



Ricerca di Sistema elettrico

Caratterizzazione delle emissioni elettromagnetiche di una colonnina di ricarica veloce per veicoli elettrici

Rosanna Pinto, Vanni Lopresto,
Paolo D'Atanasio, Alessandro Zambotti

CARATTERIZZAZIONE DELLE EMISSIONI ELETTROMAGNETICHE DI UNA COLONNINA DI RICARICA VELOCE
PER VEICOLI ELETTRICI

Rosanna Pinto, Vanni Lopresto, Paolo D'Atanasio, Alessandro Zambotti (ENEA)

Settembre 2017

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2016

Area: Efficienza energetica negli usi finali elettrici e risparmio di energia negli usi finali elettrici ed interazione con altri vettori elettrici

Progetto: D.7 “Mobilità elettrica sostenibile”

Obiettivo: Valutazione e valorizzazione benefici mobilità elettrica, sub-obiettivo c2 impatti sulla salute della mobilità elettrica

Responsabile del Progetto: ing. Antonino Genovese, ENEA

Indice

SOMMARIO	6
1 INTRODUZIONE	7
2 QUADRO NORMATIVO NAZIONALE	8
3 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI.....	9
3.1 SCENARIO DI MISURA E STRUMENTAZIONE.....	9
3.1.1 <i> Oggetto della caratterizzazione elettromagnetica</i>	9
3.1.2 <i> Allestimento</i>	11
3.1.3 <i> Strumentazione di misura delle emissioni elettromagnetiche</i>	11
3.1.4 <i> Strumentazione di misura della corrente assorbita dalla rete</i>	12
3.2 MISURA DEI LIVELLI DI FONDO	14
3.2.1 <i> Procedura di misura</i>	14
3.2.2 <i> Risultati della misura di fondo sul lato A</i>	15
3.2.3 <i> Risultati della misura di fondo sul lato B</i>	17
3.2.4 <i> Risultati della misura di fondo sul lato C</i>	18
3.2.5 <i> Risultati della misura di fondo sul lato D</i>	19
3.3 MAPPATURA DELL'EMISSIONE DI INDUZIONE MAGNETICA SUI 4 LATI	20
3.3.1 <i> Procedura di misura</i>	20
3.3.2 <i> Risultati della mappatura lato A</i>	22
3.3.3 <i> Risultati della mappatura lato B</i>	22
3.3.4 <i> Risultati della mappatura lato C</i>	23
3.3.5 <i> Risultati della mappatura lato D</i>	23
3.4 MISURE SPETTRALI	24
3.4.1 <i> Procedura di misura</i>	24
3.4.2 <i> Risultati della misura spettrale sul punto di massimo Lato D altezza 30 cm da terra</i>	24
3.5 CURVE ISOLINEE A 3 μ T.....	26
3.5.1 <i> Procedura di misura</i>	26
3.5.2 <i> Le isolinee a 3 μT</i>	26
3.6 CARATTERIZZAZIONE DELLA VARIAZIONE TEMPORALE DI INDUZIONE MAGNETICA SUL PUNTO DI MASSIMA EMISSIONE DURANTE UN CICLO DI RICARICA.....	28
3.6.1 <i> Procedura</i>	28
3.6.2 <i> Risultati</i>	28
3.7 MISURA DELLA CONFORMITÀ CON IL METODO DEL PICCO PONDERATO WP	30
3.7.1 <i> Procedura</i>	30
3.7.2 <i> Risultati</i>	30
3.8 MISURA DI CAMPO STATICO SUL CONNETTORE CHADEMO E SUL CAVO DC.....	30
3.8.1 <i> Procedura</i>	30
3.8.2 <i> Risultati</i>	32
4 CONCLUSIONI.....	32
5 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	33
6 ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI.....	34

Indice delle figure

Figura 1 – Vista frontale. Lato A.....	10
Figura 2 – Vista laterale. Lato D	10
Figura 3 – Avviso riportato sul lato frontale.....	10
Figura 4 – Targa identificativa riportata sul lato D	10
Figura 5 – Pianta della colonnina	11
Figura 6 – Vista del setup di misura, lati D ed A, durante una ricarica.....	11
Figura 7 – Vista del setup di misura, lati B e C, durante una ricarica	11
Figura 8 – Misura della corrente di alimentazione (fase R)	13
Figura 9 – Ciclo di ricarica. In giallo la fase “ a corrente costante” della durata di circa 13 minuti.....	13
Figura 10 – Ciclo di ricarica. In giallo la fase “ a corrente costante” della durata di circa 6 minuti.....	14
Figura 11 – Planimetria con indicati i punti di misura sui quattro lati A,..., C.....	15
Figura 12 – Induzione magnetica B, SPAN 500 Hz	16
Figura 13 – Campo elettrico SPAN 500 Hz	16
Figura 14 – Induzione magnetica B, 100 kHz	16
Figura 15 – Campo elettrico SPAN 100 kHz	16
Figura 16 – Induzione magnetica B, 400 kHz	16
Figura 17 – Campo elettrico SPAN 100 kHz	16
Figura 18 – Induzione magnetica B, SPAN 500 Hz	17
Figura 19 – Campo elettrico SPAN 500 Hz	17
Figura 20 – Induzione magnetica B, 100 kHz	17
Figura 21 – Campo elettrico SPAN 100 kHz	17
Figura 22 – Induzione magnetica B, 400 kHz	17
Figura 23 – Campo elettrico SPAN 100 kHz	17
Figura 24 – Induzione magnetica B, SPAN 500 Hz	18
Figura 25 – Campo elettrico SPAN 500 Hz	18
Figura 26 – Induzione magnetica B, 100 kHz	18
Figura 27 – Campo elettrico SPAN 100 kHz	18
Figura 28 – Induzione magnetica B, 400 kHz	18
Figura 29 – Campo elettrico SPAN 100 kHz	18
Figura 30 – Induzione magnetica B, SPAN 500 Hz	19
Figura 31 – Campo elettrico SPAN 500 Hz	19
Figura 32 – Induzione magnetica B, 100 kHz	19
Figura 33 – Campo elettrico SPAN 100 kHz	19
Figura 34 – Induzione magnetica B, 400 kHz	19
Figura 35 – Campo elettrico SPAN 100 kHz	19
Figura 36 – Pianta delle colonne di punti di misura impiegati nella mappatura	20
Figura 37 – Prospetto del lato frontale con indicazione dei punti di mappatura	21
Figura 38 – Misura della componente spettrale a 50 Hz dell’induzione magnetica sul punto di massimo	24
Figura 39 – Misura delle componenti spettrali tra 100 Hz e 500 Hz dell’induzione magnetica sul punto di massimo	24
Figura 40 – Misura delle componenti spettrali tra 500 Hz e 2 kHz dell’induzione magnetica sul punto di massimo	24
Figura 41 – Misura delle componenti spettrali tra 2 kHz e 100 kHz dell’induzione magnetica sul punto di massimo	24
Figura 42 – Misura della componente spettrale a 50 Hz del campo elettrico sul punto di massimo	25
Figura 43 – Misura delle componenti spettrali tra 100 Hz e 500 Hz del campo elettrico sul punto di massimo	25
Figura 44 – Misura delle componenti spettrali tra 500 Hz e 2 kHz del campo elettrico sul punto di massimo	25
Figura 45 – Misura delle componenti spettrali tra 2 kHz e 100 kHz del campo elettrico sul punto di massimo	25
Figura 46 – Isolinea a 3 μ T ricavata con il sensore disposto a 30 cm d’altezza. La distanza massima è di 42 cm	27
Figura 47 – Isolinea a 3 μ T ricavata con il sensore disposto a 20 cm d’altezza. La distanza massima è di 40.5 cm	27
Figura 48 – Curva dei punti con emissioni $\leq 3 \mu$ T ricavata con il sensore disposto a 110 cm d’altezza. La distanza massima è di 21 cm.....	28
Figura 49 – Andamento dell’induzione magnetica B sul punto di massimo: lato D, h 30 cm, d 10 cm e corrente assorbita dalla rete su una delle 3 fasi durante un ciclo completo di ricarica.	29
Figura 50 – Andamento dell’induzione magnetica B sul punto di massimo: lato D, h 30 cm, d 10 cm e corrente assorbita dalla rete su una delle 3 fasi durante un ciclo completo di ricarica.	29
Figura 51 – Misura di fondo del campo magnetico statico	31
Figura 52 – Punto di misura sul lato A nel vano connettore	31

Figura 53 – Punto di misura sul cavo DC a 3 m dall’uscita dal pannello	31
Figura 54 – Punto di misura sul connettore CHAdeMO (manipolo) a 3.5 m dall’uscita del pannello	31

Sommario

Nel corso di questa annualità è stata eseguita una caratterizzazione delle emissioni elettromagnetiche (CEM) di un esemplare commerciale di colonnina di ricarica rapida per autoveicoli elettrici, disponibile nel C.R. Casaccia.

La colonnina presa in esame è il modello EQC-50 ENDESA Circutor, di potenza apparente nominale di 77 kVA, ma impiegata con una potenza d'alimentazione limitata a 42 kVA AC, equipaggiata con il sistema di ricarica rapida in corrente continua a standard CHAdeMO. La colonnina è stata analizzata in condizioni operative realistiche, effettuando cicli di ricarica rapidi del pacco batterie dell'autoveicolo elettrico Nissan Leaf.

In particolare sono state analizzate le emissioni d'induzione magnetica e di campo elettrico dalla continua alla frequenza di 400 kHz.

Nel corso del lavoro è stata eseguita:

- una verifica dei livelli di fondo del sito impiegato per la caratterizzazione;
- una mappatura su ognuno dei quattro lati della colonnina, volta ad individuare i punti di emissione massima;
- la valutazione di isolinee, che garantiscano il rispetto degli obiettivi di qualità di 3 μ T, mutuati dal DPCM 8.07.2003 sulle emissioni elettromagnetiche degli elettrodotti;
- una misura dell'induzione magnetica eseguita durante un intero ciclo di ricarica, in contemporanea con l'acquisizione della corrente assorbita dalla rete;
- una misura dell'indice di conformità di picco ponderato sul punto di massima emissione per analizzare la conformità ai livelli di riferimento indicati nella raccomandazione del Consiglio Europeo 1999/519/CE;
- una misura dell'induzione magnetica di campi magnetici statici.

Preliminarmente, si è identificato la condizione di scenario espositivo peggiore su cui eseguire le misure: la condizione di ricarica iniziale a corrente costante è quella che determina i valori massimi di assorbimento dalla rete ed al tempo stesso i massimi livelli di emissione di induzione magnetica.

Gli obiettivi di qualità del DPCM 8.07.2003 sono rispettati mantenendo una distanza minima di 42 cm dalle superfici laterali della colonnina.

La valutazione dell'indice di picco ponderato, sul punto di massima emissione, considerando le limitazioni previste dalla 1999/519/CE, ha indicato, con l'utilizzo della colonnina a potenza ridotta, la conformità dell'esposizione a una distanza superiore ai 15 cm dalla superficie della colonnina.

I livelli misurati di induzione magnetica di campi magnetici statici sono molto prossimi ai livelli di azione di 500 μ T, considerati come soglia di rischio di interferenza con dispositivi impiantati attivi nella direttiva europea 2013/35/UE. Purtroppo, considerando che la colonnina è stata esaminata a potenza ridotta, è ipotizzabile un superamento di tale limite con un impiego della colonnina a piena potenza. Pertanto è opportuno, in assenza di ulteriori dati, attenersi alle prescrizioni riportate nella targa apposta sul lato frontale della colonnina destinate ai portatori di dispositivi impiantabili attivi.

In conclusione, si può affermare che nel caso delle colonnine di ricarica, la definizione di uno scenario peggiore di esposizione e la sua valutazione di conformità rispetto alla raccomandazione 1999/519/CE, integrata dalle indicazioni più conservative della direttiva 2013/35/UE per l'induzione magnetica da campi magnetici statici, e dagli obiettivi di qualità del DPCM 8.07.2003 per l'induzione magnetica a 50 Hz, sono procedure necessarie alla prevenzione da effetti che possono avere gravi ricadute sulla salute e sicurezza.

1 Introduzione

L'inquinamento atmosferico è una delle cause principali di mortalità nell'era moderna e non c'è dubbio che le città vivano più da vicino questo fenomeno, a causa dell'alta concentrazione di fonti di emissioni in spazi limitati. Oltre agli inquinanti, esistono poi le emissioni climalteranti, come la CO₂. Si stima che il comparto dei trasporti contribuisca per almeno un quinto a questo tipo di emissioni. Non è un caso, dunque, che sempre più spesso si parli di automobili a basse o zero emissioni, come una possibile soluzione, sia ai problemi ambientali, che ai problemi legati alla insostenibilità dei combustibili fossili. I motori elettrici sono molto efficienti e necessitano di minore manutenzione rispetto a quelli termici a benzina o diesel. Ma hanno bisogno di un "ecosistema" per poter diventare di uso comune, e la diffusione dei sistemi di ricarica, soprattutto veloce, rappresenta uno degli elementi per il sviluppo di tale ecosistema. Infatti, tra gli ostacoli alla diffusione sul mercato dei veicoli elettrici e alla loro accettazione da parte dei consumatori, uno dei più importanti è rappresentato proprio dall'assenza di infrastrutture per la ricarica veloce sul territorio. Questo punto è stato evidenziato anche a livello istituzionale europeo, con la Direttiva 2014/94/EU del Parlamento Europeo e del Consiglio [1]. L'attuazione di questa Direttiva in Italia, per la parte che riguarda la mobilità elettrica, è rappresentata dal varo del Piano Nazionale Infrastrutturale per la Ricarica dei veicoli alimentati ad energia Elettrica (PNire), che nel 2017 ha visto partire la sua seconda fase. Questo piano prevede, tra le altre cose, il completamento e il consolidamento della rete di infrastrutture di ricarica pubblica (e privata). In questo ambito, recentemente, ENEL ha annunciato l'installazione di 7000 colonnine (tra quick 22 kW nelle aree urbane, fast 50 kW e ultrafast 150 kW) entro il 2020, per arrivare a 14000 nel 2022.

Considerati i tempi di ricarica veloce, che si attestano su un ordine della mezz'ora, è prevedibile che per ogni stazione di ricarica, verranno installate numerose colonnine. Uno scenario futuro può essere dedotto dall'esperienza della Norvegia, che ha adottato politiche d'incentivazione della trazione elettrica e dove è stata aperta la più grande stazione di servizio per la ricarica veloce di auto elettriche nel mondo intero, capace di rifornire contemporaneamente fino a 28 auto. È verosimile che le stazioni di ricarica saranno strutturate in modo simile alle attuali stazioni di servizio convenzionali. Quindi, è evidente che le stazioni di ricarica saranno frequentate dagli utenti e dai passeggeri dei veicoli. Si pone dunque il problema delle potenziali esposizioni della popolazione alle emissioni elettromagnetiche, dovute alla concentrazione, in un'area limitata, di numerose colonnine di ricarica. Nello scenario espositivo peggiore, queste funzioneranno contemporaneamente, assorbendo energia dalla rete e manipolando correnti particolarmente elevate, generando così, nelle immediate vicinanze, campi magnetici (CM) ed elettromagnetici (CEM). La valutazione dell'esposizione a questa tipologia di sorgente rappresenta una operazione imprescindibile per la progettazione finale di stazioni di ricarica, che non comportino la sovraesposizione della popolazione ai CM e CEM emessi. Se infatti le emissioni superassero i valori limite stabiliti dalla normativa vigente, sarebbe necessario provvedere a degli interventi di zonizzazione delle sorgenti, in modo da delimitare delle aree di rispetto a cui vietare l'accesso agli utenti.

