 0-12V in uscita in cui 12V indica assenza della tensione e 0V indica la presenza della tensione. A causa della tensione alternata avremo un'oscillazione di corrente a 100Hz in uscita dall'optoisolatore che corrisponderà ad una tensione sinusoidale in ingresso al mio amplificatore differenziale, da qui la necessità di filtrare in uscita per ridurre la componente a 100 Hz del segnale. Il risultato è un'attenuazione della componente a 100 Hz tale per cui il valore minimo del segnale è di circa 2.7 V, il diodo nel secondo operazionale ha una caduta di tensione costante a 1.8V e funge da soglia nel comparatore per identificare la presenza o meno della tensione di rete.

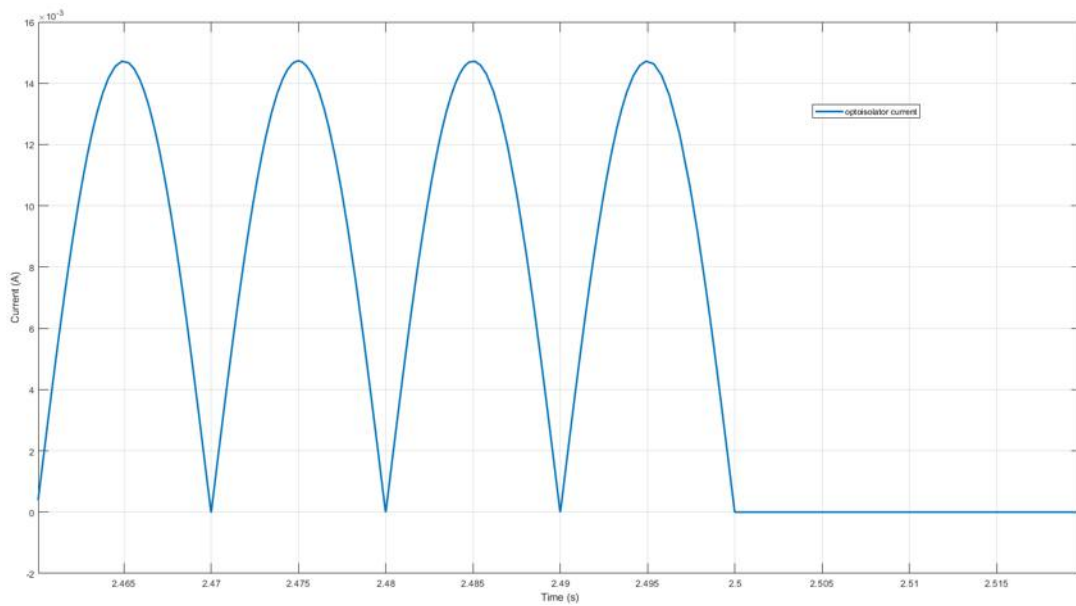


Figura 7.6: Corrente d'uscita dell'optoisolatore

In figura 7.6 è illustrata la corrente d'uscita dell'optoisolatore, come si può osservare abbiamo un'oscillazione ad una frequenza doppia rispetto a quella di rete a causa del raddrizzamento. La corrente massima che abbiamo in uscita dall'optoisolatore supponendo un CTR del 100% (I valori del CTR per il componente indicato variano da 100% a 320%) è di $I_{max} = \frac{\sqrt{2} \cdot 230}{22k\Omega} = 14,78mA$.

