

## TEST: UN AMBIENTE DI PROBLEMI INVERSI DI RIFERIMENTO IN MAGNETOSTATICA

C.A. Borghi<sup>1</sup>, P. Di Barba<sup>2</sup>, M. Fabbri<sup>1</sup>, A. Savini<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dipartimento di Ingegneria Elettrica, Università di Bologna, 40136 Bologna

<sup>2</sup>Dipartimento di Ingegneria Elettrica, Università di Pavia, 27100 Pavia

Nel settore della progettazione ottima automatica in elettromagnetismo, le tecniche di ottimizzazione troppo spesso vengono impiegate come scatole nere di uso generale; in realtà ciascun algoritmo è in grado di fornire buoni risultati soltanto se applicato alla soluzione di un particolare problema che possiede adeguati requisiti di minimizzazione. Per queste ragioni la classificazione critica delle numerose metodologie di ottimizzazione, in relazione alle diverse classi di problemi inversi, è ormai ritenuta un obiettivo importante. In particolare, oggi si avverte il bisogno di validi problemi di riferimento in grado di cimentare l'efficienza di un dato metodo di sintesi [1]. La disponibilità di un insieme di problemi modello definiti rigorosamente dovrebbe consentire, infatti, di valutare l'effettiva robustezza di una strategia di ottimizzazione e di metterne in luce le peculiarità. Muovendo da queste considerazioni l'Università di Pavia, in collaborazione con altri istituti nazionali ed internazionali di ricerca, ha deciso di costruire l'ambiente **TEST** (Testing Electromagnetic Synthesis Techniques), raggiungibile all'indirizzo [www.unipv.it/~electric/test.htm](http://www.unipv.it/~electric/test.htm).

Un primo e fondamentale problema di riferimento proposto, riguardante la magnetostatica inversa, è costituito dalla ottimizzazione globale del cosiddetto solenoide di Loney [2]. Pur non avendo più rilevanza tecnologica in spettroscopia NMR, questo problema è assai significativo perché è un chiaro esempio di progetto di magnete che dimostra come problemi inversi *stiff* possano sorgere anche in casi molto semplici con un ridotto numero di gradi di libertà.

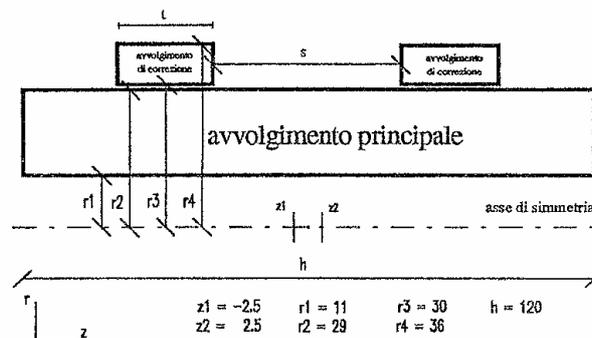


Fig. 1 - Solenoide di Loney: sezione assiale (dimensioni in mm).

La sezione assiale del solenoide di Loney è rappresentata in Fig. 1. Il sistema consta di un avvolgimento principale di lunghezza  $h$  con raggio interno  $r_1$  e raggio esterno  $r_2$  e di due avvolgimenti di correzione situati all'esterno, coassialmente rispetto all'avvolgimento principale, di raggio interno ed esterno  $r_3$  e  $r_4$ , rispettivamente;  $L$  è la loro lunghezza e  $S$  la distanza che li separa.

Il campo magnetico che si stabilisce, quando corrente di uguale densità alimenta le tre bobine che si suppongono avere la medesima densità di avvolgimento, si può determinare seguendo diversi metodi analitici o numerici di analisi. Quando è sufficiente

calcolare il campo lungo l'asse del sistema, è preferibile ricorrere ad espressioni analitiche in forma chiusa.

Un primo problema inverso è stato così definito: fissati i valori di tutti gli altri parametri come in Fig.1, *trovare la posizione S e la lunghezza L dei due avvolgimenti di correzione in maniera tale da minimizzare la disuniformità dell'induzione magnetica nell'intervallo (z<sub>1</sub>,z<sub>2</sub>)*. La funzione obiettivo è perciò la discrepanza relativa

$$D = \frac{(B_{\max} - B_{\min})}{B_0} \text{ dove } B_{\max} \text{ e } B_{\min} \text{ sono i valori massimo e minimo, rispettivamente, di}$$

induzione nell'intervallo controllato, mentre  $B_0$  è l'induzione al centro del solenoide. Si tratta, nel complesso, di un problema di *minmax* in due variabili; non sono prescritti vincoli sulle variabili di progetto a parte la non negatività. Si suggerisce di considerare una griglia di cento soluzioni iniziali generate con legge casuale.

Le principali caratteristiche del problema proposto sono il malcondizionamento, l'andamento non analitico della funzione obiettivo, la presenza di numerosi minimi locali ciascuno caratterizzato da un diverso grado di stabilità. Mentre un'ottimizzazione locale è facilmente ottenibile, determinare l'ottimo globale in maniera efficiente ed affidabile è un problema di non facile soluzione. Il solenoide di Loney, ancorchè molto semplice, si presta ad impostare vari tipi di problemi inversi che richiedono minimizzazioni vincolate o multiobiettivo.

Sulla pagina INTERNET di **TEST** sono pubblicati i dati del problema di Loney e vengono messi a confronto i risultati che alcuni autori hanno ottenuto impiegando diverse strategie di ottimo globale [3],[4],[5],[6],[7].

#### Bibliografia

- [1] P. Neittaanmaki, M. Rudnicki and A. Savini, *Inverse Problems and Optimal Design in Electricity and Magnetism*, Clarendon Press, Oxford, 1996.
- [2] P. Di Barba, A. Gottvald and A. Savini, "Global optimization of Loney's solenoid: a benchmark problem", *Int. J. of Applied Electromagnetics and Mechanics* 6 (1995) 273-276.
- [3] P. Di Barba and A. Savini, "Global optimization of Loney's solenoid by means of a deterministic approach", *Int. J. of Applied Electromagnetics and Mechanics* 6 (1995) 247-254.
- [4] P. Di Barba and A. Savini, "Optimal Shape Design of an Iron-cored Electromagnet: a Further Benchmark Problem in Magnetostatics", *Proc. 4th Intl Workshop on Optimization and Inverse Problems in Electromagnetism*, Brno, June 19-21, 1996.
- [5] C.A. Borghi, P. Di Barba, M. Fabbri and A. Savini, "A Comparative Study of Loney's Solenoid by Different Techniques of Global Optimization", *Proc. 4th Intl Workshop on Optimization and Inverse Problems in Electromagnetism*, Brno, June 19-21, 1996.
- [6] C.A. Borghi and M. Fabbri, "Global Optimization of the Main Magnetic System of a Magnetically Shielded NMR", *Proc. IGTE*, Graz, September 1996.
- [7] P. Di Barba, F. Dughiero and F. Trevisan, "Optimization of the Loney's solenoid by means of quasi-analytical strategies: a benchmark problem revisited", *in press on IEEE Trans. on Magnetism*, March 1997.