Per cominciare a capire l'entità del problema, nel corso di questa annualità i ricercatori delle divisioni TECS e USER afferenti al Dipartimento SSPT dell'ENEA, hanno valutato l'esposizione ai CM e CEM emessi da una reale stazione di ricarica veloce (EQC – 50 prodotta da Circutor), in grado di ricaricare con potenze pari a 22 kW in DC. E' stata messa a punto una procedura di misura per una valutazione completa delle emissioni magnetiche e elettromagnetiche. I dati misurati sono stati poi confrontati con i livelli stabiliti dalla normativa vigente, vale a dire la raccomandazione Europea 1999/519/CE [2], relativa alla limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz, che riprende i limiti stabiliti per la popolazione dalla linea guida del 1998 dell'International Commission of Non Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) [3], la Direttiva Europea 2013/35/UE [4], che tratta gli aspetti della sicurezza dei lavoratori dai rischi derivanti dall'esposizioni ai CEM e la normativa italiana, rappresentata dal Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri (DPCM) dell' 8 luglio 2003 [5]. Questo confronto ha permesso di stabilire dei criteri per una eventuale zonizzazione della colonnina in esame.

2 Quadro normativo nazionale

La Legge del 22 febbraio 2001 n. 36 “Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici” [6], assicura la tutela della salute dei lavoratori e della popolazione dagli effetti dell'esposizione ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici (art. 1, comma 1, lett. a) di seguito denominati CEM.

I limiti di esposizione ai CEM (da 0 Hz a 300 GHz) per la protezione dei lavoratori sono fissati dalla direttiva europea 2013/35/UE [4] così come recepita dal decreto legislativo n.159 del 1 agosto 2016 [7].

I limiti di esposizione ai CEM per la protezione della popolazione sono fissati dai due decreti attuativi del presidente del consiglio dei ministri (DPCM) dell'8 luglio 2003, riferiti, rispettivamente, alle alte frequenze (100 kHz – 300 GHz) [8] e alle basse frequenze (0 Hz – 100 kHz) [5]. I DPCM recepiscono i limiti di esposizione indicati nella raccomandazione del Consiglio dell'Unione europea n. 519 del 12 luglio 1999 [2], ad eccezione dei limiti relativi alle emissioni di CEM generati, rispettivamente, da sorgenti riconducibili ai “sistemi fissi delle telecomunicazioni e radiotelevisivi” [8], e da sorgenti operanti alla frequenza di rete (50 Hz) e riconducibili al “funzionamento e all'esercizio degli elettrodomesti” [5]. Per tali categorie di sorgenti sono fissati anche limiti variabili in funzione della prevista durata dell'esposizione. Nello specifico, i due DPCM dell'8 luglio 2003 sono articolati così come riassunto di seguito.

DPCM 8 luglio 2003 per alte frequenze (100 kHz – 300 GHz) e i sistemi fissi delle telecomunicazioni e radiotelevisivi “Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz”[8]. Il DPCM stabilisce (articolo 1, comma 4) che “A tutela dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz, generati da sorgenti non riconducibili ai sistemi fissi delle telecomunicazioni e radiotelevisivi, si applica l'insieme completo delle restrizioni stabilite nella raccomandazione del Consiglio dell'Unione europea del 12 luglio 1999”. Per le emissioni di CEM generati da sorgenti riconducibili ai “sistemi fissi delle telecomunicazioni e radiotelevisivi”, il DPCM fissa limiti di esposizione (allegato B, tabella 1) stabiliti per i diversi intervalli dello spettro delle frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz (articolo 3, comma 1), nonché i valori di attenzione (allegato B, tabella 2) all'interno di edifici e loro pertinenze esterne adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, ai fini della prevenzione degli effetti a breve termine e dei possibili effetti a lungo termine nella popolazione (articolo 3, comma 2). Il DPCM fissa inoltre gli obiettivi di qualità (allegato B, tabella 3) per i valori di immissione dei campi calcolati o misurati all'aperto nelle aree intensamente frequentate, ai fini della progressiva minimizzazione della esposizione ai campi medesimi (articolo 4, comma 1).

DPCM 8 luglio 2003 per le basse frequenze (0 Hz – 100 kHz) e gli elettrodomesti “Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodomesti.”[5]. Il DPCM stabilisce (articolo 1, comma 3) che “A tutela delle esposizioni a campi a frequenze comprese tra 0 Hz e 100 kHz, generati da sorgenti non riconducibili agli elettrodomesti, si applica l'insieme completo delle restrizioni stabilite nella raccomandazione del Consiglio dell'Unione europea del 12 luglio 1999”. Per le emissioni di CEM generati da sorgenti operanti alla frequenza di rete (50 Hz) riconducibili al “funzionamento e all'esercizio degli elettrodomesti”, il DPCM fissa limiti di esposizione (articolo 3, comma 1) per il campo di induzione magnetica (100 μ T, da intendersi come valore efficace) e per il campo elettrico (5 kV/m, da intendersi come valore efficace), nonché i valori di attenzione (articolo 3, comma 2) per il campo di induzione magnetica (10 μ T, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio) a titolo di misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine, eventualmente connessi con l'esposizione ai campi magnetici nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere. Nella progettazione di nuovi elettrodomesti e nella progettazione dei nuovi insediamenti in prossimità di linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio, Il DPCM fissa inoltre l'obiettivo di qualità (articolo 4, comma 1) per il campo di induzione magnetica (3 μ T, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio), ai fini della progressiva minimizzazione della esposizione ai campi elettrici e magnetici generati dalle sorgenti suddette.

Con riferimento al quadro normativo sopra descritto, ai fini della valutazione delle emissioni di CEM generati dalla colonnina in esame, ci si riferirà prevalentemente alla raccomandazione del Consiglio dell'Unione europea 1999/519/CE del 12 luglio 1999, nella quale l'approccio alla valutazione dei rischi per la salute, connessi alle esposizioni ai CEM, si basa sul sistema dei limiti di base (riferiti a grandezze dosimetriche, cioè grandezze rappresentative dell'interazione del CEM con i tessuti biologici alle diverse frequenze) e dei livelli di riferimento (riferiti a grandezze radiometriche, cioè grandezze fisiche direttamente misurabili) [2]. I limiti di esposizione della raccomandazione europea 1999/519/CE recepiscono i limiti indicati nelle linee guida della International Commission on Non-Ionising Radiation Protection pubblicati nel 1998 (ICNIRP 1998) [3]. Tali limiti si basano sugli effetti biofisici scientificamente accertati, i quali sono associati alle esposizioni acute ai CEM, e non affrontano eventuali effetti associati alle esposizioni a lungo termine, per cui non si dispone attualmente di prove scientifiche conclusive in grado di stabilire una relazione causale.

Secondo questo approccio, in prima istanza è necessario confrontare le grandezze radiometriche, legate all'intensità del CEM imperturbato, con i rispettivi livelli di riferimento prescritti (o livelli di azione o valori di azione) dalla normativa. Se uno di questi livelli è superato, si rende necessaria una verifica del rispetto dei limiti di base che, come detto, coinvolgono le grandezze dosimetriche, cioè le grandezze fisiche indotte nel corpo del soggetto esposto e più direttamente connesse agli effetti sanitari che si intende prevenire. L'approccio descritto è stato adottato anche nella direttiva 2013/35/UE del parlamento europeo e del consiglio (con la distinzione che i limiti delle grandezze radiometriche sono denominati "livelli di azione" invece che "livelli di riferimento"). La direttiva 2013/35/UE [4] fissa livelli di azione più conservativi rispetto alla raccomandazione del Consiglio, per l'induzione magnetica di campi magnetici statici, al fine di prevenire i rischi di interferenza con i dispositivi impiantati attivi quali ad esempio gli stimolatori cardiaci. Quindi, per l'induzione magnetica di campi magnetici statici, è stato preso come limite di riferimento il livello di azione della direttiva 2013/35/UE (0.5 mT) perché più cautelativo rispetto al livello di riferimento della raccomandazione 1999/519/CE (40 mT).

Come indicazione di estrema cautela, è stato considerato anche l'obiettivo di qualità per il campo di induzione magnetica fissato dal DPCM 8 luglio 2003 (3 μ T a 50 Hz).

3 Descrizione delle attività svolte e risultati

3.1 Scenario di misura e strumentazione

3.1.1 Oggetto della caratterizzazione elettromagnetica

La colonnina di ricarica veloce (di seguito colonnina), sottoposta alla caratterizzazione delle emissioni elettromagnetiche, è il convertitore **Circutor** modello **RVE-QPC-MIX** codice **490099z**, di potenza nominale 77 kVA. La colonnina è equipaggiata con il sistema di ricarica rapida a standard CHAdeMO, con connettore di tipo 4 per la corrente continua (valori nominali: tensione massima 500 V DC e corrente massima 125 A).

Di seguito si riportano le specifiche del convertitore modello EQC-50 ENDESA Circutor estratte dal Report RdS/2013/135 "Realizzazione e sperimentazione di una stazione di ricarica rapida in c.c. nel C.R. Casaccia" e dalla targa identificativa dell'apparato [9].

Tabella 1 – Caratteristiche della colonnina di ricarica oggetto della caratterizzazione

Dati della colonnina di ricarica esaminata	
Costruttore	Circutor
Modello	RVE-QPC-MIX
Codice	490099z
S/N	1129-0001/13
INPUT	
Tensione d'ingresso nominale	400 V AC $\pm$ 15% 3P+ N
Corrente massima	120 A
Potenza d'ingresso nominale	77 kVA
Frequenza	50/60 Hz
Tensione d'ingresso rilevata	380 V AC $\pm$ 5%
Potenza apparente d'ingresso rilevata	37 kVA $\pm$ 7%
Frequenza di rete del Laboratorio	50 Hz
Corrente massima per fase	(56 $\pm$ 1) A
OUTPUT	
Massima corrente erogata *	125 A
Massima potenza erogata	N.D.
Tensione massima di carica *	500 V DC
SISTEMA DI RICARICA	
DC	Modo 4
connettore	JEVS G105
DISPOSITIVI OPZIONALI INSTALLATI	
Filtro armoniche	
DIMENSIONI	
Larghezza	65 cm
Profondità	68 cm
Altezza	192 cm

Sul lato frontale (di seguito, ai fini della presentazione dei risultati del presente rapporto, identificato come **lato A**), sono collocati (Figura 1):

- un display con la zona di attivazione o disattivazione wireless della carica tramite l'apposita card;
- i pulsanti START e STOP ed un pulsante di emergenza;
- l'alloggiamento a riposo dei connettori di ricarica;
- un avviso dedicato ai portatori di dispositivi impiantabili riportato in dettaglio in Figura 3.

Sul lato sinistro della colonnina (di seguito denominato **lato D**), è collocato un vano da cui si accede all'interruttore generale di alimentazione della colonnina (Figura 2). In alto a sinistra c'è la targa identificativa dell'apparato (Figura 4). Sul retro (**lato C**), sono presenti il pannello, da cui entra il cavo di alimentazione di rete ed in alto a sinistra l'uscita del cavo di ricarica. Il lato destro della colonnina è stato identificato come **lato B**.



Figura 1 – Vista frontale. Lato A



Figura 2 – Vista laterale. Lato D

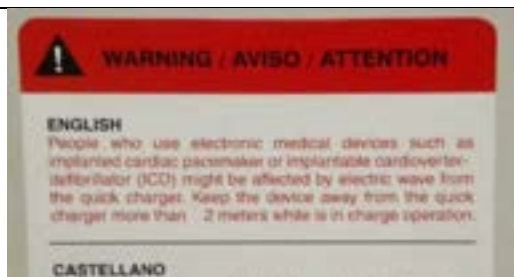


Figura 3 – Avviso riportato sul lato frontale



Figura 4 – Targa identificativa riportata sul lato D

La colonnina è corredata della sola sezione di ricarica in DC standard CHAdEMO, con connettore di tipo 4 ed è stata impiegata con una potenza d'alimentazione limitata a circa 42 kVA, per eseguire cicli di ricarica veloce del pacco batterie del veicolo elettrico commerciale Nissan Leaf, in dotazione al Dipartimento DTE dell'ENEA. Dal pannello

frontale, sembrerebbe predisposta anche per la sezione di ricarica in AC. Si sottolinea che tutte le indagini effettuate nel corso del presente lavoro, riguardano l'uso della sezione di ricarica in corrente continua della colonnina.

3.1.2 Allestimento

Per la campagna di misure della caratterizzazione elettromagnetica, la colonnina è stata collocata in un'area protetta della Hall B dell'edificio F65 del C.R. della Casaccia, distante da strutture che potessero perturbare le misure. In Figura 5 è mostrata una pianta della colonnina con l'identificazione assegnata ai suoi lati. Nelle foto riportate in Figura 6 e Figura 7 è mostrato lo scenario di misura durante le operazioni di ricarica.

La colonnina è stata alimentata da una presa trifase a 380 V, 50 Hz, 3P + N + PE da 63 A.¹

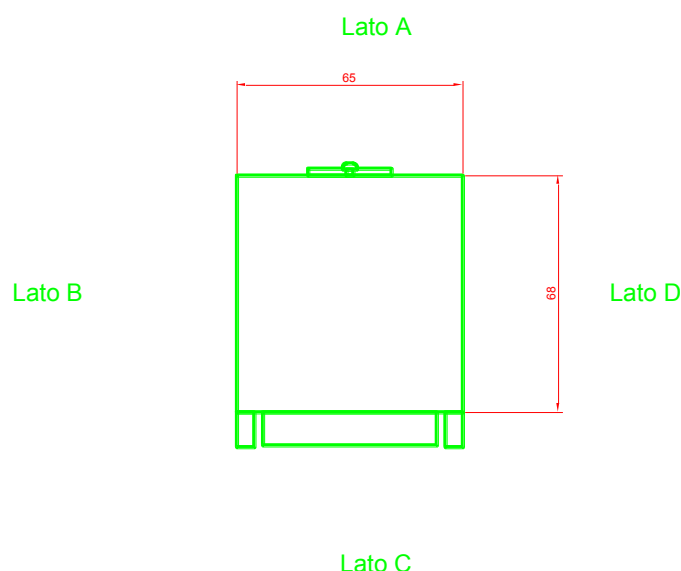


Figura 5 – Pianta della colonnina

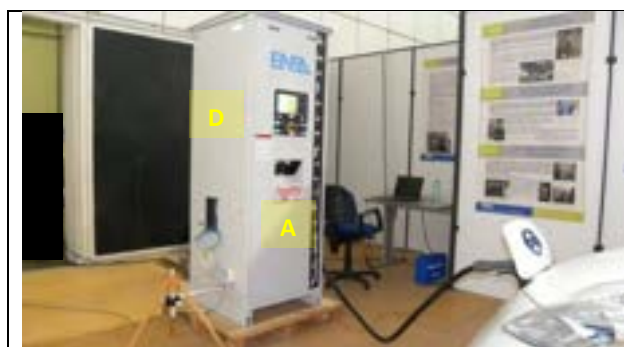


Figura 6 – Vista del setup di misura, lati D ed A, durante una ricarica



Figura 7 – Vista del setup di misura, lati B e C, durante una ricarica

3.1.3 Strumentazione di misura delle emissioni elettromagnetiche

La caratterizzazione delle emissioni elettromagnetiche è stata orientata ad individuare in particolar modo le emissioni d'induzione magnetica nell'intervallo di frequenze compreso fra 0 e 400 kHz. Congiuntamente, sono state rilevate anche misure di campo elettrico.

