



# Esposizione ai campi elettromagnetici residui generati da un sistema di ricarica wireless

*Rosanna Pinto*

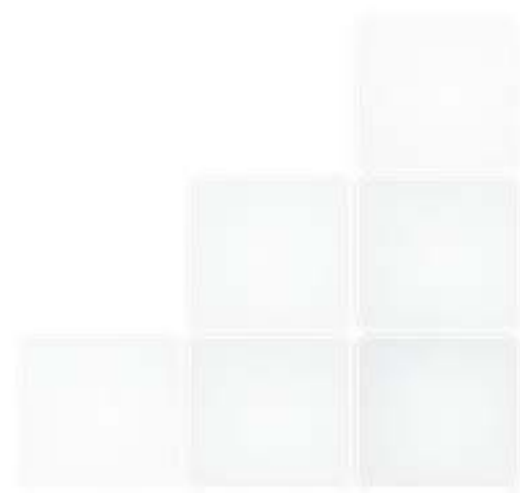
ENEA CR Casaccia

Dipartimento di Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali

Divisione Tecnologie e Metodologie per la Salvaguardia della Salute



- Introduzione
- Realizzazione di un prototipo da banco per la ricarica wireless delle batterie di una city car
- Caratterizzazione sperimentale del prototipo
- Definizione del protocollo di misura per la valutazione dell'esposizione ai campi elettromagnetici (CEM) residui emessi dal prototipo
- Risultati
- Conclusioni

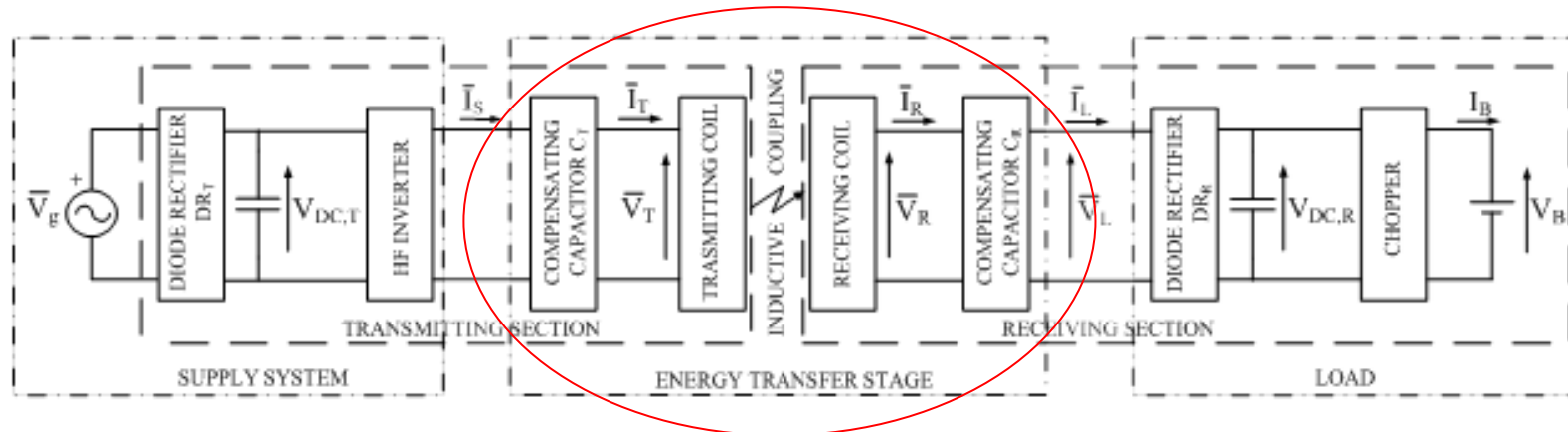


- La tecnologia di trasferimento di potenza in modalità wireless è molto promettente per la ricarica di veicoli elettrici: **non sono richiesti contatti fisici**
- La tecnologia che impiega sistemi magnetici risonanti è quella che offre le **maggiori efficienze** nel trasferimento di potenza.
- Durante il trasferimento di potenza la corrente nelle bobine genera un **CEM non uniforme** la cui ampiezza può superare i limiti fissati dalle linee guida internazionali.
- **Non esistono linee guida o standard** per la valutazione dell'esposizione a queste sorgenti

