

# DISEGNO OTTIMO DI SCHERMI ELETTROMAGNETICI IN SISTEMI WPTS PER LA MOBILITÀ ELETTRICA

Paolo Di Barba<sup>1</sup>, Michele Forzan<sup>2</sup>, Arash Ghafoorinejad<sup>1</sup>, Maria Evelina Mognaschi<sup>1</sup> e  
Elisabetta Sieni<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Dip. di Ingegneria Industriale e dell'Informazione, Università degli Studi di Pavia, Italia,  
{paolo.dibarba, eve.mognaschi}@unipv.it, arash.ghafoorinejad01@universitadipavia.it

<sup>2</sup>Dip. di Ingegneria Industriale, Università degli Studi di Padova, Padova, Italia,  
michele.forzan@unipd.it

<sup>3</sup>Dip. di Scienze Teoriche Applicate, Università degli Studi dell'Insubria, Varese, Italia,  
elisabetta.sieni@uninsubria.it

Il progetto dello schermo elettromagnetico nei sistemi di trasferimento di potenza *wireless* (WPTS) per automobili elettriche è di fondamentale importanza, poiché deve soddisfare criteri molteplici, tra cui: aumentare la potenza trasferita al ricevitore, migliorare l'efficienza complessiva, ridurre il campo disperso nell'abitacolo e diminuire il peso dello schermo.

In letteratura, l'argomento è stato trattato in termini di schermatura attiva [1] ovvero mediante l'impiego di metamateriali [2], risolvendo problemi di ottimizzazione a singolo obiettivo oppure bi-obiettivo.

Per sviluppare un approccio alternativo, un'idea chiave consiste nel considerare una struttura a griglia per lo schermo, che dà origine a una regione conduttiva moltepliciamente connessa. In questo lavoro, viene presentato un metodo di disegno basato sulla teoria degli ottimi di Pareto.

Nello specifico, per risolvere il problema di campo, è stato sviluppato un modello ad elementi finiti (FE) in tre dimensioni del sistema WPTS (Fig. 1a). Il modello è costituito da due bobine, con funzione trasmittente e ricevente, rispettivamente. Ciascuna bobina è dotata di una piastra di ferrite (440 mm × 400 mm) come concentratore magnetico, e una sottile lastra di alluminio posizionata sopra la bobina ricevente (Fig. 1a). Le bobine hanno 15 spire ciascuna, con un raggio interno di 75 mm.

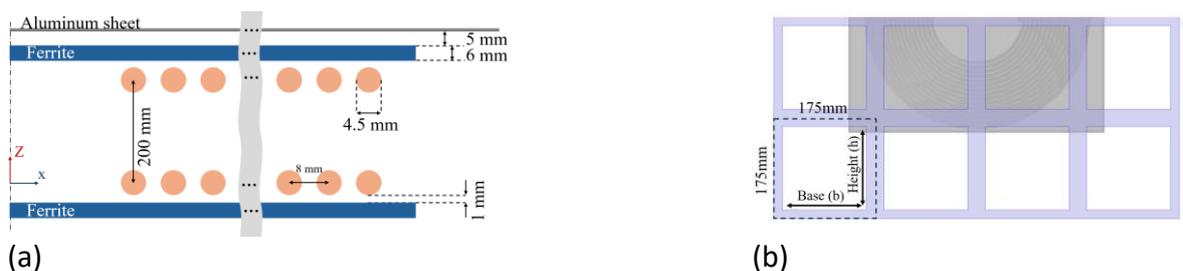


Figura 1 - Modello del dispositivo WPTS: (a) sezione trasversale, (b) schermo (Al) con le variabili di progetto.

La conducibilità elettrica dell'alluminio è pari a  $3,77 \times 10^7$  S/m, mentre per la ferrite è pari a 0,2 S/m; la permeabilità magnetica relativa della ferrite,  $\mu_r$ , si assume lineare [3] e uguale a 3000. La parte in alluminio è modellata come una lastra sottile di 700 mm × 700 mm, sulla quale è applicata una condizione al contorno di transizione [4] con profondità  $d_s = 1$  mm.

Il modello di campo ad elementi finiti consta di 513.630 elementi tetraedrici del secondo ordine ed è accoppiato ad un modello di circuito a parametri concentrati, sia sul lato della bobina trasmittente che su quello della bobina ricevente. In particolare, al trasmettitore è collegato un generatore di corrente (8 Arms, 85 kHz), mentre al ricevitore è applicato un carico resistivo di 5  $\Omega$ . Inoltre, in serie al ricevitore è collegato un condensatore da 30 nF per lavorare in risonanza.

Il modello ad elementi finiti considera un problema accoppiato campo-circuito, in cui il campo magnetico viene risolto in regime armonico utilizzando la formulazione in potenziale vettore magnetico.