La misura delle emissioni d'induzione magnetica e di campo elettrico nell'intervallo di frequenze 1 Hz - 400 kHz è stata eseguita impiegando un misuratore selettivo PMM NARDA EHP-50G. Nelle Tabelle 2 e 3 si riportano le specifiche dello strumento utilizzato.

¹ Il valore della tensione fase-neutro nominale di 220 V è risultata al momento della verifica di 216 V, inferiore alla tolleranza nominale del 5%. Nelle considerazioni sulle potenze assorbite si impiegherà quindi il valore nominale di tensione con un'incertezza pari alla tolleranza tipica del 5%.

Tabella 2 – Specifiche PMM NARDA EHP-50G Misuratore di induzione magnetica

Sistema di misura a banda larga per induzione magnetica da 5Hz a 400 kHz 100 μT fondo scala	
Costruttore	PMM-NARDA
Misuratore modello	EHP-50G
Numero di serie	000WX50930
Intervallo di frequenza	1 Hz - 400 kHz
Intervallo di misure Portata Induzione magnetica	0-3 nT - 10 mT
Sovraccarico	20 mT
Dinamica	110 dB
Risoluzione	0.1nT
Incertezza di taratura	10%
Isotropia	± 1 dB
Linearità	± 0.2 dB
Risposta in frequenza	± 0.5 dB
Sensibilità in temperatura	± 0.5 dB
Errore assoluto	± 0.5 dB
Scarto in temperatura rispetto a 23°C al 50% UR	13×10^{-3} dB/°C da 23° C a 55 °C

L'incertezza combinata per misure di campo magnetico tra 1 Hz e 400 kHz e per valori superiori alla sensibilità dello strumento è pari a $\pm 9.78\%$. Considerando un fattore di copertura $k = 2$ (livello di confidenza pari al 95%), l'incertezza espansa è uguale a $\pm 19.6\%$.

Tabella 3 – Specifiche PMM NARDA EHP-50G Misuratore di campo elettrico

Sistema di misura a banda larga per induzione magnetica da 5Hz a 400 kHz 10 mT fondo scala	
Costruttore	PMM-NARDA
Misuratore modello	EHP-50G
Numero di serie	000WX50930
Intervallo di frequenza	1 Hz - 400 kHz
Intervallo di misure Portata Induzione magnetica	5 mV/m – 100 kV/m
Sovraccarico	200 kV/m
Dinamica	106 dB
Risoluzione	0.1 mV/m
Incertezza di taratura @50 Hz	$\pm 10\%$
Isotropia	± 1 dB
Risposta in frequenza (Piattezza 40 Hz – 100kHz)	± 0.5 dB
Sensibilità in temperatura	± 0.5 dB
Errore assoluto	± 0.5 dB
Scarto in temperatura rispetto a 23°C al 50% UR	-4×10^{-3} dB/°C da -20° C a 55 °C

L'incertezza combinata per misure di campo elettrico tra 1 Hz e 400 kHz e per valori superiori alla sensibilità dello strumento è pari a $\pm 9.78\%$. Considerando un fattore di copertura $k = 2$ (livello di confidenza pari al 95%), l'incertezza espansa è uguale a $\pm 19.6\%$.

Per la valutazione del campo di induzione magnetica statico si è utilizzato un sensore isotropo ad effetto Hall (METROLab THM1176). Questo sensore ha una dinamica da pochi microtesla fino a 3 T, con 4 possibili fondo-scala da impostare (100 mT, 300 mT, 1 T, 3 T). La sua banda passante è 0 – 1 kHz, e da specifiche ha una incertezza della misura pari a $\pm 2\%$, considerando un fattore di copertura $k = 2$ (livello di confidenza pari al 95%).

3.1.4 Strumentazione di misura della corrente assorbita dalla rete

Durante le misure di emissione si sono eseguite, in contemporanea, misure di corrente assorbita su una singola fase. La strumentazione utilizzata è la seguente:

- DMM Agilent 34401 usato nella portata AC V con 1 V fondo scala: incertezza della misura pari a $\pm 0.25\%$, considerando un fattore di copertura $k = 2$ (livello di confidenza pari al 95%)
- Pinza di corrente ISO-TEC ICA32N, incertezza specificata $\pm (2\% + 2 \text{ A})$
- Software di acquisizione.



Figura 8 – Misura della corrente di alimentazione (fase R)

Preliminarmente, si è eseguita una misura di corrente durante un intero ciclo di ricarica, con la pinza di corrente, ad effetto Hall, agganciata sul conduttore della fase R (Figura 8). Partendo da una condizione di batterie del veicolo quasi completamente scariche, (carica residua delle batterie a circa il 10%, ricavata dall'indicatore presente sul cruscotto dell'auto), si è verificato che esiste una fase iniziale di ricarica in cui l'assorbimento di corrente dalla rete elettrica è massimo e pressoché costante, (per questo viene denominata fase a corrente costante). In questa fase il picco massimo di corrente misurato è risultato di 56 ± 3 A, con un assorbimento effettivo di potenza apparente di circa 37 kVA.

Ulteriori acquisizioni hanno evidenziato che le durate dei cicli di ricarica erano sensibilmente variabili e dipendenti dalle condizioni di carica residua del pacco batterie del veicolo elettrico. Nelle due figure seguenti (Figura 9 e Figura 10) sono mostrate due acquisizioni distinte della corrente assorbita dalla rete sulla fase R.

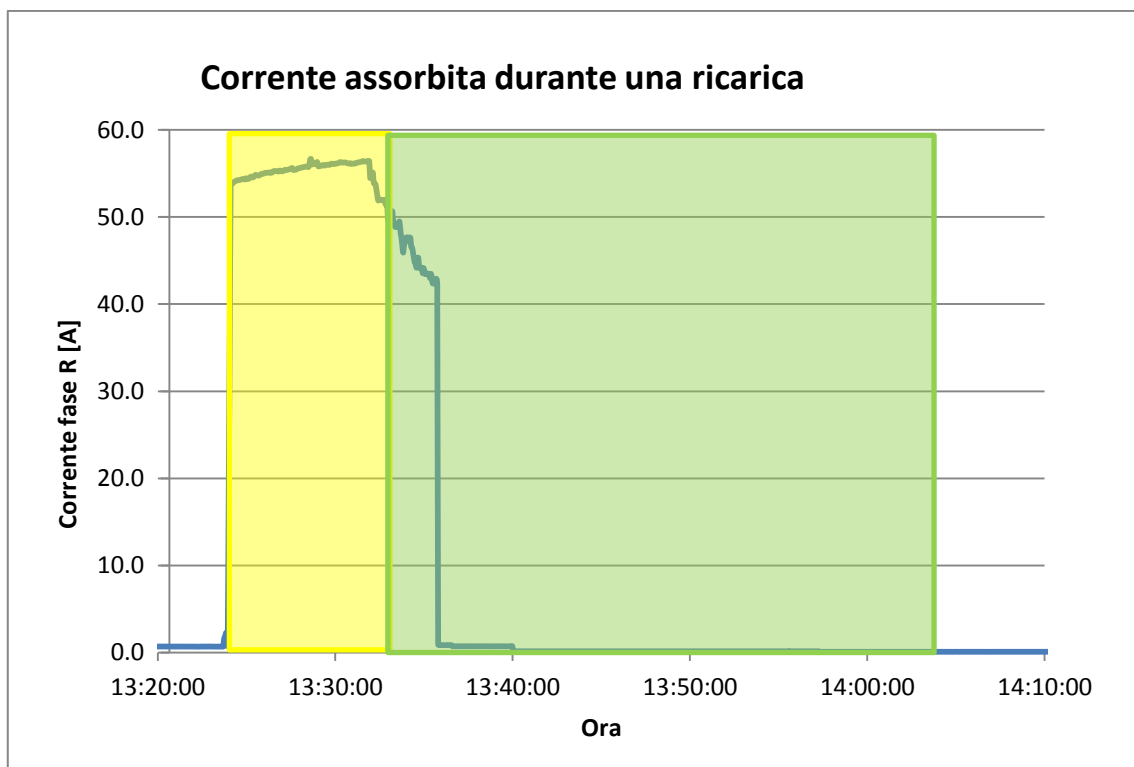


Figura 9 – Ciclo di ricarica. In giallo la fase “ a corrente costante” della durata di circa 13 minuti

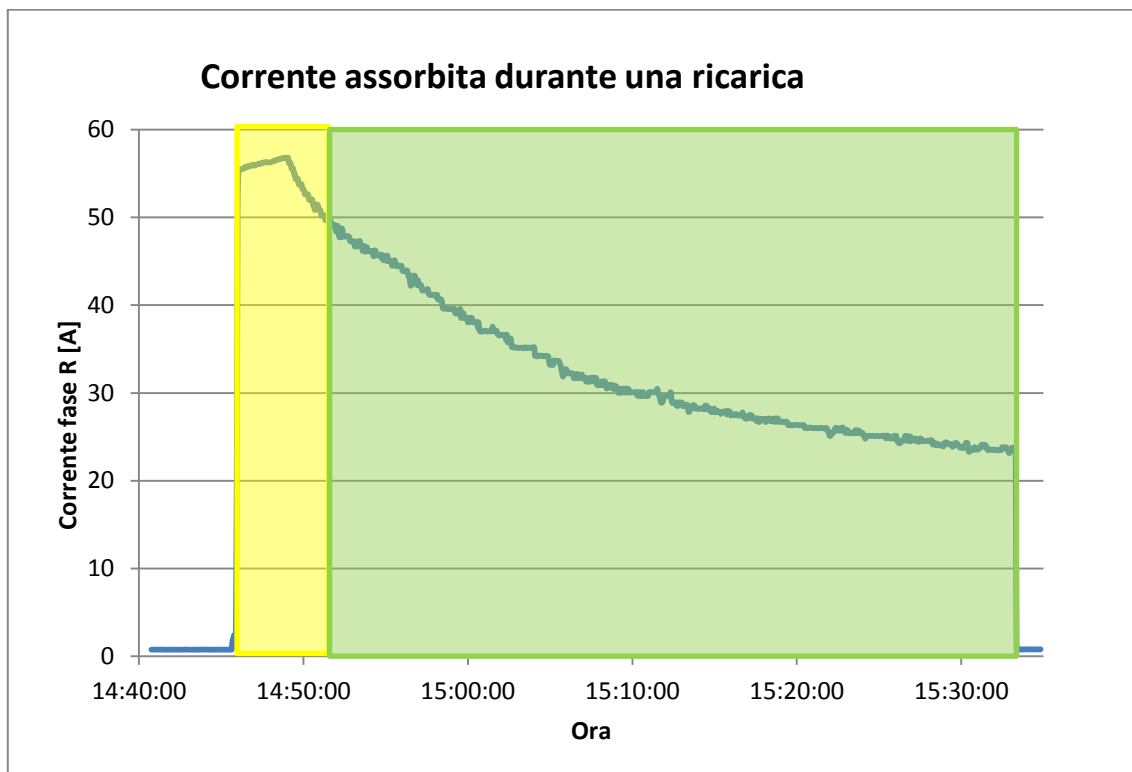


Figura 10 – Ciclo di ricarica. In giallo la fase “a corrente costante” della durata di circa 6 minuti

Queste misure sono state utili alla identificazione dello scenario di esposizione peggiore. Tutte le misure ambientali sono state eseguite durante la fase a corrente costante, stabilendo che la condizione di carica a corrente costante fosse valida fino a quando la corrente di fase fosse risultata superiore a 50 A. La durata della fase a corrente costante riscontrata, è stata monitorata durante tutte le sessioni sperimentali, misurando sempre la corrente d'alimentazione della fase R per ovviare alla variabilità riscontrata in questa fase. Questo modo di operare ha richiesto l'esecuzione delle misure ambientali a partire da una condizione di scarica profonda del pacco batterie, ed ha reso necessario, per ogni sessione di misura, la scarica completa delle batterie del veicolo elettrico.

3.2 Misura dei livelli di fondo

Prima di procedere alle misure di caratterizzazione della colonnina, si è verificato che nel sito di misura non fossero presenti sorgenti di induzione magnetica e di campo elettrico, nella banda 1 Hz - 400 kHz, tali da inficiare le successive misure di CEM sulla colonnina in modalità operativa.

A tal fine, si è ritenuto accettabile un livello di fondo di almeno 20 dB (10 volte, in valore assoluto) inferiore ai livelli minimi di riferimento previsti nella raccomandazione del consiglio 1999/519/CE nella banda in uso. Considerato che, per il campo di induzione magnetica, il livello di riferimento più basso nell'intervallo di frequenza specificato è di 2.3 μ T, si è ritenuto accettabile un fondo inferiore a 0.23 μ T.

Per il campo elettrico, il livello di riferimento più basso nell'intervallo di frequenza specificato è di 87 V/m, pertanto si è ritenuto accettabile un livello misurato inferiore a 8.7 V/m.

3.2.1 Procedura di misura

Per le verifiche del rumore di fondo si sono effettuate misure di induzione magnetica e di campo elettrico nella banda 1 Hz – 400 kHz sui 4 lati della colonnina spenta. Il sensore NARDA PMM EHP-50G è stato impostato con SPAN pari a 500 Hz e successivamente a 100 kHz e 400 kHz, in modo tale da considerare tutta la banda di misura e avere una risoluzione ottimale per le componenti in bassa frequenza. I punti di misura sono stati definiti, arbitrariamente, di fronte ad ognuno dei quattro lati della colonnina, ad un'altezza di 100 cm da terra, in una posizione corrispondente al centro del lato in esame e ad una distanza di 25 cm da esso (Figura 11).