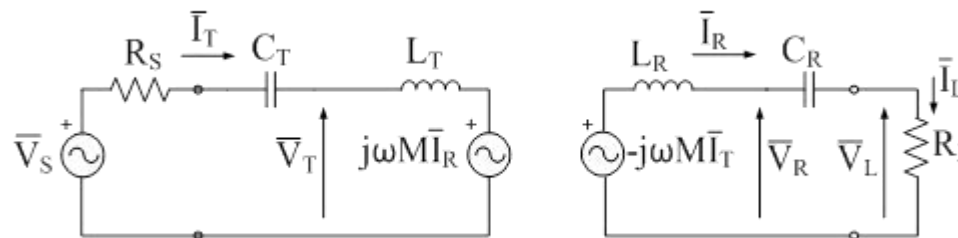
# Sistema wireless risonante



## Schema di un sistema ricarica ad accoppiamento induttivo



La stadio di trasferimento della potenza può essere realizzato con un circuito risonante serie-serie



- Bobine ricevente e trasmettente accoppiate magneticamente.
- Quando si opera alla frequenza di risonanza, i circuiti nel trasmettitore e nel ricevitore massimizzano l'accoppiamento magnetico ottenendo il trasferimento di potenza massimo.

Presso l'Università di Padova, è stato progettato e realizzato un prototipo da banco di un sistema di ricarica wireless per le batterie montate in una piccola city car.

## Requisiti:

- Potenza = **560 W**
- Frequenza di funzionamento = **85 kHz**
- Dimensioni laterali = **450 x 450 mm<sup>2</sup> max**



## Progetto:

- **bobine a spirale** riceventi e trasmettenti uguali
- raggio esterno delle bobine pari a **380 mm** e **15 avvolgimenti** distanziati di **7.5 mm**.
- Distanza tra le bobine ricevente e trasmettente pari a **150 mm**.
- Avvolgimenti fatti con il **filo di Litz** per ridurre l'effetto pelle a **85 kHz**.
- Le bobine hanno un **nucleo di ferrite** per confinare e guidare il flusso del campo magnetico aumentando la mutua induttanza e riducendo i campi magnetici dispersi.
- I nuclei di ferrite (induzione residua 0.1 T and  $\mu_r > 1000$ ) hanno **forma quadrata** (lato **400 mm** e spessore **di 6 mm**).
- La dimensione esterna totale delle bobine è pari a **440 x 440 x 30 mm<sup>3</sup>**.
- In condizioni operative: **Tensione alla batteria = 56 V**  
**Corrente alla batteria = 10 A**

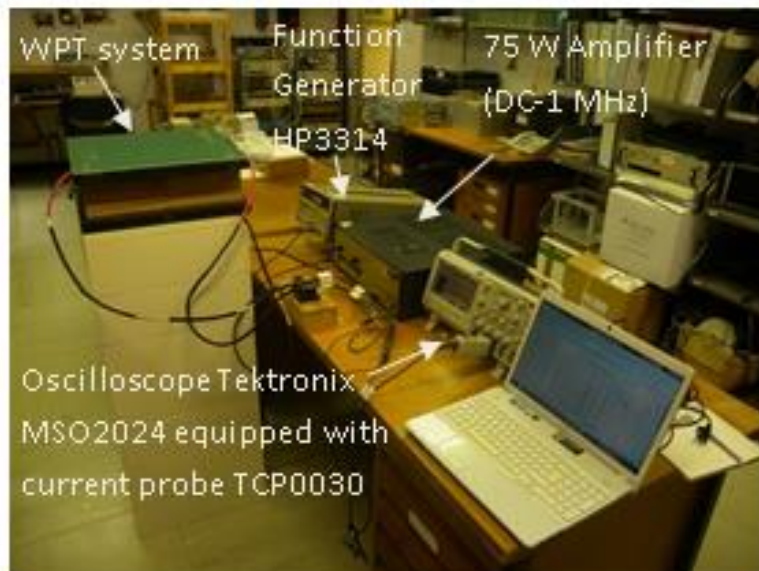


Misure di **L** delle singole bobine e di **M** delle bobine accoppiate distanziate di 150 mm

Valutazioni di **R** e **L** tramite misure di impedenza complessa (tensione alla bobine, corrente e fase tra le due)

