OTTIMIZZAZIONE DELLA SOLUZIONE DI PROBLEMI DI SINTESI MAGNETICA TRAMITE ALGORITMI EVOLUTIVI A MOLTI MEMBRI

C.A. Borghi, M. Fabbri

Dipartimento di Ingegneria Elettrica, Università degli Studi di Bologna,
Viale Risorgimento, 2 - 40136 Bologna

La determinazione dei parametri di progetto di un dispositivo elettromagnetico può essere effettuata determinando la soluzione di un problema di ottimizzazione nella forma:

$$\min f$$

dove la funzione obiettivo f tiene conto dei vincoli e delle specifiche richieste sul dispositivo. La scelta di f dipende dal tipo di applicazione e risulta generalmente non lineare. Se la funzione è limitata inferiormente esiste almeno un minimo locale. Se esistono più minimi locali si definisce come minimo globale il minore dei minimi locali.

I metodi deterministici basati sul gradiente, oltre ad ottenere solitamente un minimo locale, dipendente dalla soluzione di tentativo scelta, possono essere utilizzati soltanto per minimizzare funzioni continue e derivabili, di variabili reali. Al contrario, i metodi stocastici basati solo sulla valutazione della funzione obiettivo sono robusti e applicabili a funzioni di variabile reale oppure intera od anche non-numerica. Solitamente tuttavia, il numero di chiamate della funzione obiettivo durante un processo di ottimizzazione è solitamente superiore a quello necessario ad un algoritmo deterministico.

Nelle applicazioni si è utilizzato un metodo di ottimizzazione stocastico GES (General Evolution Strategies) che cerca di simulare la strategia evolutiva (darwiniana) di adattamento di una popolazione al suo ambiente [1-3]. Come illustrato in Fig. 1, le operazioni eseguite ad ogni iterazione dall'algoritmo GES, con μ genitori, sessualità ρ e λ figli, sono: riproduzione, mutazione e selezione.

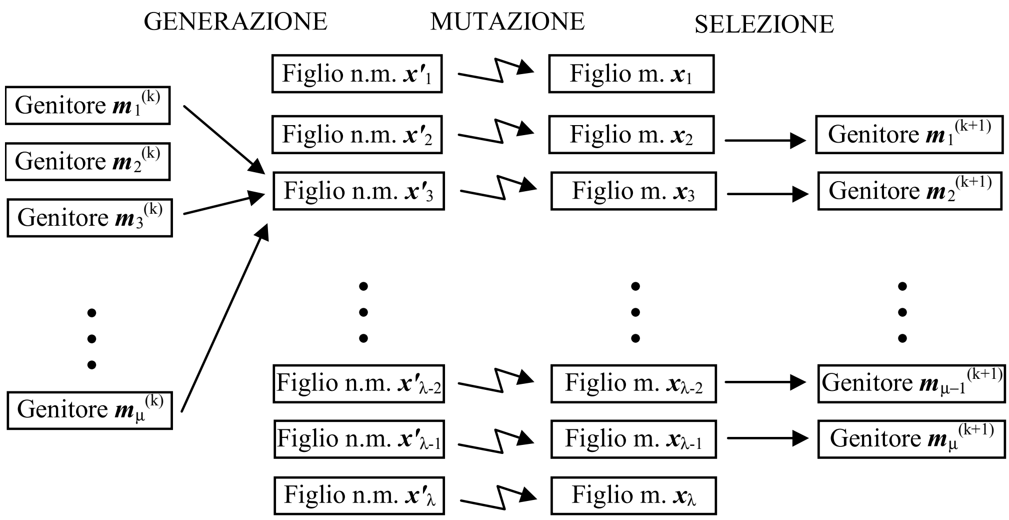

Fig.1 – Schema di principio del metodo GES.

Siano inizialmente assegnati gli insiemi, di μ elementi vettoriali, $M^{(0)}$ (popolazione iniziale dei "genitori") ed $S^{(0)}$ (parametri di controllo): $M^{(0)} = \{\boldsymbol{m}_1, \boldsymbol{m}_2, \ldots, \boldsymbol{m}_\mu\}$ ed $S^{(0)} = \{\boldsymbol{s}_1, \boldsymbol{s}_2, \ldots, \boldsymbol{s}_\mu\}$. Le seguenti operazioni sono ripetute ad ogni iterazione, indicata con l'indice k.