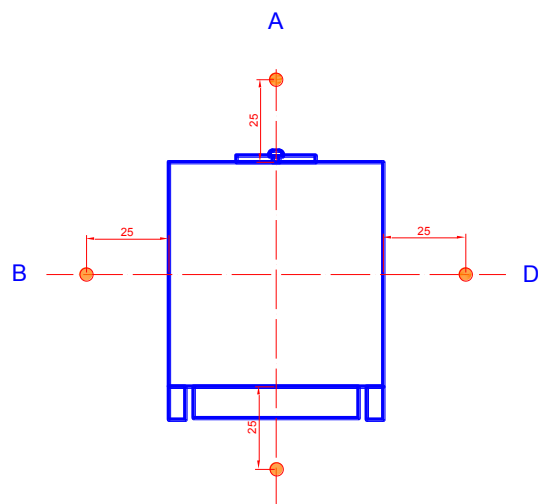


Figura 11 – Planimetria con indicati i punti di misura sui quattro lati A,..., C

3.2.2 Risultati della misura di fondo sul lato A

Di seguito (Figura 12 – Figura 17) si riportano i grafici con gli spettri delle emissioni rilevate.



Figura 12 – Induzione magnetica B, SPAN 500 Hz



Figura 13 – Campo elettrico SPAN 500 Hz

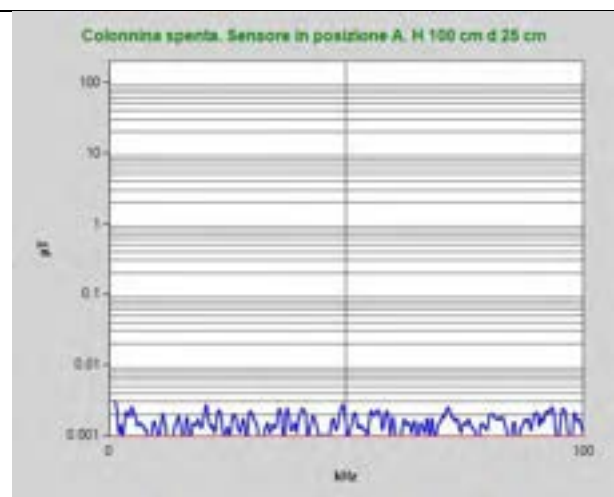


Figura 14 – Induzione magnetica B, 100 kHz

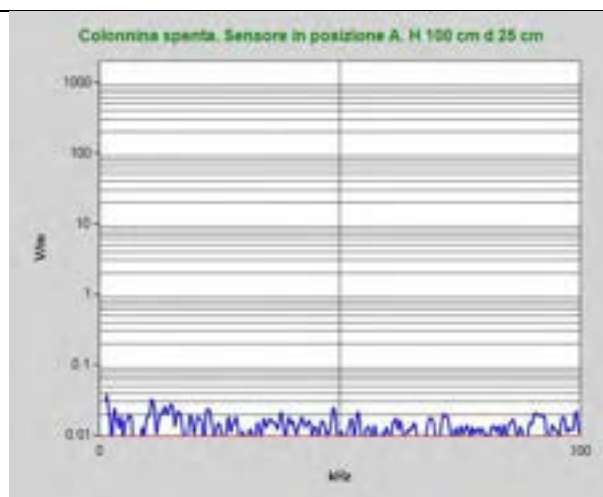


Figura 15 – Campo elettrico SPAN 100 kHz

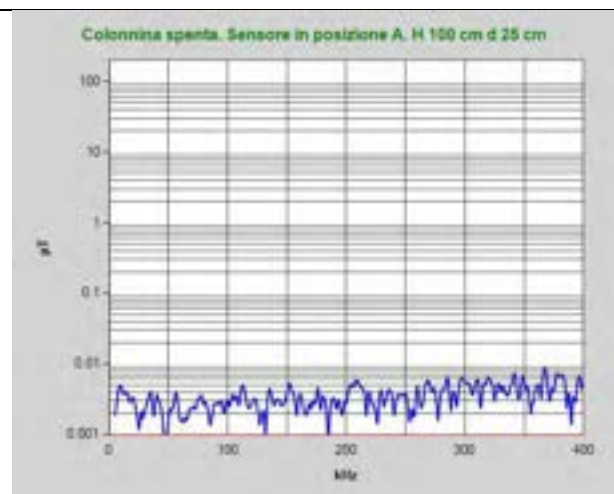


Figura 16 – Induzione magnetica B, 400 kHz

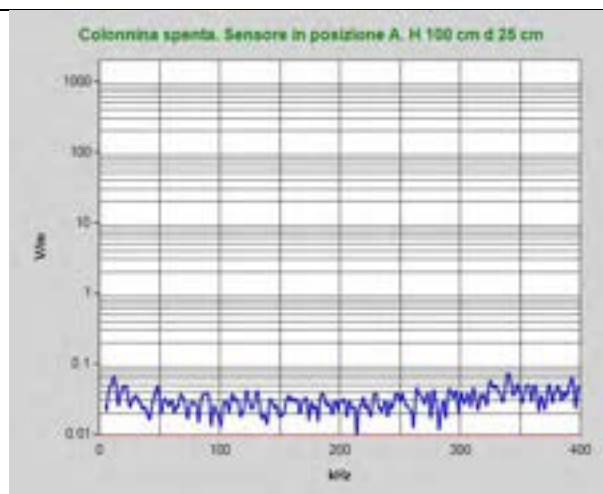


Figura 17 – Campo elettrico SPAN 100 kHz

3.2.3 Risultati della misura di fondo sul lato B

Di seguito (Figura 18 – Figura 23) si riportano i grafici con gli spettri delle emissioni rilevate.

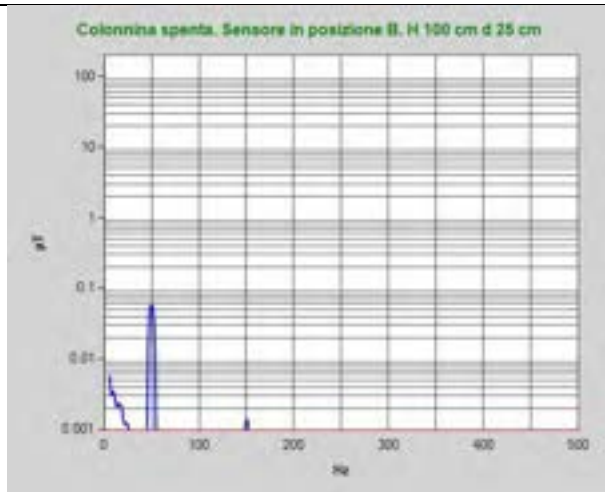


Figura 18 – Induzione magnetica B, SPAN 500 Hz

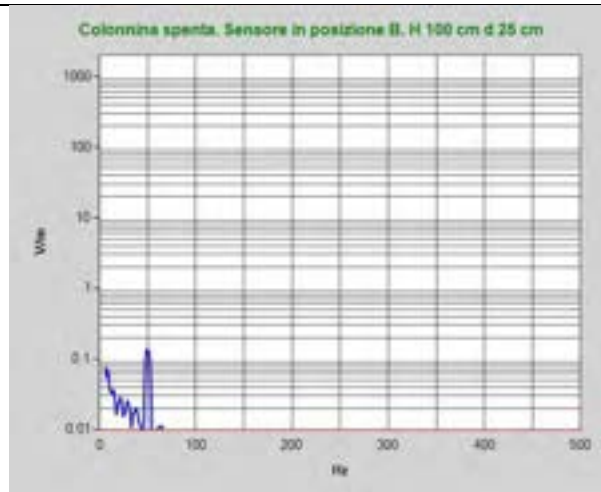


Figura 19 – Campo elettrico SPAN 500 Hz

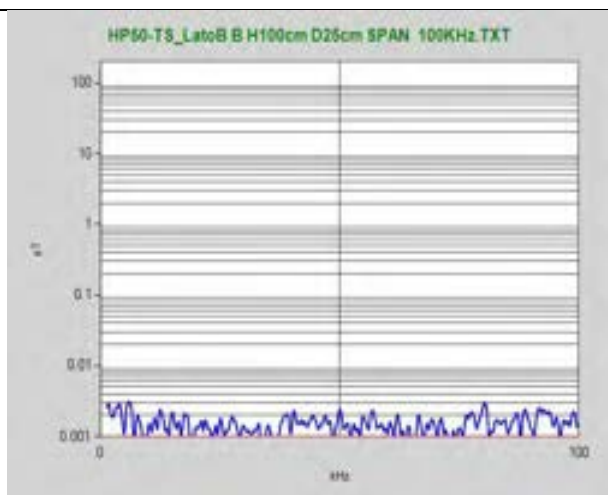


Figura 20 – Induzione magnetica B, 100 kHz

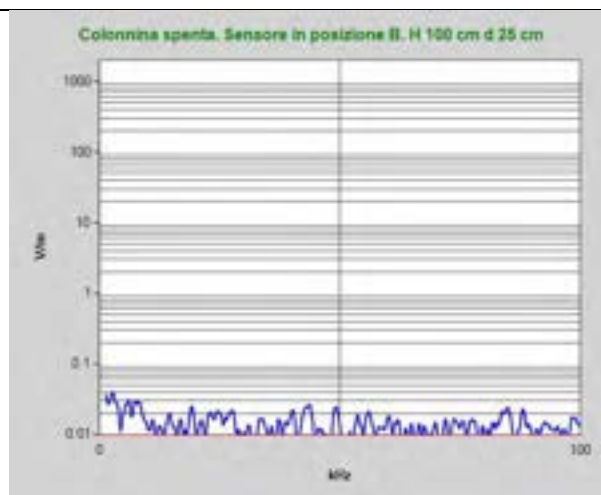


Figura 21 – Campo elettrico SPAN 100 kHz

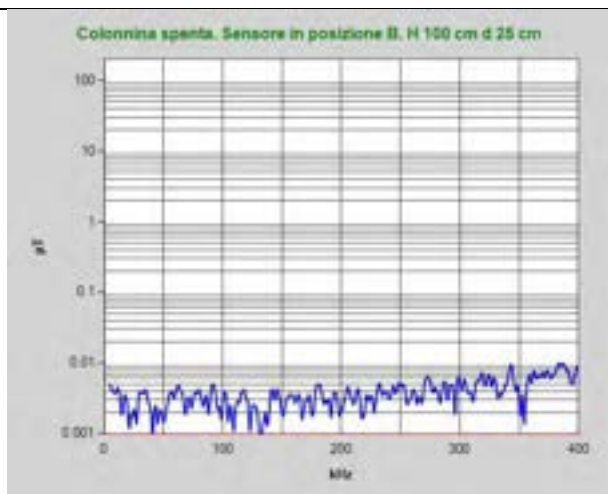


Figura 22 – Induzione magnetica B, 400 kHz

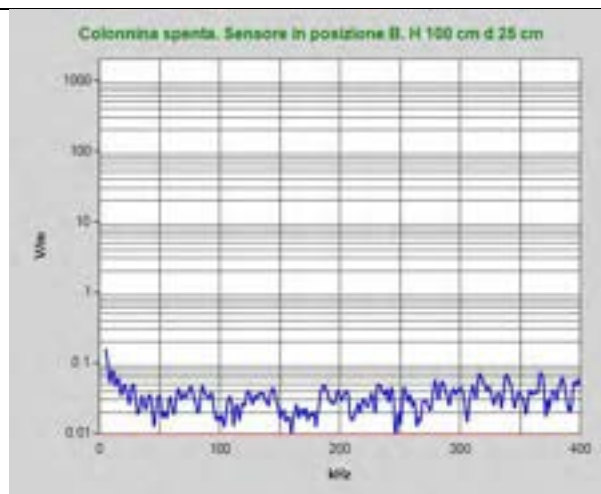


Figura 23 – Campo elettrico SPAN 100 kHz

3.2.4 Risultati della misura di fondo sul lato C

Di seguito (Figura 24– Figura 29) si riportano i grafici con gli spettri delle emissioni rilevate.

