

# **METODI DI OTTIMIZZAZIONE PER LA SOLUZIONE DEL PROBLEMA DI SINTESI DI CAMPO ELETTROMAGNETICO**

**C.A. Borghi, M. Fabbri**

**Istituto di Elettrotecnica - Università degli Studi di Bologna**

Nel progetto di un elettromagnete si deve determinare il sistema di correnti che generano un dato campo magnetico in una determinata regione dello spazio. Il problema che si propone è un problema inverso che può avere infinite soluzioni. Tale problema è un problema malposto secondo la definizione di Hadamard. La determinazione della soluzione di progetto riguarda un problema di sintesi che può essere risolto come problema di ottimizzazione. In tal caso infatti si introduce un vincolo ulteriore che è espresso dall'imposizione che il sistema di correnti prescelto renda massima una data funzione obiettivo. Ciò rende possibile isolare la soluzione di progetto fra le infinite soluzioni del problema inverso. Inoltre la definizione della funzione obiettivo permette al progettista di avere una leva ulteriore su cui agire per tenere conto di esigenze ingegneristiche che altrimenti non potrebbero essere soddisfatte.

Si consideri come esempio una configurazione di campo assialsimmetrica generata da bobine concentriche. Stabilito il numero di tali bobine, le incognite del problema di sintesi sono le posizioni e le intensità delle correnti. Uno dei metodi utilizzati è l'ottimizzazione composta delle correnti e delle posizioni [1,2]. In tal caso l'ottimizzazione viene fatta separatamente per le intensità e per le posizioni delle correnti. L'integrazione fra i risultati dei due livelli di ottimizzazione è realizzato per mezzo di un metodo iterativo. La trattazione del problema malposto è fatta per mezzo del metodo di Tikhonov. Per gli esempi riportati nelle referenze citate, come funzione obiettivo viene utilizzata l'energia magnetica. La minimizzazione della funzione obiettivo viene fatta per mezzo del metodo dei minimi quadrati.

Il metodo di minimizzazione citato è uno dei metodi deterministici per la ricerca dei minimi locali. Questo, come altri metodi deterministici, quali il metodo del gradiente coniugato, il metodo dei moltiplicatori, il metodo quasi-Newton ed altri ancora, sono metodi standard, ben testati con ampie possibilità applicative. Tuttavia, in presenza di più minimi locali, la ricerca del minimo fatta con tali metodi non dà alcuna indicazione oltre al minimo trovato. Inoltre il minimo locale raggiunto dipende dalla posizione iniziale scelta per la ricerca. Per problemi non lineari, come nel caso in esame, diviene essenziale potere disporre di metodi per la ricerca del minimo globale. In [3] è stato proposto per soluzione del problema di sintesi di campo magnetico, la ricerca del minimo globale applicando il metodo delle traiettorie [4]. La traiettoria di una particella fittizia è definita in modo esplicito dal valore della funzione obiettivo. Essa tende al raggiungimento di un obiettivo ad un livello prefissato evitando tutti i minimi locali posti a livelli superiori. In tal modo, con approssimazioni successive, è possibile determinare il bacino di convergenza del minimo globale, minimo che può essere poi individuato per mezzo di un metodo standard per la ricerca locale.

Tale metodo, applicato al progetto del sistema di campo poloidale per macchine toroidali per esperimenti sulla fusione termonucleare controllata a confinamento magnetico, ha portato al minimo globale con tempi di calcolo ridotti. Nelle figure 1 e 2 sono riportati due esempi che si riferiscono a due differenti configurazioni. Nel primo caso (fig. 1) viene considerata una

configurazione toroidale per un plasma a sezione circolare. Il problema consiste nella determinazione delle posizioni ed intensità di 20 bobine, esterne alla regione circolare di raggio minore di 0.59 m e raggio maggiore di 0.935 m, che producono campo magnetico nullo in tale regione e flusso concatenato di 1 Wb. Nel secondo caso (fig. 2) viene considerata una configurazione per plasma con sezione a D e linee di flusso con due punti di nullo. Tale regione è caratterizzata da un raggio minore di 0.63 m, da un raggio maggiore di 1.675 m, da un'elongazione di 2.08 ed una triangularità di 0.67. Il flusso magnetico richiesto sulla superficie di confine della regione contenente il plasma, è di 0.95 Wb. In tal caso si ipotizza la presenza del plasma la cui distribuzione di corrente è simulata da 170 bobine poste all'interno della regione toroidale. In entrambe i casi l'energia magnetica è usata nella funzione obiettivo e funge da funzionale stabilizzante per il problema malposto.