Lo schermo di alluminio presenta 16 vuoti, replicati periodicamente in posizioni specifiche a partire dal primo vuoto di riferimento, come mostrato in Fig. 1b. Le due variabili di progetto sono la base ( $b$ ) e l'altezza ( $h$ ) dei vuoti rettangolari, entrambe variabili nell'intervallo da 30 mm a 145 mm, per garantire che le parti vuote non interferiscano tra loro.

Si definiscono tre funzioni obiettivo, tutte da minimizzare rispetto alla coppia di variabili:

$$f_1 = -P_L (W), f_2 = S_{Al} (m^2), f_3 = \max\{|B|\} (\mu T) \quad (2)$$

La funzione  $f_1$  mira a massimizzare la potenza trasferita alla bobina ricevente (per questo è espressa con segno negativo), inoltre la funzione  $f_2$  è correlata alla minimizzazione della superficie di alluminio, e quindi al peso dello schermo, infine la funzione  $f_3$  mira a minimizzare il valore massimo del modulo della densità di flusso magnetico ( $|B|$ ) in un punto situato su un piano a 10 cm sopra la lastra di alluminio, con dimensioni  $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ . La posizione del punto non è fissa, ma varia in base alla geometria dello schermo.

Per risolvere il problema di ottimizzazione è stato usato l'algoritmo NSGA-II con una popolazione di 20 individui, che evolve per 50 generazioni. Le proiezioni ortogonali del fronte di Pareto nei tre piani delle funzioni obiettivo sono mostrate in Fig. 2, dove sono evidenziate quattro soluzioni di interesse, ciascuna con la relativa geometria di schermo.

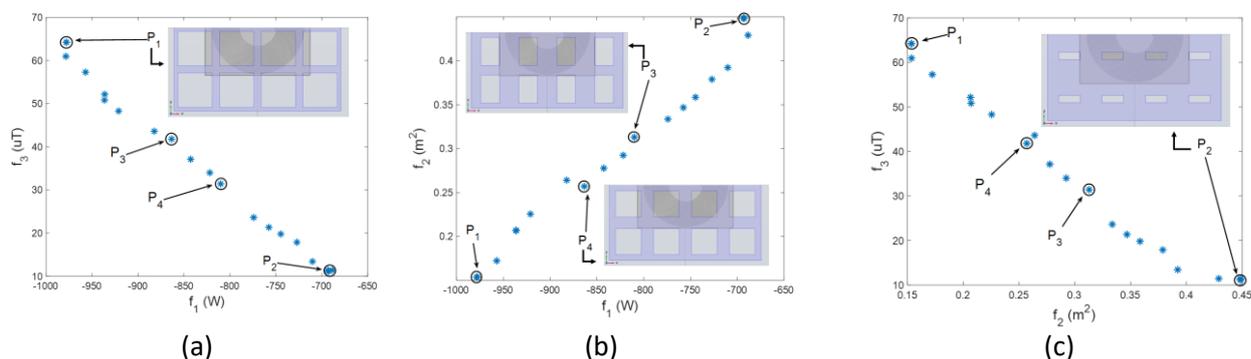


Figura 2 –Proiezioni del fronte di Pareto sui piani (a)  $f_1$ - $f_3$ , (b)  $f_1$ - $f_2$ , (c)  $f_2$ - $f_3$ . Le geometrie di schermo di quattro soluzioni ottime sono mostrate in figura.

Come si evince da Fig. 2, le soluzioni ottime ottenute sono molto varie sia in termini di geometria sia di prestazioni. Questa caratteristica permette una grande flessibilità nella progettazione di schermi di alluminio per sistemi WPTS.

## Bibliografia

- [1] S. Cruciani, T. Campi, F. Maradei, M. Feliziani M., "Array of Ac-tive Shielding Coils for Magnetic Field Mitigation in Automotive Wireless Power Transfer Systems", *Energies*, 17 (17), 2024.
- [2] W. Lee and Y. -K. Yoon, "Wireless Power Transfer Systems Using Metamaterials: A Review", *IEEE Access*, vol. 8, pp. 147930-147947, 2020.
- [3] M. Bertoluzzo, P. Di Barba, M. Forzan, M.E. Mognaschi, E. Sieni, "Wireless Power Transfer System in Dynamic Conditions: A Field-Circuit Analysis", *Vehicles*, 4, pp. 234-242, 2022.
- [4] COMSOL AB. AC/DC Module User's Guide, Version 6.0, 2021, Chapter 5: "Magnetic Field Interfaces," Section: "Transition Boundary Condition," p. 345.

## Ringraziamenti

This work has been supported by the project "BaC-MPI2" in the frame of "Sustainable Mobility Center (Centro Nazionale per la Mobilità Sostenibile)" project CN00000023 – SPOKE 13 CUP D43C22001180001 and funded by the European Union – NextGenerationEU.