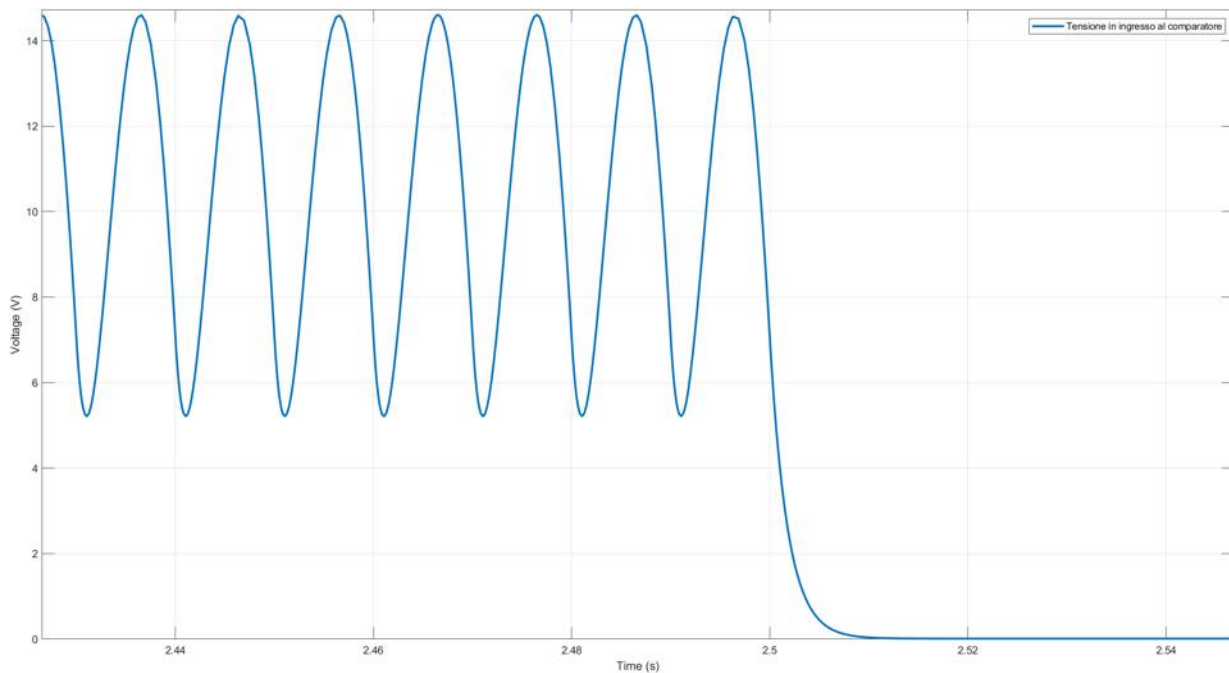


Figura 7.7: Tensione in ingresso del comparatore

In figura 7.7 è mostrata la tensione in ingresso del comparatore, supponendo un CTR del 100% è data dalla semplice legge di ohm $V_s = 300 \cdot I_{max} = 4,879V$. Nel caso volessimo fare i conti con un diverso valore del CTR, abbiamo che l'equivalenza della corrente diventa $I_c = \frac{CTR}{100} \cdot I_{max}$, si ottiene la tensione di picco in ingresso dell'amplificatore differenziale. Lo stadio differenziale ha il compito di amplificare il segnale in maniera tale da avere una componente DC ad un valore di tensione maggiore, poichè dopo l'amplificazione il segnale comunque varia tra 0 e il suo valore massimo viene utilizzato un filtro fissato a circa 100 Hz per attenuare la componente a più alta frequenza del segnale. L'obiettivo del filtro è aumentare il valore di tensione minima del segnale ad un valore più alto della tensione di breakdown dello zener (1.8V nominali), questo ci permette d'avere in uscita un segnale bistabile 0-12V come mostrato in figura 7.8. Il circuito così realizzato permette d'avere una banda bassante di circa 3.5 ms, limitata dal filtro a 100 Hz, che permette di avere un'elevata precisione nel rilevare la presenza o meno della tensione.

