

# OTTIMIZZAZIONE MULTIobietTIVO NEL PROBLEMA DI PROGETTO DI DISPOSITIVI ELETTROMAGNETICI

C.A. Borghi, M. Fabbri

Dipartimento di Ingegneria Elettrica - Università degli Studi di Bologna

Quando sia necessario ottimizzare il progetto di dispositivi elettromagnetici soddisfacendo a più criteri, si presenta un problema di ottimizzazione multiobiettivo. Ciascuno dei criteri suddetti è rappresentato da una funzione obiettivo nelle variabili di progetto. La soluzione ottima rispetto ad uno dei criteri considerati è rappresentata dal minimo della funzione obiettivo corrispondente. Ognuna delle funzioni obiettivo ha un minimo la cui soluzione solitamente non coincide con quelle dei minimi delle altre funzioni obiettivo. Da questo trae quindi origine un problema di ottimizzazione vettoriale.

Vari sono i metodi che si possono adottare per risolvere tale problema. In questa nota vengono studiati tre metodi. Due di essi, il metodo di ottimizzazione pesata ed il metodo della logica sfumata, trasformano il problema vettoriale in problema scalare. A tale scopo, si introduce una nuova funzione, definita come funzione prestazione globale, derivante dalle funzioni obiettivo del problema originario. Nel metodo di ottimizzazione pesata la funzione prestazione globale è ottenuta da una combinazione lineare delle funzioni obiettivo originarie. I risultati in tal caso dipendono dalle costanti peso della combinazione lineare. Nel metodo della logica sfumata ogni funzione obiettivo viene valutata per mezzo di una funzione lineare (funzione di appartenenza) che varia fra 0 ed 1 e che associa a tali valori un massimo ed un minimo stimato della funzione obiettivo originaria. La funzione prestazione globale viene ottenuta valutando ad ogni passo di ottimizzazione ciascuna delle funzioni di appartenenza e scegliendo per quel passo come funzione da minimizzare quella più lontana dal proprio minimo. In questo caso i risultati dipendono dalle stime che si assumono per i minimi delle funzioni obiettivo originarie. Il terzo metodo considerato è il metodo di Pareto che lascia il problema nella sua forma vettoriale. La soluzione non è unica. L'insieme delle possibili soluzioni viene detto insieme di Pareto.

Al fine di studiare le caratteristiche operative e le prestazioni dei metodi di ottimizzazione multiobiettivo citati, si è considerata la loro applicazione al solenoide di Loney [1, 2] costituito da un avvolgimento principale e due avvolgimenti supplementari di controllo. Il problema di Loney, modificato per lo studio dei metodi multiobiettivo, richiede di determinare la lunghezza e la distanza degli avvolgimenti di controllo al fine di ottenere un'induzione magnetica definita il più uniforme possibile (la disuniformità del campo di induzione è espressa dalla funzione  $D$ ) in un dato intervallo sull'asse del solenoide ed un campo di induzione disperso (il campo disperso è espresso dalla funzione  $\Delta$ ) il più basso possibile in due punti dati all'esterno del solenoide. Due sono quindi le incognite di progetto da definire e due sono le funzioni obiettivo rispetto a cui si vuole ottimizzare. In tal caso quindi i risultati del metodo di ottimizzazione pesata [3, 4] dipendono dal rapporto delle due costanti peso  $c_2/c_1$  con cui è ottenuta la funzione prestazione globale. Per il metodo della logica sfumata [5, 6] si assume 0 il minimo della funzione obiettivo  $\Delta$  e  $D_c$  quello della funzione obiettivo  $D$ . In tal caso i risultati ottenuti dipendono dalla scelta di  $D_c$ . Il metodo di Pareto ha portato ad un'approssimazione dell'insieme di Pareto formato da 500 punti. Per la minimizzazione della funzione prestazione globale nei metodi di minimizzazione pesata e della logica sfumata viene utilizzato l'algoritmo delle strategie evolutive nella sua

formulazione originale (1+1). Tale algoritmo, in forma modificata, viene utilizzato anche nel metodo di Pareto.