La formulazione del problema di ottimizzazione e della funzione obiettivo prescelta, è risultata particolarmente importante nella soluzione del problema di progetto. Infatti, oltre alla particolare quantità di tipo fisico-ingegneristico quale ad esempio l'energia magnetica, risulta possibile definire una funzione obiettivo che tenga anche conto della tolleranza richiesta per la soluzione del problema elettromagnetico. Si è visto in tal caso che la soluzione trovata sfrutta in maniera ottimale la tolleranza permessa [5]. Infatti, utilizzando nella costruzione della funzione obiettivo tolleranza ed energia magnetica, a tolleranze maggiori si sono trovate valori minori dell'energia magnetica.

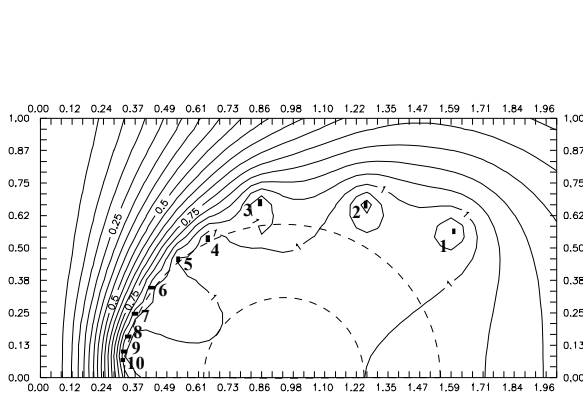


Fig. 1

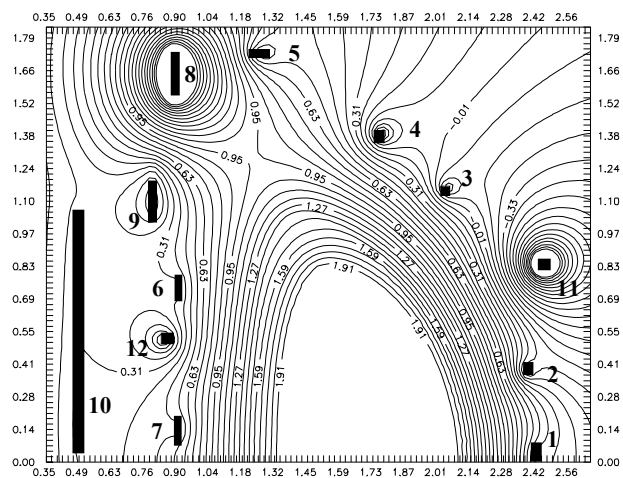


Fig. 2

- [1] C.A. Borghi, U. Reggiani, G. Zama, *An Approach to the Design of the Poloidal Field System for a Toroidal Device*, Proc. JET-Fusion Technology, Vol. 2, pp. 1574-1578, Londra, settembre 1990
- [2] C.A. Borghi, U. Reggiani, G. Zama, *A Method for the Solution of an Axisymmetric Magnetic Field Synthesis Problem*, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 27, n. 5, pp. 4091-4096, settembre 1991
- [3] C.A. Borghi and M. Fabbri, *A Global Optimisation Method for the Solution of a Magnetic Field Synthesis Problem*, comunicazione interna, Istituto di Elettrotecnica dell'Università degli Studi di Bologna, Febbraio 1995
- [4] J. W. Rogers and R.A. Donnelly, *A search Technique for Global Optimization in a Chaotic Environment*, J. Optimization Theory and Applications, vol. 61, n. 1, pp.110-121, 1989
- [5] C.A. Borghi and M. Fabbri, *Engineering Approaches of a Magnetic Field Synthesis Problem*, comunicazione interna, Istituto di Elettrotecnica dell'Università degli Studi di Bologna, Ottobre 1994