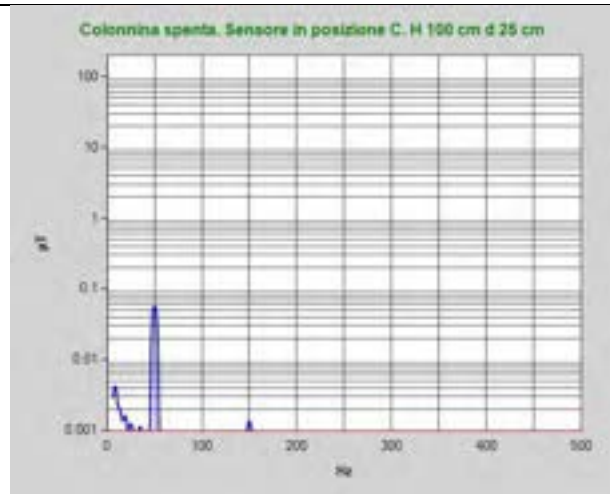


Figura 24 – Induzione magnetica B, SPAN 500 Hz

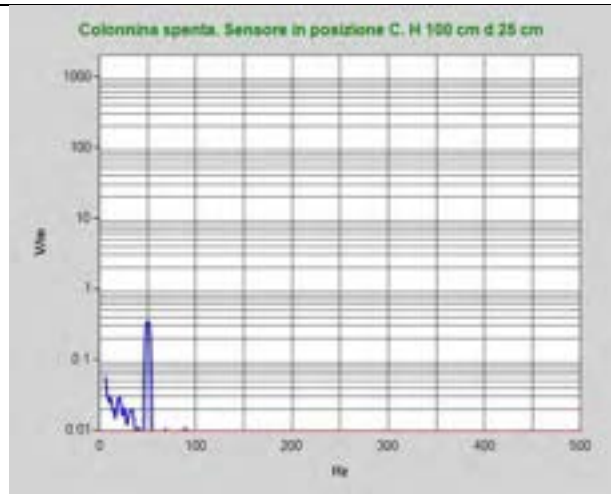


Figura 25 – Campo elettrico SPAN 500 Hz

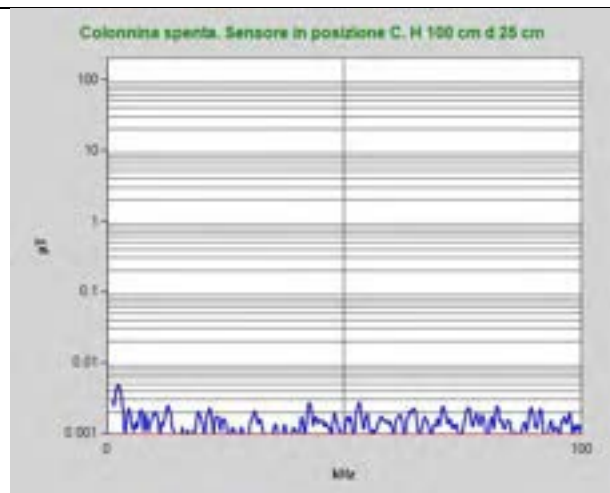


Figura 26 – Induzione magnetica B, 100 kHz

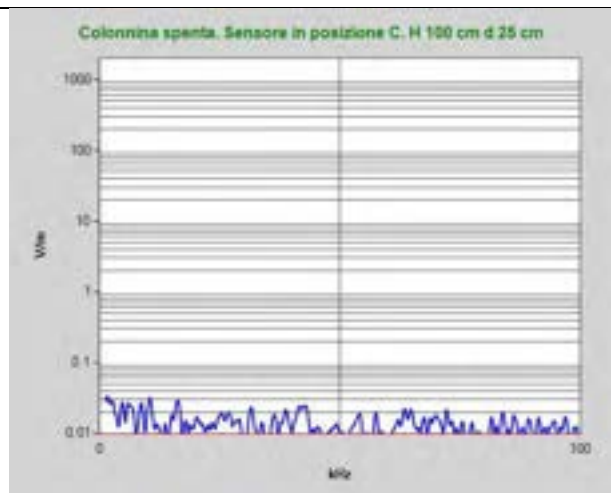


Figura 27 – Campo elettrico SPAN 100 kHz

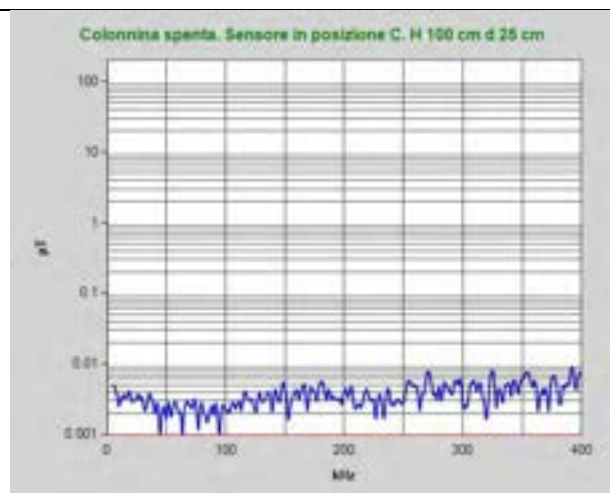


Figura 28 – Induzione magnetica B, 400 kHz

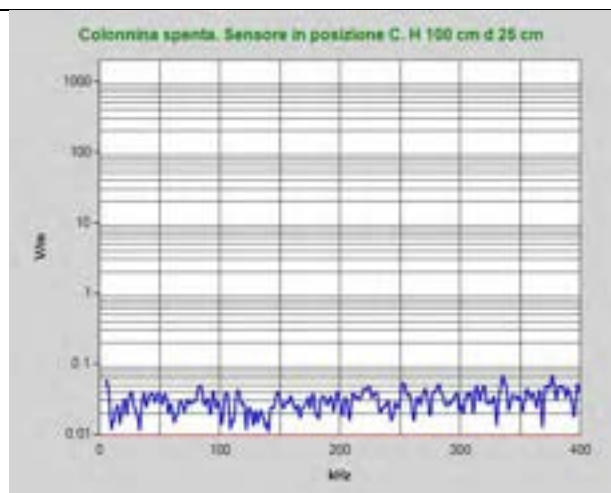


Figura 29 – Campo elettrico SPAN 100 kHz

3.2.5 Risultati della misura di fondo sul lato D

Di seguito (Figura 30– Figura 35) si riportano i grafici con gli spettri delle emissioni rilevate.

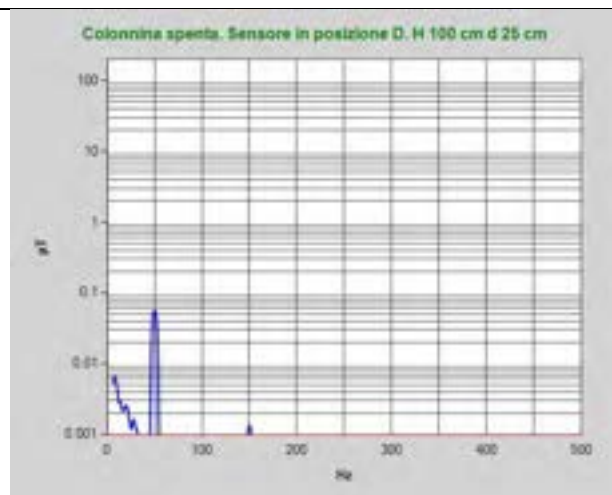


Figura 30 – Induzione magnetica B, SPAN 500 Hz

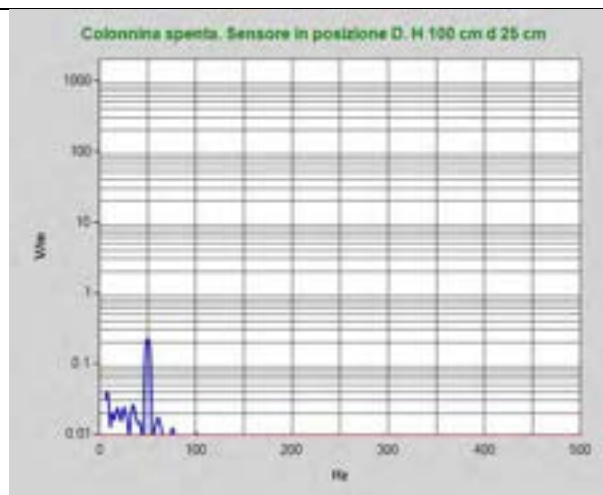


Figura 31 – Campo elettrico SPAN 500 Hz

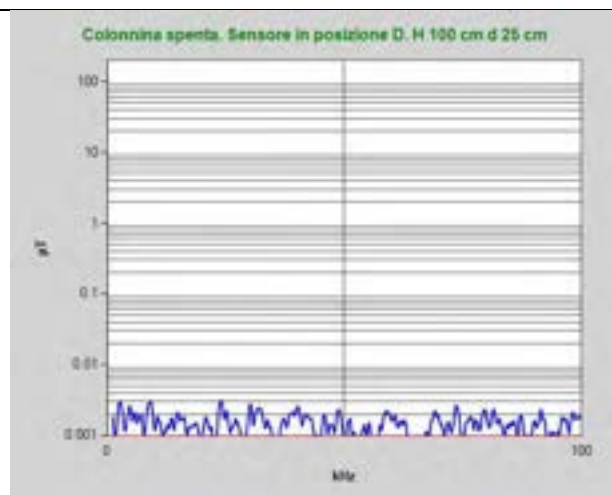


Figura 32 – Induzione magnetica B, 100 kHz

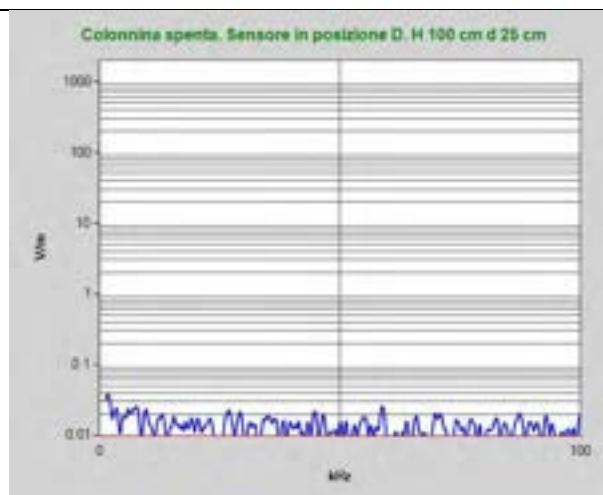


Figura 33 – Campo elettrico SPAN 100 kHz

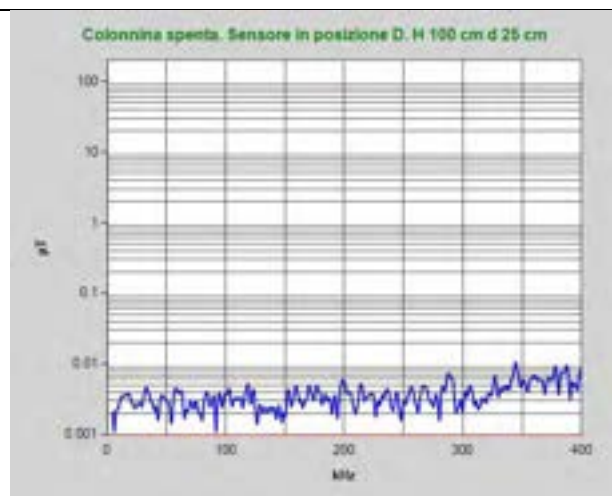


Figura 34 – Induzione magnetica B, 400 kHz

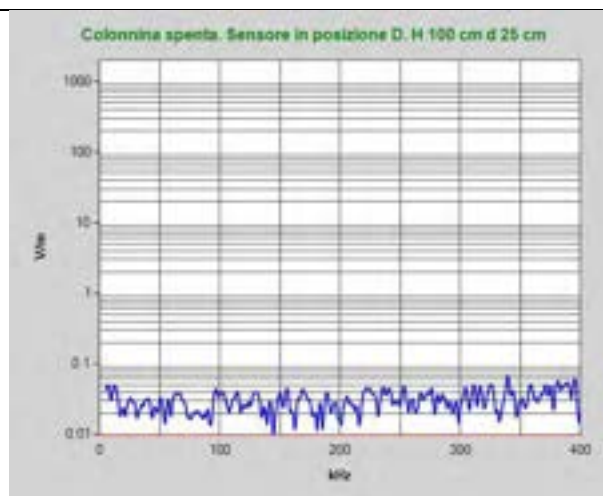


Figura 35 – Campo elettrico SPAN 100 kHz

I livelli di fondo riscontrati sono inferiori ai più bassi livelli ritenuti accettabili; pertanto il sito selezionato è stato considerato adeguato all'esecuzione di tutte le misure necessarie per la caratterizzazione elettromagnetica della colonnina in esame.

3.3 Mappatura dell'emissione di induzione magnetica sui 4 lati

Per individuare la posizione della massima emissione di induzione magnetica, si è proceduto ad eseguire una mappatura sui quattro lati della colonnina di ricarica. I punti di misura, su ognuno dei quattro lati della colonnina, sono stati collocati su un reticolo rettangolare di punti distribuiti su 17 righe e 3 colonne. Le righe erano spaziate in elevazione di 10 cm, a partire da 20 cm da terra fino a 180 cm di altezza. Le colonne, denominate centro, sinistra e destra, erano collocate rispettivamente sull'asse verticale del lato della colonnina ed a 10 cm dagli spigoli del lato in esame (Figura 36, Figura 37).

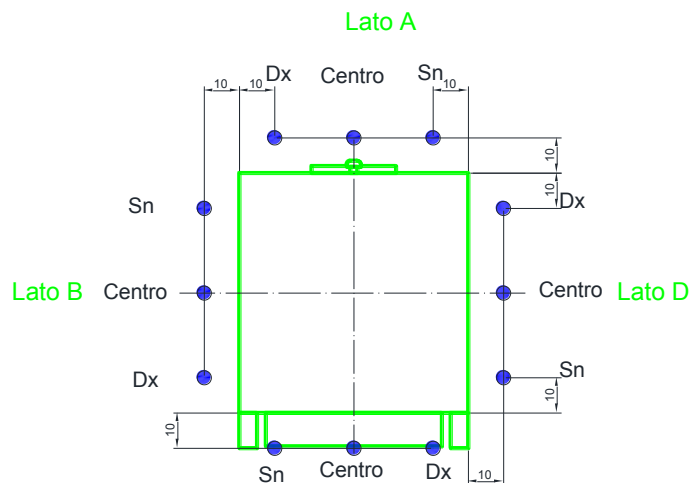


Figura 36 – Pianta delle colonne di punti di misura impiegati nella mappatura

3.3.1 Procedura di misura

In ogni punto di misura, il centro del sensore di induzione magnetica NARDA PMM EHP-50G è stato posizionato a circa 10 cm dalla superficie della colonnina, utilizzando uno spessore di polistirene espanso che ha mantenuto il sensore ad una distanza costante dal lato in esame, durante tutte le sessioni di misura. L'asse X del riferimento del sensore è stato mantenuto sempre in posizione perpendicolare alla superficie in esame e l'asse Y parallelo al pavimento.

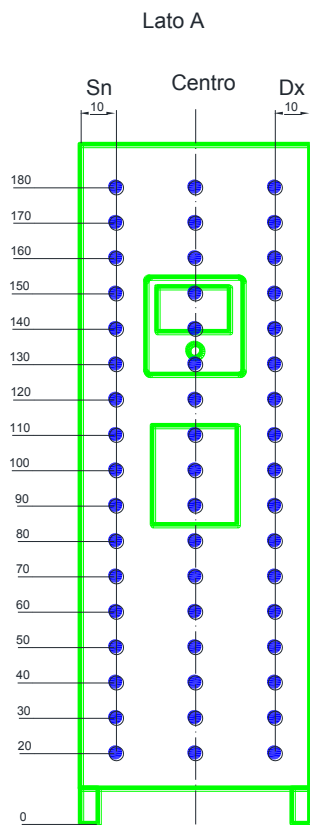


Figura 37 – Prospetto del lato frontale con indicazione dei punti di mappatura

Il sensore NARDA PMM EHP-50G è stato impostato in modalità di misura spettrale con i seguenti parametri:

- Span 500 Hz (intervallo di frequenze da 6 Hz a 500 Hz).
- Mode: Highest
- Range 100 μ T

Su ogni punto, si è proceduto ad acquisire il livello di induzione magnetica corrispondente alla riga spettrale a 50 Hz. Per la scansione dei punti si è proceduto per riga.

Le misure sono state eseguite durante i cicli di ricarica a corrente costante: la durata di questi cicli permetteva di effettuare solo poco più della metà dei 51 punti di misura sul singolo lato, per questo motivo le misure sullo stesso lato sono state ripetute due volte, durante un intero ciclo di ricarica completa, una prima volta procedendo dal basso verso l'alto e la seconda volta dall'alto verso il basso. In questo modo, ci si è assicurati che ogni punto di misura fosse acquisito durante la fase di ricarica a corrente costante.

A ricarica terminata, si è inoltre proceduto a registrare, per ogni lato, i livelli di induzione magnetica con la colonnina accesa ed in modalità standby.

Nelle tabelle di seguito riportate (Tabelle 4 – 7), i risultati della mappatura si riferiscono ai valori massimi delle due scansioni, eseguite (dall'alto verso il basso e dal basso verso l'alto), in questo modo tutti i punti corrispondono a misure eseguite nella fase di ricarica a corrente costante. Per ogni lato sono riportati anche i risultati delle misure eseguite con la colonnina in standby.

3.3.2 Risultati della mappatura lato A

Tabella 4 - Mappatura dell'induzione magnetica B a 50 Hz. Lato A distanza: 10 cm dalla colonnina.