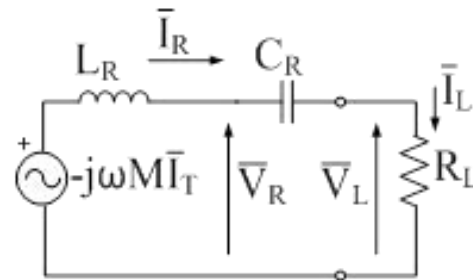
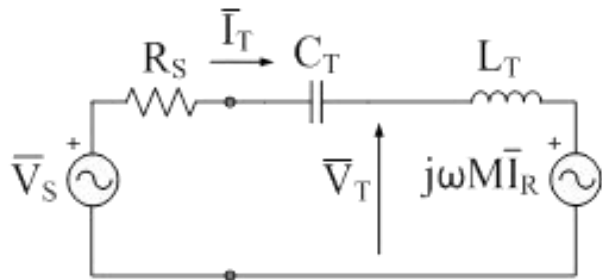
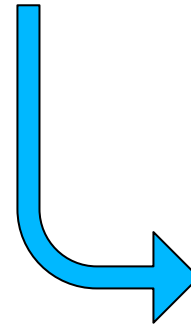
Valutazione di **M** tramite

$$M = \frac{V_r}{2\pi f I_t}$$



## Valori sperimentali di **L** e **M**

L bobina 1 [ $\mu\text{H}$ ]	L bobina 2 [ $\mu\text{H}$ ]	M bobine a 15 cm [ $\mu\text{H}$ ]
$108.7 \pm 1.2$	$107.3 \pm 1.0$	$20.6 \pm 0.2$



Parametri del circuito risonante	
$V_S$	$292 V_{\text{RMS}}$
$R_S$	$0.57 \Omega$
$I_T$	$5.4 \text{ A}$
$C_T$	$30 \text{ nF}$
$V_T$	$438 \text{ V}$
$I_R$	$14 \text{ A}$
$V_R$	$901 \text{ V}$
$C_R$	$30 \text{ nF}$
$V_L$	$82 \text{ V}$
$I_L$	$10 A_{\text{RMS}} (\text{max})$
$R_L$	$5.8 \Omega (\text{min})$ $580 \Omega (\text{max})$

La valutazione dell'esposizione ai CEM residui emessi dai sistemi di ricarica wireless rappresenta un aspetto protezionistico importante in quanto i livelli di campo possono superare i limiti fissati dalle linee guida internazionali per l'esposizione umana.

**Caso in esame:** in questa situazione, l'esposizione umana ai CEM emessi dal prototipo si riferisce all'esposizione dei lavoratori che operano nei suoi pressi durante le attività assegnate

## DIRECTIVES

DIRECTIVE 2013/35/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL

of 26 June 2013

on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields) (20th individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC) and repealing Directive 2004/40/EC

- **La Direttiva 2013/35/EU** stabilisce le prescrizioni minime di protezione dei lavoratori contro i rischi per la loro salute e la loro sicurezza che derivano, o possono derivare, dall'esposizione ai campi elettromagnetici durante il lavoro.
- I datori di lavoro devono valutare i rischi legati all'esposizione ai CEM nei luoghi di lavoro.
- Ad oggi non esistono standards o linee guida pratiche per eseguire la valutazione dell'esposizione e del rischio a questo tipo di sorgenti.
- Gli stati membri dovranno recepire la Direttiva entro il 1 Luglio del 2016.

La Direttiva definisce due livelli di limiti:

- I valori limite di esposizione (VLE) stabiliti sulla base degli effetti a breve termine ed acuti
- I livelli di azione (LA) che rappresentano i limiti radiometrici, aventi lo scopo di semplificare il processo di dimostrazione della conformità ai VLE.

Frequenza [kHz]	VLE $E_i$ [V/m]	LA bassi E [V/m]	LA alti E [V/m]	LA B [ $\mu T$ ]
85	$3.8 \times 10^{-4}$	170	610	100