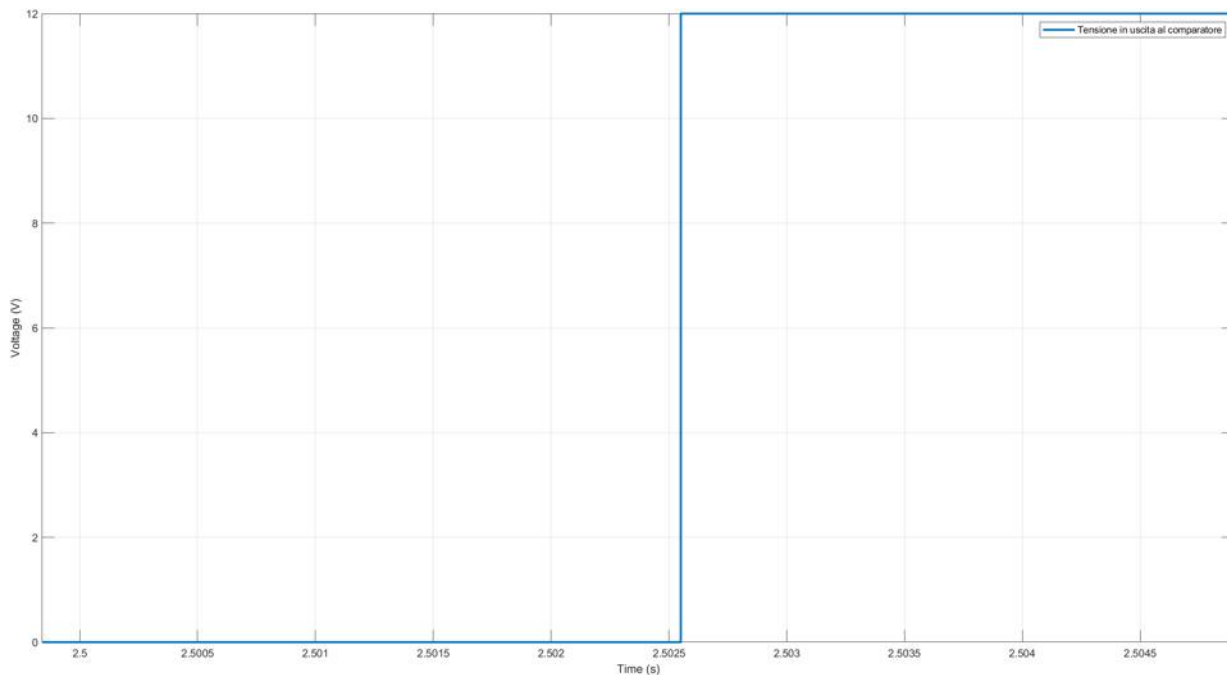


Figura 7.8: Tensione in uscita dal comparatore

In figura 7.9 sono mostrati i pin ai quali ci si può collegare per la lettura dei 12V, la differenza tra quando le due linee arrivano a 12V è il tempo impegnato per scollegare l'alta potenza.

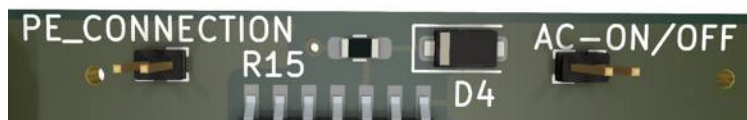


Figura 7.9: Dove eseguire la rilevazione dei segnali

Per la prova di corto circuito è stato predisposto uno switch (SW-Sh) che mette in parallelo tra CP e PE una resistenza da 120 ohm che è stata dimensionata per dissipare 1 W.

Test dell'isteresi C → E e D → E

Per questo test il potenziometro P1 deve essere impostato al valore di 1,3 kΩ, il sistema di carica deve essere portato nello stato C2. Il valore dello switch P1 deve aumentare lentamente in modo tale che si abbia un aumento di 0,01V/s finché lo switch non si apre, il valore di tensione della linea al momento dell'apertura deve essere segnato nel report. Dopo di che il valore del potenziometro P1 deve essere ridotto lentamente alla stessa velocità di prima fino alla chiusura dello switch, Il valore di tensione della linea al momento dell'apertura deve essere indicato nel report. Il test va ripetuto anche nello stato D2 in quel caso il valore iniziale del potenziometro deve essere fissato a 270 Ω.

Test dell'isteresi C-D

Per questo test il potenziometro va impostato a 1,3kΩ, il sistema di carica deve essere portato nello stato C2. Il valore dello switch P1 deve essere ridotto lentamente in modo che si abbia un aumento di 0,01V/s finché la ventilazione non si avvia, il valore di tensione della linea al momento dell'apertura deve essere segnato nel report. Dopo di che il valore del potenziometro P1 deve essere aumentato lentamente alla stessa velocità di prima finché la ventilazione non si arresta, Il valore di tensione della linea al momento dell'apertura deve essere segnato nel report.

Capitolo 8

Bibliografia

1. Normativa EN 55025;
2. Normativa ISO 7637;
3. Normativa ISO 11452;
4. Normativa IEC 61851;
5. Datasheet SFH628A;
6. Datasheet RGF1B;
7. Datasheet RA73F2A221RBTDF;
8. Manuale di compatibilità elettromagnetica;
9. Teseq - About ISO 7637-2;