Lato A in Ricarica				Lato A in standby			
h	Sn	Centro	Dx	h	Sn	Centro	Dx
cm	μT			cm	μT		
180	2.9	3.5	2.9	180	0.1	0.1	0.2
170	2.1	2.5	2.2	170	0.1	0.1	0.2
160	1.7	2.0	1.9	160	0.2	0.2	0.2
150	1.5	1.6	1.8	150	0.2	0.2	0.3
140	1.5	1.5	1.8	140	0.3	0.3	0.5
130	1.6	1.5	1.9	130	0.3	0.4	0.6
120	1.8	1.6	2.0	120	0.4	0.5	0.7
110	2.1	1.6	2.2	110	0.4	0.5	0.8
100	2.4	1.7	2.4	100	0.4	0.5	0.7
90	2.8	1.9	2.7	90	0.4	0.4	0.7
80	3.4	2.4	3.2	80	0.3	0.3	0.5
70	4.4	3.3	3.8	70	0.3	0.3	0.4
60	5.8	5.1	4.7	60	0.3	0.3	0.3
50	7.0	7.2	5.2	50	0.2	0.2	0.2
40	6.8	6.1	6.3	40	0.2	0.2	0.2
30	11.3	7.6	8.9	30	0.2	0.2	0.2
20	12.2	7.7	7.9	20	0.1	0.1	0.3

3.3.3 Risultati della mappatura lato B

Tabella 5 – Mappatura dell'induzione magnetica B a 50 Hz. Lato B distanza: 10 cm dalla colonnina.

Lato B in Ricarica				Lato B in standby			
h	Sn	Centro	Dx	h	Sn	Centro	Dx
cm	μT			cm	μT		
180	3.0	3.7	2.6	180	0.2	0.2	0.2
170	2.4	2.3	1.9	170	0.3	0.4	0.3
160	2.2	2.0	1.6	160	0.4	0.6	0.5
150	2.2	2.1	1.6	150	0.7	1.1	0.8
140	2.7	3.0	2.3	140	1.2	2.2	1.3
130	3.2	4.5	3.3	130	2.1	4.2	2.0
120	3.7	6.5	4.6	120	2.9	5.9	2.7
110	3.9	6.3	6.1	110	2.9	5.3	2.6
100	4.2	6.7	6.2	100	2.6	4.9	2.3
90	4.3	6.6	4.9	90	2.3	4.4	1.5
80	4.4	5.6	4.3	80	1.8	2.9	1.0
70	4.5	5.0	4.3	70	1.1	1.5	0.8
60	4.9	5.4	4.7	60	0.8	0.8	0.5
50	5.2	5.6	4.8	50	0.6	0.5	0.3
40	5.5	6.5	5.5	40	0.4	0.3	0.3
30	6.4	8.8	7.1	30	0.3	0.2	0.2
20	6.5	8.9	7.2	20	0.2	0.2	0.2

3.3.4 Risultati della mappatura lato C

Tabella 6 – Mappatura dell'induzione magnetica B a 50 Hz. Lato C distanza: 10 cm dalla colonnina.

Lato C in Ricarica				Lato C in standby			
h	Sn	Centro	Dx	h	Sn	Centro	Dx
cm	μT			cm	μT		
180	2.6	3.2	3.0	180	0.1	0.1	0.1
170	2.9	2.9	2.6	170	0.1	0.1	0.1
160	2.8	2.6	2.3	160	0.2	0.1	0.1
150	2.4	2.2	2.0	150	0.2	0.2	0.1
140	2.5	2.3	2.1	140	0.2	0.2	0.1
130	4.4	3.8	3.8	130	0.4	0.3	0.2
120	4.6	4.3	4.3	120	0.4	0.3	0.3
110	5.4	5.5	5.2	110	0.4	0.3	0.3
100	5.6	6.0	5.3	100	0.4	0.3	0.3
90	4.5	5.3	4.0	90	0.4	0.3	0.3
80	3.9	4.5	3.6	80	0.3	0.3	0.3
70	3.6	4.3	2.6	70	0.3	0.2	0.2
60	3.9	4.9	3.3	60	0.2	0.2	0.2
50	3.6	3.9	2.8	50	0.2	0.2	0.2
40	3.1	3.1	3.0	40	0.1	0.1	0.1
30	3.5	4.3	4.1	30	0.1	0.1	0.2
20	4.4	9.8	5.4	20	0.1	0.2	0.2

3.3.5 Risultati della mappatura lato D

Tabella 7 – Mappatura dell'induzione magnetica B a 50 Hz. Lato D distanza: 10 cm dalla colonnina.

Lato D in Ricarica				Lato D in standby			
h	Sn	Centro	Dx	h	Sn	Centro	Dx
cm	μT			cm	μT		
180	2.6	3.4	2.6	180	0.1	0.1	0.2
170	2.1	1.9	1.8	170	0.1	0.1	0.1
160	2.0	1.6	1.5	160	0.1	0.1	0.1
150	2.0	1.6	1.5	150	0.1	0.2	0.2
140	2.3	2.0	1.7	140	0.1	0.2	0.2
130	2.9	2.5	1.9	130	0.2	0.2	0.3
120	3.7	3.2	2.1	120	0.2	0.3	0.3
110	5.2	4.1	2.4	110	0.2	0.5	0.4
100	6.0	5.0	2.9	100	0.2	0.8	0.5
90	5.1	4.7	3.5	90	0.3	0.8	0.5
80	4.4	4.5	4.9	80	0.3	0.6	0.4
70	4.3	4.8	7.4	70	0.2	0.5	0.4
60	5.3	6.6	10.3	60	0.2	0.3	0.3
50	6.1	8.4	13.5	50	0.2	0.2	0.2
40	6.7	13.4	21.0	40	0.2	0.1	0.1
30	7.2	23.1	41.9	30	0.1	0.1	0.2
20	7.0	18.5	28.9	20	0.1	0.1	0.2

Come si può vedere il massimo valore trovato per l'induttanza magnetica è pari a $41.9 \mu\text{T}$, sul punto che si trova sul lato D, in basso (30 cm da terra), a 10 cm dallo spigolo destro.

3.4 Misure spettrali

Al fine di verificare la composizione spettrale dell'induzione magnetica emessa, si è proceduto a registrare gli spettri dell'induzione magnetica sul punto di massima emissione, individuato con le misure di mappatura: lato D ad altezza di 30 cm da terra ed a 10 cm dallo spigolo destro. Per completezza sullo stesso punto è stato registrato anche il livello di campo elettrico.

3.4.1 Procedura di misura

Il sensore è stato disposto di fronte al punto di massimo, precedentemente individuato, alla distanza di 10 cm. È stata attivata una ricarica e verificato che ci si trovasse nella condizione di ricarica a corrente costante. Gli spettri di induzione magnetica e di campo elettrico sono stati ottenuti sull'intero intervallo di frequenza 1 Hz – 100 kHz, impostando lo SPAN a 100 Hz, 500 Hz, 2 kHz e 100 kHz.

3.4.2 Risultati della misura spettrale sul punto di massimo Lato D altezza 30 cm da terra

Nelle Figure 38– Figura 41 sono riportati gli spettri del campo di induzione magnetica per i 4 valori di SPAN considerati. Si può vedere come la componente massima sia quella a 50 Hz.

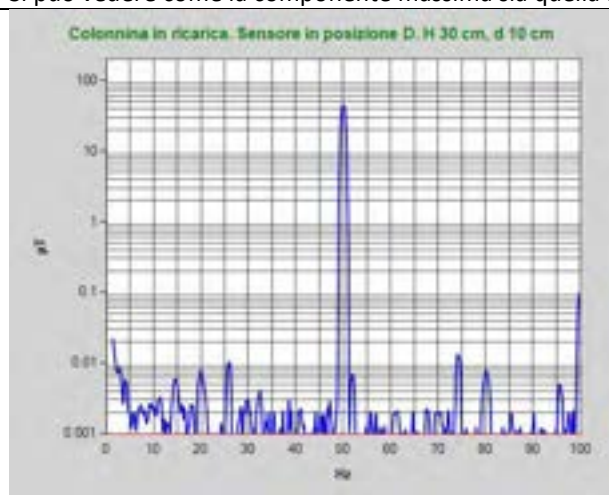


Figura 38 – Misura della componente spettrale a 50 Hz dell'induzione magnetica sul punto di massimo

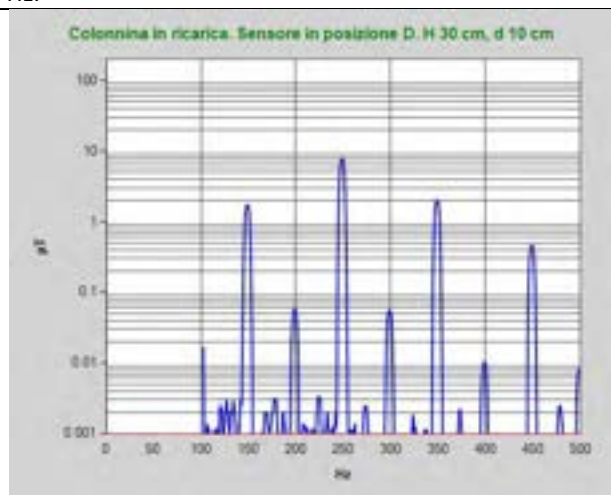


Figura 39 – Misura delle componenti spettrali tra 100 Hz e 500 Hz dell'induzione magnetica sul punto di massimo

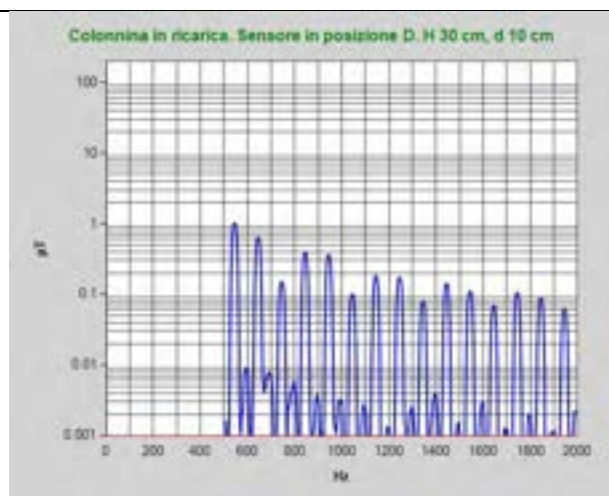


Figura 40 – Misura delle componenti spettrali tra 500 Hz e 2 kHz dell'induzione magnetica sul punto di massimo

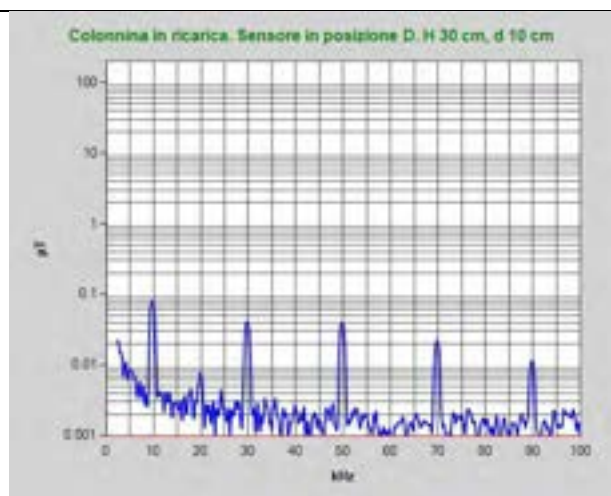


Figura 41 – Misura delle componenti spettrali tra 2 kHz e 100 kHz dell'induzione magnetica sul punto di massimo

Nelle Figure 42– Figura 45 sono riportati gli spettri del campo elettrico misurato sul punto di massimo per i 4 valori di SPAN considerati. Si può vedere come, anche in questo caso, la componente massima sia quella a 50 Hz.



Figura 42 – Misura della componente spettrale a 50 Hz del campo elettrico sul punto di massimo



Figura 43 – Misura delle componenti spettrali tra 100 Hz e 500 Hz del campo elettrico sul punto di massimo



Figura 44 – Misura delle componenti spettrali tra 500 Hz e 2 kHz del campo elettrico sul punto di massimo

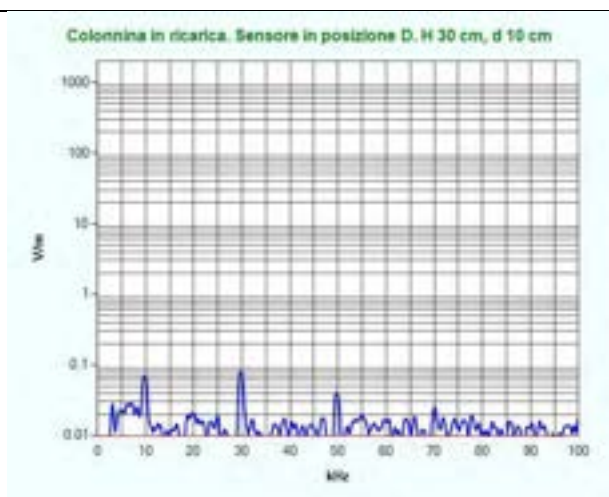


Figura 45 – Misura delle componenti spettrali tra 2 kHz e 100 kHz del campo elettrico sul punto di massimo

La componente predominante delle emissioni è stata trovata alla frequenza di 50 Hz. Pertanto si è deciso di procedere ad un approfondimento della situazione espositiva, valutando nei punti di massimo le isolinee a $3 \mu\text{T}$, mutuando il valore dall'obiettivo di qualità previsto per le emissioni riconducibili agli elettrodotti [5].

Inoltre, la presenza di componenti spettrali significative fino a 100 kHz ha suggerito di valutare la possibilità che effetti di esposizioni simultanee a frequenze diverse si sommino. Considerando che la valutazione riportata nell'allegato IV della raccomandazione 1999/519/CE, proposta per tenere conto di esposizioni simultanee a frequenze diverse è stata aggiornata dalle linee guida ICNIRP 2010 [10] che propongono una valutazione degli effetti di sorgenti multifrequenza tramite la valutazione del picco ponderato, sul punto di massima emissione è stata eseguita anche la valutazione della conformità con il metodo del picco ponderato [10] [11].

3.5 Curve isolinee a 3 μT

Le emissioni massime di induzione magnetica sono state sempre riscontrate alla frequenza di 50 Hz (vedi paragrafi precedenti), per questo motivo si è deciso di ricavare delle curve isolinee, con il fine di individuare una zona di rispetto, al di fuori della quale fosse garantito un livello di emissione inferiore a un valore di 3 μT , questo valore è mutuato dagli obiettivi di qualità del DPCM 8 luglio 2003 sulle emissioni di sorgenti riconducibili a elettrodotti operanti alla frequenza di rete (50 Hz).

Anche in questo caso, il monitoraggio della corrente durante la ricarica ha garantito che le misure di induzione magnetica fossero eseguite durante le fasi di ricarica a corrente costante, in modo da riprodurre lo scenario di esposizione peggiore.

3.5.1 Procedura di misura

Il sensore NARDA PMM EHP-50G è stato configurato in modalità spettro con i seguenti parametri:

- Span 500 Hz
- Mode: Highest
- Range 100 μT .

Le isolinee sono state ricavate alle quote di 30 cm e 20 cm, infatti, come è emerso dall'analisi dei risultati mostrati nei paragrafi precedenti, per queste quote si sono riscontrate le emissioni maggiori. In aggiunta è stata ricavata l'isolinea a 3 μT anche all'altezza di 110 cm, in conformità alle indicazioni della norma CEI 211-6 [12].