La parte frontale del prototipo è il solo accesso per gli operatori

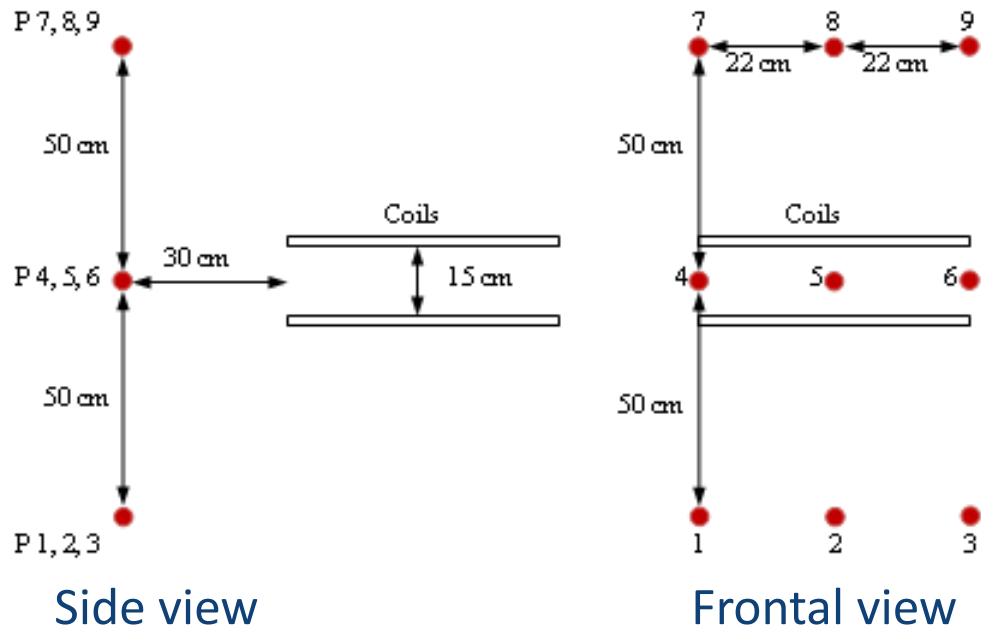


Nove punti di misura posizionati su un piano verticale frontale posto a 30 cm dal prototipo, come stabilito nello standard CEI dedicato ai fornelli a induzione

Esposizione del tipo campo vicino



**Misure di Campo Induzione Magnetica (B)**  
**Misure di Campo Elettrico (E)**



## **EHP200, Narda, sensore isotropo di E e di B:**

Banda passante: 9 kHz – 30 MHz; dimensioni: 9 x 9 x 11 cm<sup>3</sup>; intervallo di misura per E 0.1 – 1000 V/m, per B 0.04 – 377  $\mu$ T; anisotropia a 1 MHz  $\pm$  0.8 dB; linearità a 1 MHz 0.5 dB; accuratezza a 1 MHz  $\pm$  0.8 dB.

La sonda è connessa al computer per mezzo di un cavo a fibra ottica.

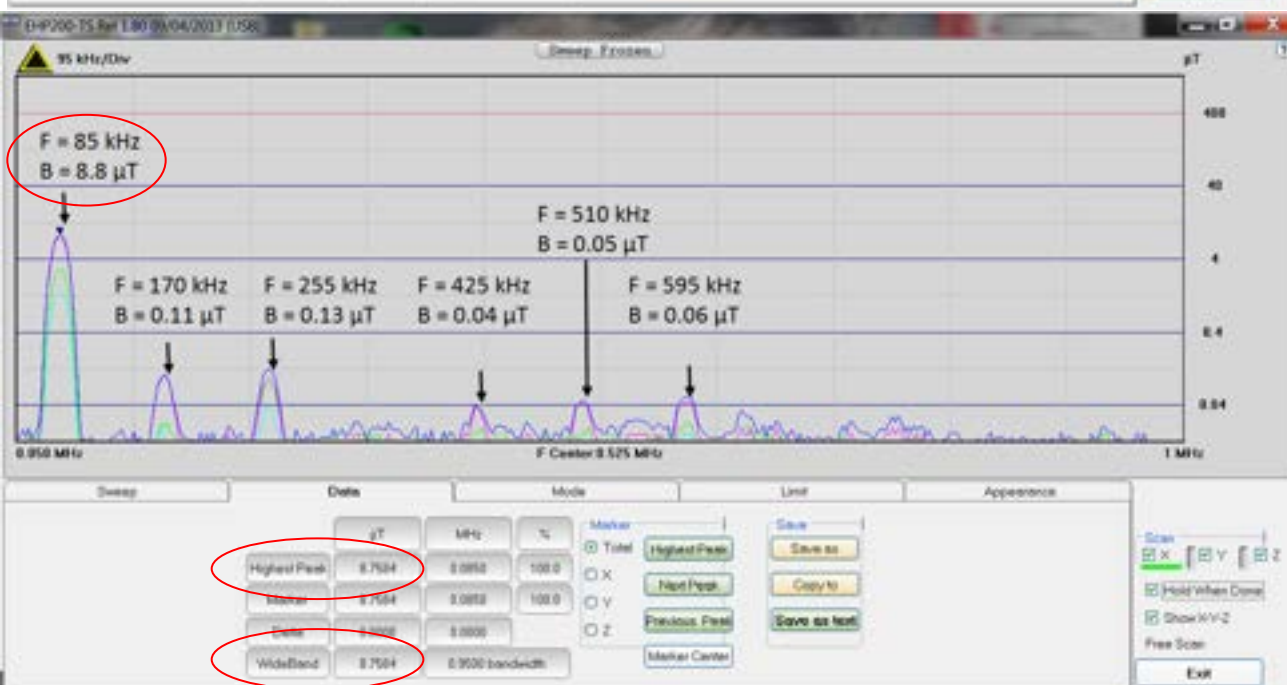
Un software dedicato gestisce l'impostazione della sonda e l'acquisizione dei dati.