I risultati ottenuti col metodo di ottimizzazione pesata al variare del rapporto  $c_2/c_1$  e col metodo della logica sfumata al variare di  $D_c$  sono riportati in Fig. 1 [7]. All'aumentare di  $c_2/c_1$  (caso in cui solo  $D$  è minimizzata)  $\Delta$  diminuisce e  $D$  rimane quasi invariato fino a  $c_2/c_1 \cong 8 \times 10^{-2}$ . A tale valore si verifica una discontinuità. Per  $c_2/c_1 \cong 10^{-1}$  l'algoritmo di ottimizzazione pesata minimizza  $\Delta$  ma non  $D$ . Per ogni minimizzazione la funzione prestazione globale viene chiamata circa 300 volte. Per quanto riguarda l'ottimizzazione eseguita col metodo della logica sfumata, al variare di  $D_c$  risulta variare l'importanza di  $D$  ( $D_c$  è il minimo stimato per della funzione  $D$ ). In questo caso la funzione prestazione globale viene chiamata circa 800 volte per ogni ottimizzazione. In Fig. 2 [7] è riportato l'insieme dei punti di Pareto. In tal caso si presenta alla scelta del progettista un ampio quadro delle soluzioni possibili. Ogni soluzione richiede però circa 500 chiamate delle funzioni obiettivo. L'ottenimento del quadro delle soluzioni possibili risulta quindi molto oneroso (circa 250.000 chiamate delle funzioni obiettivo) e tempi di calcolo molto dilatati [7].

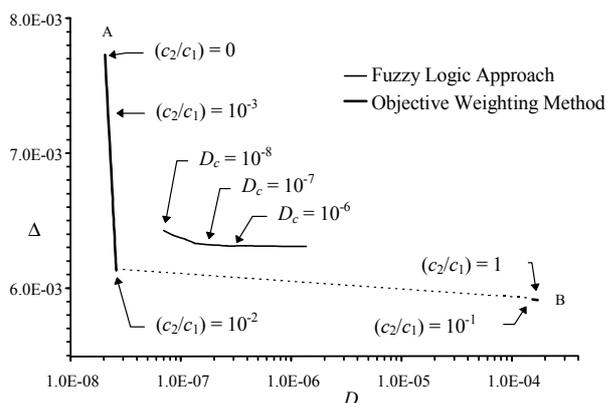


Fig. 1. Risultati ottenuti col metodo di ottimizzazione pesata al variare del rapporto  $c_2/c_1$  e col metodo della logica sfumata al variare di  $D_c$

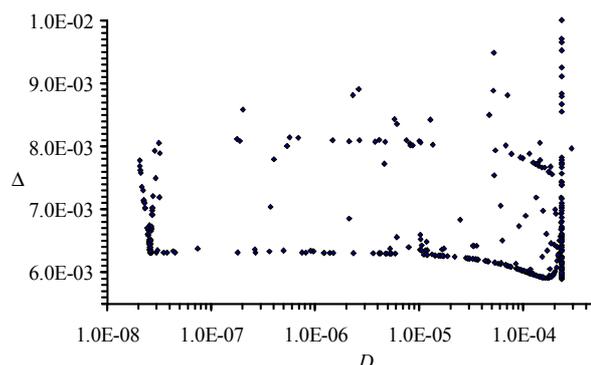


Fig. 2. L'insieme dei punti di Pareto

- [1] P. Di Barba, A. Gottvald, and A. Savini, "Global Optimization of Loney's Solenoid: a Benchmark Problem", *Int. Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics*, Vol. 6, No. 4, 1996
- [2] C.A. Borghi, P. Di Barba, M. Fabbri, and A. Savini, *A Comparative Study of the Loney's Solenoid by Different Techniques of Global Optimization*, Proc. 4th Int. Workshop on Optimization and Inverse problems in Electromagnetism, Brno (Repubblica Ceca), Giugno 1996
- [3] C.A. Borghi and M. Fabbri, *A Combined Technique for the Global Optimization of the Inverse Electromagnetic Problem Solution*, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 33, n. 2, pp. 1947-1950, 1997
- [4] C. A. Borghi and M. Fabbri, *Iron Shielded NMR Optimization*, Numelec'97, Lyon, Francia, Marzo 1997
- [5] M. Chiampi, C. Ragusa, and M. Repetto, "Fuzzy Approach for Multiobjective Optimization in Magnetics", *IEEE Trans. Magn.*, vol.32, no.3, pp.1234-1237, Maggio 1996
- [6] D. Srinivasan and S. R. H. Hoole, "Fuzzy Multiobject Optimization for the Starting Design of a Magnetic Circuit", *IEEE Trans. Magn.*, vol.32, no.3, pp.1230-1233, Maggio 1996
- [7] C.A. Borghi, P. Di Barba, M. Fabbri, and A. Savini, *Loney's Solenoid Multi-Objective Optimization Problem*, IEEE-CEFC'98, Tucson (Arizona-USA), Giugno 1998