Prima di attivare un ciclo di ricarica, si è regolata l'altezza del cavalletto, su cui era vincolato il sensore, posizionandolo sul punto di massimo (lato D, altezza 30 cm, 10 cm dallo spigolo destro della colonnina). Avviata la ricarica, si è verificato che la lettura di campo di induzione magnetica fosse quella massima riscontrata durante la fase di mappatura, quindi si è allontanato il sensore, in una direzione perpendicolare alla superficie della colonnina, fino a quando la lettura della componente a 50 Hz diveniva pari a 3 μT . Infine, la distanza del centro del sensore dalla colonnina di ricarica veniva annotata. Questa procedura è stata ripetuta per ogni lato della stazione di ricarica, sui tre punti identificati precedentemente alla quota di 30 cm. Completati i 3 punti per ogni lato, sono stati aggiunti quattro punti di misura in corrispondenza degli spigoli della colonnina, i punti a 3 μT sono stati trovati allontanandosi lungo la direzione della diagonale della colonnina.

Tutta la procedura è stata ripetuta anche alla quota di 20 cm, in quanto durante le misure di mappatura del campo di induzione magnetica, si erano rilevati dei livelli prossimi a quelli riscontrati a 30 cm. Come riferimento, si è ripetuta la procedura anche alla quota di 110 cm.

3.5.2 Le isolinee a 3 μT

Nelle curve mostrate in Figura 46 ed in Figura 47 si riporta, in scala (il reticolo mostrato è di 10 x 10 cm^2), la pianta della colonnina con una curva che rappresenta il luogo dei punti nei quali l'induzione magnetica è uguale a 3 μT , a 30 cm e a 20 cm di altezza rispettivamente. La curva riportata in Figura 48, riferita alla quota di 110 cm, rappresenta il luogo dei punti in cui il campo di induzione magnetica è $\leq 3 \mu\text{T}$: in questo caso, in alcuni punti, il livello di induzione magnetica misurato era inferiore al valore di 3 μT , alla distanza minima di 10 cm dalla superficie della colonnina, pertanto la distanza annotata per la costruzione della curva è stata pari a 10 cm come tale da rispettare la condizione di $B \leq 3 \mu\text{T}$.

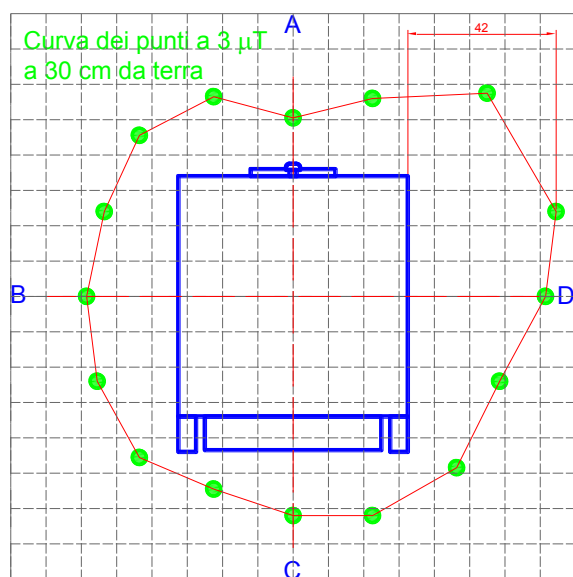


Figura 46 – Isolinea a $3 \mu T$ ricavata con il sensore disposto a 30 cm d'altezza. La distanza massima è di 42 cm

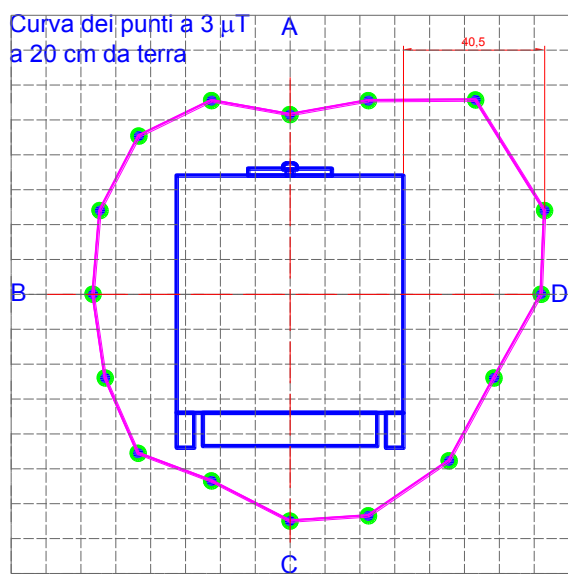


Figura 47 – Isolinea a $3 \mu T$ ricavata con il sensore disposto a 20 cm d'altezza. La distanza massima è di 40.5 cm

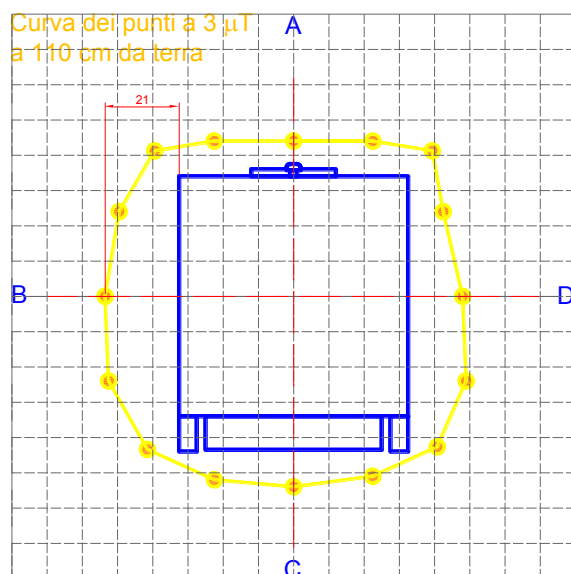


Figura 48 – Curva dei punti con emissioni $\leq 3 \mu\text{T}$ ricavata con il sensore disposto a 110 cm d'altezza. La distanza massima è di 21 cm

La colonnina, nelle condizioni in cui è stata provata, rispetterebbe gli obiettivi di qualità del DMPC 8 luglio 2003, riferiti alle sorgenti riconducibili a elettrodotti operanti alla frequenza di rete (50 Hz,) mantenendo una distanza minima di 42 cm dalle superfici laterali

3.6 *Caratterizzazione della variazione temporale di induzione magnetica sul punto di massima emissione durante un ciclo di ricarica*

3.6.1 Procedura

Sul punto di massima emissione di induzione magnetica individuato con la mappatura sui 4 lati, (lato D, ad un'altezza da terra 30 cm e ad una distanza dallo spigolo destro di 10 cm), si è registrato il livello di induzione magnetica, con acquisizione continua, durante un ciclo completo di ricarica. Congiuntamente è stata registrata l'intensità di corrente assorbita dalla colonnina su una delle fasi di alimentazione (fase R).

Il sensore NARDA PMM EHP-50G è stato programmato in modalità di acquisizione continua 'stand alone' con i seguenti parametri:

- Span 500 Hz
- Mode: Highest
- Range 100 μT
- Rate: 30 s.

3.6.2 Risultati

Nei grafici riportati in Figura 49 ed in

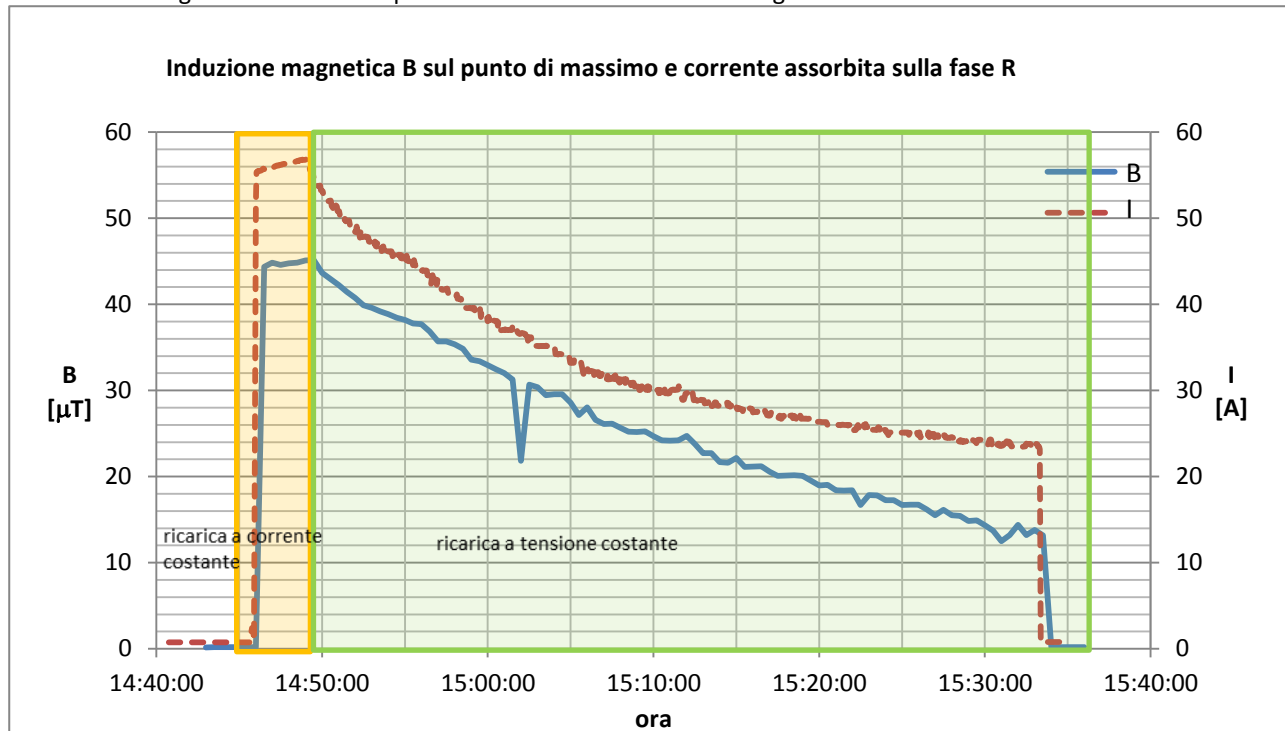


Figura 50, si riportano i valori di induzione magnetica e dei valori di corrente rilevati durante due distinti cicli completi di ricarica. Nel primo caso, l'acquisizione di corrente si è interrotta per un timeout proprio intrinseco della pinza di corrente utilizzata. Nel grafico è possibile comunque individuare la fase a corrente costante nei primi dieci minuti circa di ricarica e poi la fase a tensione costante nella quale la corrente assorbita decresce. Nel secondo ciclo le acquisizioni si sono protratte sino al completamento della ricarica.

L'induzione magnetica misurata e la corrente di fase mostrano un andamento proporzionale, il cui fattore è stato stimato in $0.81 \pm 0.06 \mu\text{T/A}$ nel corso della prima acquisizione e $0.82 \pm 0.04 \mu\text{T/A}$ nel corso della seconda. Adottando il caso peggiore per questo fattore, è possibile stimare il valore massimo di induzione magnetica, sullo stesso punto, con la colonnina alimentata a piena potenza con 115 A per fase. In queste condizioni, si ottiene un valore molto vicino a $100 \mu\text{T}$ a 50 Hz, pari al livello di riferimento dell'induzione magnetica fissato dalla raccomandazione del consiglio del 1999/519/CE [2].

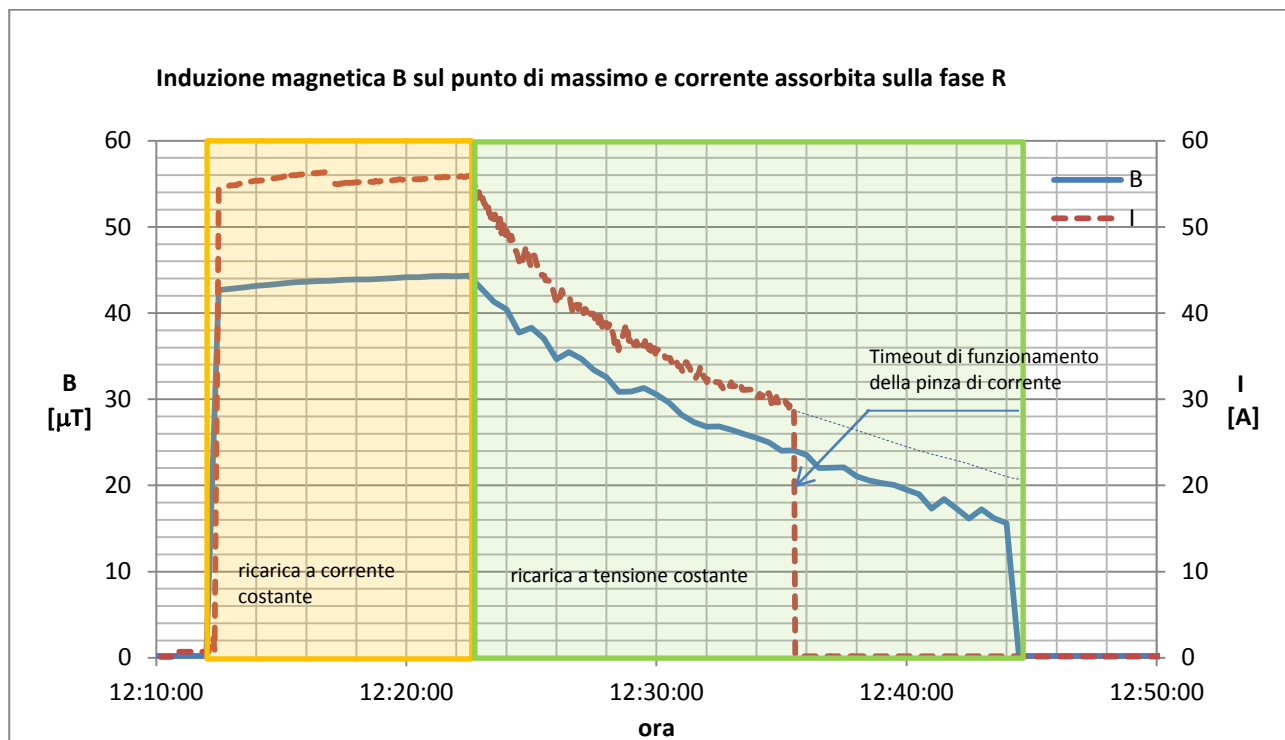


Figura 49 – Andamento dell'induzione magnetica B sul punto di massimo: lato D, h 30 cm, d 10 cm e corrente assorbita dalla rete su una delle 3 fasi durante un ciclo completo di ricarica.