Campi di fondo a sistema spento  
 $E = 0.36 \text{ V/m}$   
 $B = 0.07 \mu\text{T}$

Sistema di ricarica alla massima  
 potenza di 560 W

Misure preliminari nel punto #5  
 con uno span in frequenza 0.05 – 1  
 MHz per esaminare tutte le  
 componenti spettrali:



$E_{\text{highest peak}} = 126.7 \text{ V/m}$  a 85 kHz  
 $E_{\text{wideband}} = 128.8 \text{ V/m}$

$B_{\text{highest peak}} = 8.8 \mu\text{T}$  a 85 kHz  
 $B_{\text{wideband}} = 8.8 \mu\text{T}$



**Span: 50 – 100 kHz**  
**RBW: AUTO**  
**Cinque misure in ogni punto**

Il campo B è stato misurato in tutti i punti. Lo standard IEC 62233 specifica che per i sistemi con una tensione di alimentazione < 1kV non sono necessarie le misure di campo E.

In questo caso si è deciso comunque di farlo, solo nei punti centrali del piano di misura (punti 4, 5, 6) vista la natura risonante del dispositivo

Points	E [V/m]	B [ $\mu$ T]
1		$3.7 \pm 0.2$
2		$4.0 \pm 0.3$
3		$3.6 \pm 0.3$
4	$110.8 \pm 4.4$	$6.7 \pm 0.2$
5	$127.8 \pm 3.1$	$8.8 \pm 0.5$
6	$109.9 \pm 0.7$	$6.5 \pm 0.2$
7		$3.6 \pm 0.1$
8		$3.9 \pm 0.1$
9		$3.3 \pm 0.1$

- E' stata messa a punto **una procedura per la valutazione dell'esposizione ai CEM** residui di un sistema di ricarica wireless.
- A una distanza di 300 mm dal dispositivo sia i valori di B che i valori di E **non superano** i LA definiti nella Direttiva europea sui lavoratori.
- Come atteso, **il nucleo di ferrite confina il campo magnetico** nelle strette vicinanze del dispositivo.



- I valori misurati per il campo E **superano** limiti imposti per l'esposizione della popolazione dalla Raccomandazione Europea (1999/519/CE) e dalla legge italiana (DPCM 8/7/2003). Questo valore è pari a **87 V/m a 85 kHz**.
- Sarà necessario effettuare sia misure di E che di B con il prototipo montato sull'auto al fine di valutare l'esposizione reale per la popolazione e per valutare l'effetto della presenza delle parti metalliche.
- **Il prototipo opera ad una potenza relativamente bassa rispetto a sistemi analoghi, in futuro saranno fatte delle misure su sistemi a potenza maggiore (qualche kW).**
- **Si effettueranno studi di dosimetria numerica per valutare i valori di E indotti in modelli anatomici umani al fine di un confronto con i VLE definiti nelle linee guida internazionali.**
- Se necessario si dovranno implementare delle **soluzioni di schermaggio**.

# Grazie

**Contacts:**

*rosanna.pinto@enea.it*

Si ringraziano i colleghi  
Vanni Lopresto, Caterina Merla e Sergio Mancini di ENEA SSPT TECS  
Giovanni Pede e Antonino Genovese di ENEA DTE PCU  
Giuseppe Buja e Manuele Bertoluzzo del Dipartimento di Ingegneria Industriale  
dell'Università di Padova