Generazione: Vengono scelti casualmente ρ vettori "genitori" nell'insieme $M^{(k)}$. Si genera un vettore "figlio non mutato" $\boldsymbol{x}'$ attribuendo ad ogni componente il valore della corrispondente componente di uno dei ρ vettori "genitori", scelto casualmente. Contemporaneamente si definisce un nuovo vettore di parametri di controllo $\boldsymbol{s}'$, associato ad $\boldsymbol{x}'$, attribuendogli, per ogni componente, il valore del parametro di controllo associato alla componente del vettore "genitore" scelto. Ripetendo λ volte questa procedura si generano λ vettori che definiscono l'insieme dei λ "figli" non mutati. L'unione dei vettori dei parametri di controllo definisce l'insieme $S^{(k)}$.

Mutazione: Viene formato l'insieme dei "figli mutati" $X^{(k)} = \{\boldsymbol{x}_1, \boldsymbol{x}_2, \ldots, \boldsymbol{x}_\lambda\}$ con un generatore gaussiano utilizzando come varianze i parametri di controllo $\boldsymbol{s}'$ e come valore medio le componenti di $\boldsymbol{x}'$.

Selezione: Viene formato il nuovo insieme dei "genitori" $M^{(k+1)}$ utilizzando una delle seguenti strategie:

– Strategia ($\mu/\rho+\lambda$): Si scelgono i μ elementi a minor valore di f dall'insieme $X^{(k)} \cup M^{(k)}$;

– Strategia ($\mu/\rho, \lambda$): Si scelgono i μ elementi a minor valore di f dall'insieme $X^{(k)}$.

Il metodo descritto è stato applicato a alcuni problemi test matematici e a varie applicazioni ingegneristiche (il solenoide di Loney, una pompa elettromagnetica a metalli liquidi, alcuni attuatori a magneti permanenti, il sistema principale di bobine di un NMR, lo SMES). Dai risultati medi delle ottimizzazioni effettuate si è dedotto che, a parità di λ, la strategia ($\mu/\rho, \lambda$) è più efficace della strategia ($\mu/\rho + \lambda$), infatti:

1. Il numero di iterazioni si mantiene ad un valore circa costante al variare di μ, ρ e λ;
2. Il numero di chiamate della f è circa proporzionale a λ, ma è generalmente minore per la strategia ($\mu/\rho, \lambda$) rispetto alla strategia ($\mu/\rho + \lambda$);
3. A parità di λ, la strategia ($\mu/\rho, \lambda$) ha una probabilità di raggiungere il minimo globale sempre superiore alla strategia ($\mu/\rho + \lambda$).

Per quanto riguarda i singoli metodi, la strategia (1/1+1) si dimostra adatta ad un ampio spettro di applicazioni. È ottimale nel caso in cui la funzione obiettivo non è molto complessa e presenta pochi minimi. In caso contrario risulta conveniente utilizzare strategie del tipo ($\mu/\rho, \lambda$), che permettono di individuare in ogni caso la regione in cui è localizzato il minimo globale. La scelta dei parametri μ, ρ e λ è fatta in base al tipo di funzione da minimizzare. Valori tipici di ρ e λ/μ sono $2 \div 3$ e $6 \div 7$, rispettivamente.

[1] 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", *Int. J. of Applied Electromagnetics and Mechanics* 10 (1999) 417-423.

[2] C.A. Borghi, M. Fabbri and P.L Ribani, "Design Optimization of a Microsuperconducting Magnetic Energy Storage System", *IEEE Trans. Magn.*, 35(5) (1999) 4275-4284.

[3] C. A. Borghi, D. Casadei, A. Cristofolini, M. Fabbri and G. Serra, "Application of a Multiobjective Minimization Technique for Reducing the Torque Ripple in Permanent Magnet Motors", *IEEE Trans. Magn.*, .35(5) (1999) 4238-4246.