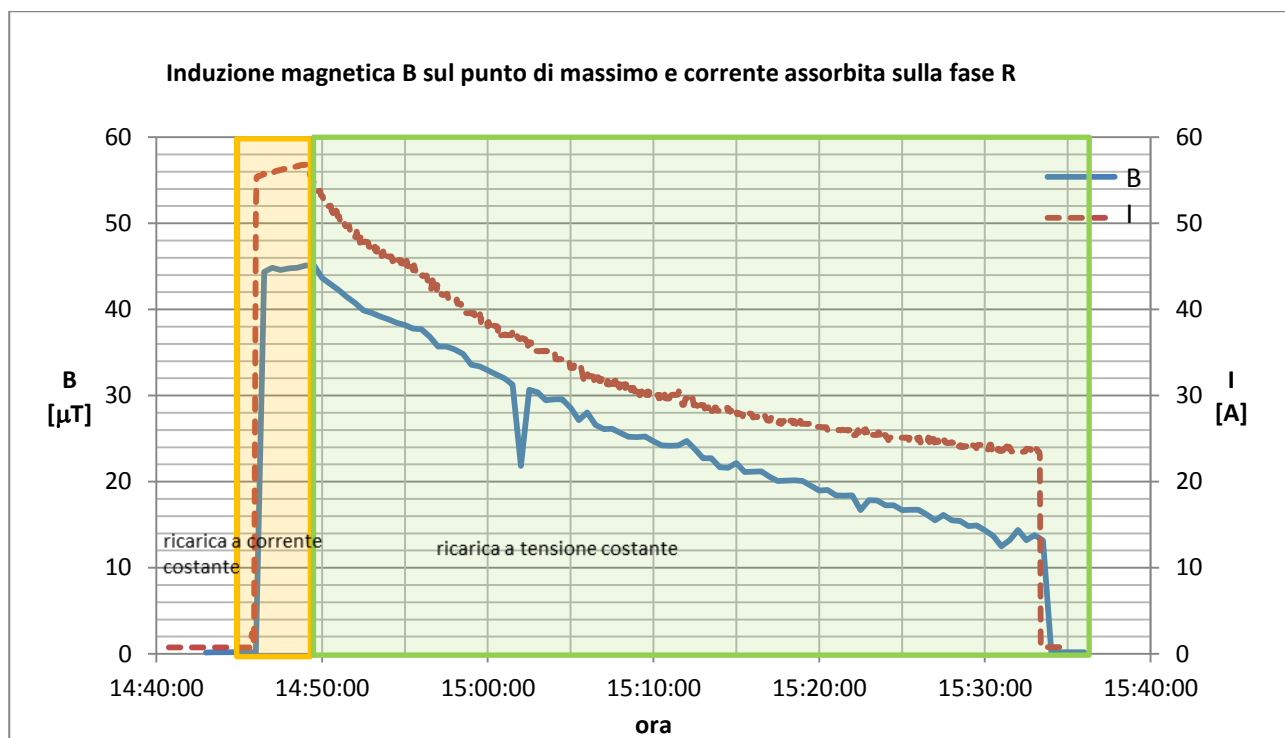


Figura 50 – Andamento dell'induzione magnetica B sul punto di massimo: lato D, h 30 cm, d 10 cm e corrente assorbita dalla rete su una delle 3 fasi durante un ciclo completo di ricarica.

3.7 Misura della conformità con il metodo del picco ponderato WP

3.7.1 Procedura

Il sensore NARDA PMM EHP-50G è stato impostato in modalità time domain che permette la determinazione automatica, da parte dello strumento, dell'indice di picco ponderato.

Il metodo del 'picco ponderato' (traduzione dall'inglese "weighted peak") viene utilizzato per la valutazione dell'esposizione umana a campi elettrici e magnetici con forma d'onda non sinusoidale. Il metodo è funzionale alla verifica delle normative per la protezione dagli effetti acuti non termici dei CEM, cioè dagli effetti di stimolazione dei tessuti elettricamente eccitabili, nell'intervallo di frequenze compreso tra 1 Hz e 100 kHz [11]. Questo metodo si applica sia alle esposizioni della popolazione, sia alle esposizioni occupazionali: nel caso di valutazione di conformità dell'esposizione per la popolazione, la norma di riferimento è la raccomandazione del Consiglio Europeo 1999/519/CE. Il metodo del picco ponderato conduce alla determinazione di un indice, il cui valore deve restare al di sotto dell'unità (o del 100%, se espresso in percentuale) per garantire il rispetto delle prescrizioni indicate.

Le altre impostazioni del sensore sono state:

- Range 100 μ T
- Time: 500 ms.
- Le prescrizioni impostate per l'induzione magnetica sono i livelli di riferimento definiti nelle linee guida ICNIRP 1998 [3], recepiti dalla raccomandazione del Consiglio Europeo 1999/519/CE [2]

3.7.2 Risultati

Il sensore è stato posizionato sul punto di massima emissione individuato nella fase di mappatura (lato D ad altezza di 30 cm da terra ed a 10 cm dallo spigolo destro), in questo punto l'indice elaborato dallo strumento era pari a 132%, indicando una non conformità dell'esposizione nel punto di misura. A 15 cm dalla superficie della colonnina l'indice misurato è stato pari all'80%.

3.8 Misura di campo statico sul connettore CHAdEMO e sul cavo DC

3.8.1 Procedura

Per la valutazione del campo di induzione magnetica statico si è utilizzato il sensore isotropo ad effetto Hall METROLab THM1176. Anche in questo caso, le misure sono state eseguite durante la fase di ricarica a corrente costante.

Prima di attivare il ciclo di ricarica, con la colonnina alimentata ed in standby, sono stati identificati i punti di misura sui quali sono stati rilevati i valori di fondo, posizionando il sensore di campo magnetico statico a contatto della superficie del punto in esame.

Quindi si è proceduto ad attivare un ciclo di ricarica, monitorando la corrente di alimentazione e sono stati misurati i valori di induzione magnetica sugli stessi punti nei quali precedentemente erano stati rilevati i valori di fondo.



Figura 51 – Misura di fondo del campo magnetico statico



Figura 52 – Punto di misura sul lato A nel vano connettore



Figura 53 – Punto di misura sul cavo DC a 3 m dall'uscita dal pannello



Figura 54 – Punto di misura sul connettore CHAdeMO (manipolo) a 3.5 m dall'uscita del pannello

3.8.2 Risultati

Nella tabella seguente si riportano i valori di induzione magnetica statica rilevati con la colonnina in standby e durante un ciclo completo di ricarica.

Descrizione delle posizione del sensore	Fondo [μT]	In Ricarica a corrente costante [μT]	Foto
Misura di fondo sensore sul pavimento	30	N.D.	Figura 51
Lato A h 100 cm, sensore nel vano connettore	325	90	Figura 52
Lato B h 100 cm,	325	90	N.D.
Lato C h 100 cm,	28	76	N.D.
Lato D h 100 cm,	32	35	N.D.
Lato C uscita cavo CHAdEMO	52	430	N.D.
Cavo DC a 1 m dal pannello d'uscita	43	450	N.D.
Cavo DC a 2 m dal pannello d'uscita	42	398	N.D.
Cavo DC a 3 m dal pannello d'uscita	38	483	Figura 53
Cavo DC a 3.5 m dal pannello d'uscita sul connettore CHdEMO (manipolo)	37	335	Figura 54

In due punti: approssimativamente al centro del pannello frontale del lato A e del lato B sono stati riscontrati livelli di campo statico superiori con la colonnina in standby, rispetto alle misure prese durante un ciclo di ricarica completa. Questi livelli sono dovuti alla circuiteria del computer di controllo e del display, che sono le sole parti alimentate durante lo stato di standby. Si può quindi desumere che durante il ciclo di ricarica, il campo risultante viene compensato dall'attivazione di altri circuiti.

4 Conclusioni

Le attività di ricerca svolte in modo congiunto dai gruppi di bioelettromagnetismo della Divisione Tecnologie e metodologie per la salvaguardia della salute (SSPT-TECS) e di campi elettromagnetici della Divisione Chiusura dei cicli (SSPT-USER) durante l'annualità 2016-2017, nell'ambito dell'Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA, hanno riguardato la messa a punto e l'applicazione di una procedura di misura per la caratterizzazione delle emissioni elettromagnetiche di una colonnina di ricarica nell'intervallo di frequenze dalla continua a 400 kHz.

Preliminarmente alle misure per la valutazione dell'esposizione si sono stabilite le condizioni di utilizzo della colonnina di ricarica, che fornissero lo scenario espositivo peggiore: le emissioni massime si hanno durante la fase iniziale di ricarica definita a corrente costante, questa fase è di durata variabile, pertanto le misure di emissione vanno sempre eseguite in contemporanea con le misure di corrente. Pertanto, questa condizione è stata monitorata durante tutte le sessioni sperimentali, misurando sempre la corrente d'alimentazione della fase R.

In una prima fase è stata effettuata una mappatura delle emissioni di induzione magnetica sulle superfici della colonnina; trovato il punto di massimo, successivamente, si sono individuate le curve isolinee a 3 μT per il campo di induzione magnetica alla frequenza di 50 Hz, alle quote di massima emissione (30 cm e 20 cm da terra) e la curva di valori ≤ 3 μT alla quota di 110 cm da terra. Il livello di 3 μT è l'obiettivo di qualità per le nuove installazione fissato dal DPCM 8 luglio 2003, che riguarda le emissioni di CEM generate dagli elettrodomestici operanti alla frequenza di rete (50 Hz). La colonnina, nelle condizioni in cui è stata provata, rispetterebbe tali obiettivi di qualità mantenendo una distanza minima di 42 cm dalle superfici laterali.

Successivamente, nel punto di massima emissione, sono state acquisiti gli spettri del campo di induzione magnetica e del campo elettrico emessi nello spettro di frequenze da 1 a 100 kHz, verificando che la componente spettrale predominante fosse quella a 50 Hz.

La misura congiunta della corrente assorbita e dell'induzione magnetica ha evidenziato che l'induzione magnetica misurata e la corrente di fase hanno un andamento proporzionale, il cui fattore è stato stimato in $0.81 \pm 0.06 \mu\text{T/A}$ nel corso della prima acquisizione e $0.82 \pm 0.04 \mu\text{T/A}$ nel corso della seconda. Pertanto, si può dedurre che se la colonnina fosse alimentata a piena potenza con 115 A per fase, si potrebbe ottenere per il campo di induzione magnetica un valore molto vicino a 100 μT a 50 Hz, pari al livello di riferimento dell'induzione magnetica fissato dalla raccomandazione del consiglio 1999/519/CE.

Nei punti di massimo è stata anche eseguita la verifica di conformità con il metodo del picco ponderato, adottando le limitazioni previste nella raccomandazione 1999/519/CE. Sul punto di massimo a 10 cm dalla superficie della colonnina, il picco ponderato, nelle condizioni operative adottate è risultato superiore al 100%. Quest'ultimo risultato

è piuttosto importante, in quanto, seppur nelle condizioni di misura a potenza ridotta adottate, ha evidenziato che un superamento delle prescrizioni previste dalla raccomandazione 1999/519/CE è possibile. L'indice scende al di sotto del 100% allontanando il sensore fino a 15 cm dalla superficie della colonnina. Va osservato che nella raccomandazione 1999/519/CE, che ha l'obiettivo di assicurare un elevato livello di protezione della salute dall'esposizione ai campi elettromagnetici, è specificato che il rispetto delle prescrizioni stabilite non evita necessariamente i problemi di interferenza o effetti sul funzionamento di dispositivi medici impiantati (attivi e passivi), i quali possono verificarsi per valori inferiori ai livelli di riferimento ed esigono, quindi, precauzioni adeguate che esulano dall'ambito di applicazione della raccomandazione, e sono contemplate nel contesto della normativa sulla compatibilità elettromagnetica e sui dispositivi medici (così come riportato dal comma 13 dei consideranda della raccomandazione).

Le misure di induzione magnetica di campi magnetici statici, eseguite durante la fase di ricarica a corrente costante, hanno mostrato livelli che, sebbene risultino inferiori ai livelli di riferimento, riportati nella raccomandazione del consiglio 1999/519/CE, che nella gamma 0-1 Hz sono di $4 \times 10^4 \mu\text{T}$, sono molto prossimi ai livelli di azione di 500 μT considerati come soglia di rischio di interferenza con dispositivi impiantati attivi, riportata nella tabella B4 della direttiva europea 2013/35/UE (e nella corrispondente tabella del D.Lgs. 1 agosto 2016 n.159 con il quale la direttiva europea è stata recepita). Visti i dati misurati, non è stato possibile effettuare una valutazione di zonizzazione, ma considerando che la colonnina è stata esaminata a potenza ridotta, è ipotizzabile un superamento di tale limite con un impiego della colonnina a piena potenza. Pertanto, è opportuno, in assenza di ulteriori dati a piena potenza, attenersi alle prescrizioni riportate nella targa apposta sul lato frontale della colonnina (Figura 3), destinate ai portatori di dispositivi impiantabili attivi.

In conclusione, si può affermare che nel caso delle colonnine di ricarica, la definizione di uno scenario peggiore di esposizione e la sua valutazione di conformità rispetto alla raccomandazione 1999/519/CE, integrata dalle indicazioni più conservative della direttiva 2013/35/UE per l'induzione magnetica da campi magnetici statici, e dagli obiettivi di qualità del DPCM 8.07.2003 per l'induzione magnetica a 50 Hz, sono procedure necessarie alla prevenzione da effetti che possono avere gravi ricadute sulla salute e sicurezza.

Il lavoro effettuato ha permesso di mettere a punto una procedura di misura finalizzata a caratterizzare, dal punto di vista delle emissioni elettromagnetiche, anche scenari espositivi futuri, più complessi e realistici, costituiti da un insieme di colonnine quick, fast ed ultrafast, presenti in numero elevato in aree limitate. Ulteriori misure andrebbero eseguite con un campione più ampio di colonnine, con diversi pacchi batterie e con una caratterizzazione più dettagliata della potenza assorbita dalla rete.

Andrebbero eseguite, inoltre, misure ambientali in stazioni di ricarica reali con numerose colonnine operanti a piena potenza simultaneamente.

5 Riferimenti bibliografici

1. Direttiva 2014/94/UE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 22 ottobre 2014, sulla realizzazione di un'infrastruttura per i combustibili alternativi, <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX%3A32014L0094>
2. raccomandazione del Consiglio dell'Unione europea 1999/519/CE del 12 luglio 1999, pubblicata nella G.U.C.E. n. 199 del 30 luglio 1999.
3. ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection), "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz)," Health Phys., vol. 74, (1998), pp. 494–522.
4. Direttiva 2013/35/UE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 26 giugno 2013, "sulle disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici)" (ventesima direttiva particolare ai sensi dell'articolo 16, paragrafo 1, della direttiva 89/391/CEE) e che abroga la direttiva 2004/40/CE"
5. DPCM 8 luglio 2003 "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodomesti", GU Serie Generale n.200 del 29-8-2003.
6. Legge 22 febbraio 2001 n. 36, "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici"
7. Decreto legislativo 1 agosto 2016, n. 159 "Attuazione della direttiva 2013/35/UE, sulle disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) e che abroga la direttiva 2004/40/CE"
8. DPCM 8 luglio 2003, "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz", GU Serie Generale n.199 del 28-8-2003.
9. http://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/elettromobilita/2012/rds-2013-135.pdf

