

SCHERMATURA DEI CAMPI EM TRAMITE ARRAY DI RISUONATORI PER SISTEMI WPT A DIVERSE FREQUENZE

N. Fontana, S. Barmada, M. Raugi, E. Crisostomi, M. Tucci, R. Rizzo, C. Simonelli,

V. Consolo, D. Thomopoulos

DESTEC, Università di Pisa
Largo Lucio Lazzarino 1, 56122, Pisa

Nella presente memoria sono descritte le analisi e le sperimentazioni condotte dall'Unità di Pisa relativamente all'utilizzo di array di risuonatori (definiti in letteratura anche metasuperfici/metamateriali), col fine di dimostrarne la versatilità nel loro utilizzo in sistemi Wireless Power Transfer (WPT) e nello specifico per il loro utilizzo nella schermatura di detti sistemi a varie frequenze. L'esperienza è cominciata con l'analisi e il dimensionamento di array risonanti per la schermatura del campo elettrico in presenza di un sistema WPT per le frequenze utilizzate tipicamente in ambito biomedicale (6MHz) [1]. In tale contesto, lo studio ha previsto di osservarne il comportamento attraverso analisi numeriche, in una configurazione per la quale l'array di risuonatori (passivi e resi risonanti da condensatori serie) è collocato nelle immediate vicinanze del trasmettitore WPT. Dapprima, l'analisi è stata condotta al variare del numero di elementi nell'array (risonanti alla medesima frequenza del sistema WPT) con l'obiettivo finale di ridurre il campo elettrico nelle vicinanze del sistema trasmittente: un maggiore numero di risuonatori conduce ad una maggiore efficacia di schermatura a discapito di una riduzione dell'efficienza complessiva del sistema. Quindi, le analisi sono state validate con delle misure che hanno consentito di ridurre il campo elettrico del 60% con un rendimento del sistema pari al 35%. Da questa esperienza maturata quindi, è stato possibile capire come una caratterizzazione del singolo risuonatore risulti necessaria ed importante, ai fini del funzionamento della schermatura e del sistema WPT complessivo. La caratterizzazione può avvenire avvalendosi di modelli analitici che permettano di sintetizzare i singoli risuonatori come circuiti RLC e che tengano conto anche degli accoppiamenti mutui fra gli elementi risonanti che costituiscono l'array: il fattore di merito dei singoli risuonatori, così come un fattore di merito equivalente dell'intero array, giocano un ruolo fondamentale. Elevati fattori di merito consentono di minimizzare le perdite per effetto Joule e quindi disporre di un sistema schermante che influenzi in maniera non significativa il rendimento complessivo del sistema WPT in cui sarà inserito. In uno studio successivo [2], è stato dimensionato uno schermo per applicazioni di ricarica di veicoli elettrici. Le frequenze considerate sono quindi nell'ordine dei kHz. In tale studio, attraverso un algoritmo di ottimizzazione, è stato possibile ottenere le caratteristiche dello schermo proposto, e simultaneamente considerare il rendimento complessivo del sistema WPT nel quale è inserito. Le analisi condotte con il modello analitico e successiva ottimizzazione, hanno permesso di realizzare uno schermo 5×5 le cui caratteristiche si differenziano da quelle presentate in precedenza in quanto lo schermo è costituito da risuonatori a frequenze diverse da quella di interesse, denominato per questo non omogeneo. Tale scelta si è dimostrata vincente rispetto al caso di schermo omogeneo trattato negli studi precedenti. La variabilità della frequenza di risonanza è realizzata scegliendo valori di condensatori diversi su ogni elemento dell'array. In quest'ultimo caso, lo schermo è stato progettato per essere collocato nelle immediate vicinanze del coil RX, mentre il campo magnetico è stato ridotto di 10dB garantendo un rendimento complessivo del sistema dell'89%.

È importante sottolineare come la procedura usata in questo studio, è generale e scalabile rispetto al numero di elementi risonatori nell'array, alle dimensioni del sistema WPT, alle frequenze di interesse. Infine, uno degli ultimi studi affrontati sull'argomento ha riguardato l'analisi di risonatori nelle immediate vicinanze di un sistema WPT per veicoli elettrici e nello specifico a 85kHz. Le analisi condotte hanno permesso di concludere che perché il sistema array funga da schermo, ogni elemento debba risonare ad una frequenza leggermente superiore rispetto a quella di funzionamento del sistema WPT nel quale è inserito [3]. In questo caso l'array affianca il coil TX e giace sul suo stesso piano. Il sistema schermante consente di ottenere una riduzione del campo pari a circa al 37%. Queste ultime analisi sono in fase di verifica sperimentale. Gli studi condotti sull'argomento hanno portato principalmente a concludere che non è possibile trascurare l'aspetto realizzativo. Infatti, sebbene le versioni dei risonatori realizzati con tecnologia PCB risultino di più semplice controllo e ripetibilità, le versioni con fili conduttori o nelle versioni Litz-wire sono da prediligere, ai fini della riduzione delle perdite e di elevati fattori di merito; le tolleranze sui valori commerciali dei condensatori usati per realizzare le frequenze di risonanza di interesse sono fondamentali in fase di progetto.

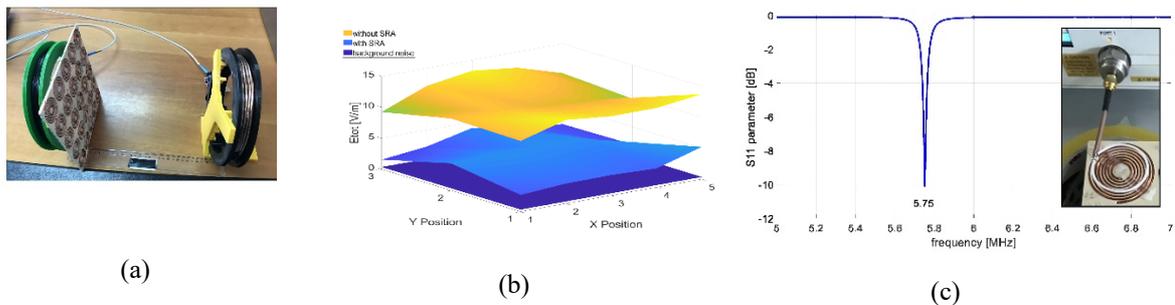


Figura 1. (a) Sistema WPT e array di risonatori 5×5; (b) campo elettrico misurato con e senza schermo; (c) esempio di caratterizzazione del singolo elemento risonante nell'array.

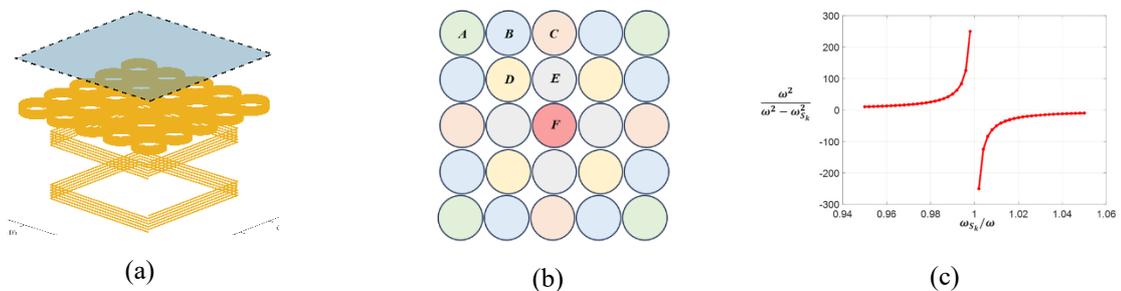


Figura 2. (a) Modello analitico del sistema WPT con l'array di risonatori per sua ottimizzazione; (b) distribuzione dei valori condensatori da ottimizzare; (c) andamento in frequenza della corrente indotta sui risonatori

- [1] D. Brizi, N. Fontana, M. Tucci, S. Barmada and A. Monorchio, "A Spiral Resonators Passive Array for Inductive Wireless Power Transfer Applications with Low Exposure to Near Electric Field," in *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, vol. 62, no. 4, pp. 1312-1322, Aug. 2020, doi: 10.1109/TEMPC.2020.2991123.
- [2] M. Simonazzi, L. Sandrolini, S. Barmada and N. Fontana, "Optimal Metamaterial Configuration for Magnetic Field Shielding in Wireless Power Transfer Systems," 2023 IEEE Wireless Power Technology Conference and Expo (WPTCE), San Diego, CA, USA, 2023, pp. 1-5, doi: 10.1109/WPTCE56855.2023.10216186.
- [3] J. Zhu, S. Barmada, M. Ceraolo, N. Fontana, A. Musolino, "Resonant coil matrix shielding for dynamic WPT systems," *International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics*. 2024;76(1-2):181-196. doi:10.3233/JAE-230207.