

# ***ANALISI WORST CASE NEL PROGETTO ROBUSTO DI MAGNETI NMR***

***A. Ambrisi, A. Formisano, R. Martone,***

**Dip. Ing. Informazione, Seconda Università di Napoli,  
Via Roma 29, 81031, Aversa (CE)**

Il progetto robusto dei dispositivi elettromagnetici è tipicamente associato alla valutazione di opportune figure di merito che in genere implicano la caratterizzazione statistica delle prestazioni del dispositivo [1], il che aumenta notevolmente il carico computazionale richiesto per l'ottimizzazione.

D'altro canto, se lo sforzo progettuale è mirato ad ottenere un progetto *ottimo* oltre che robusto, la funzione obiettivo utilizzata per ottenere l'ottimalità è solitamente composta da uno o più termini che esprimono la "prestazione" (e talvolta il costo) del dispositivo, e da termini addizionali che esprimono la "robustezza". L'esempio più comune di tale approccio è rappresentato dalla *Quality Loss Function* (QLF) introdotta da G. Taguchi negli anni '50 [1]. In tali casi, il problema di progetto è formulato in termini di un problema di ottimizzazione multi-obiettivo, e va affrontato mediante approcci opportuni, quali ad esempio l'ottimalità alla Pareto, che tiene conto dell'impatto sulle prestazioni del dispositivo dei vari obiettivi parziali.

La caratterizzazione statistica della robustezza che sottende il concetto di QLF è particolarmente adatta a dispositivi prodotti in larga scala, per i quali va garantita la migliore prestazione media. Per produzioni in piccola scala, o per dispositivi ad elevate prestazioni, per i quali il costo è un problema marginale, e la prestazione di progetto deve essere garantita anche a fronte delle inevitabili tolleranze nei processi di lavorazione e di assemblaggio, può essere vantaggioso adottare una definizione differente di qualità, basata sulla "prestazione peggiore", piuttosto che su quella media.

La qualità "nel caso peggiore" può essere valutata in maniera efficiente utilizzando le informazioni derivanti dall'analisi di sensibilità del dispositivo [2] e, nel caso in cui l'ottimizzazione sia effettuata mediante algoritmi al primo ordine, senza carico computazionale aggiuntivo, almeno per quel che riguarda i parametri di progetto. Ovviamente, la sensibilità delle prestazioni rispetto a parametri non coinvolti nel processo di ottimizzazione va calcolata in maniera esplicita.

Il gruppo di ricerca della Seconda Università di Napoli ha messo a punto un approccio per il progetto ottimo robusto di magneti di polarizzazione per le applicazioni di Risonanza Magnetica Nucleare (NMR), basato sul concetto di "qualità nel caso peggiore" esposto. L'approccio si fonda su una procedura per la localizzazione rapida del caso peggiore in intorni ragionevolmente ridotti della configurazione nominale, quali quelli associati agli effetti delle tolleranze nella realizzazione dei dispositivi elettromagnetici. L'algoritmo, denominato "TAQS" (*Tolerance Analysis Quick Solver*) si basa sul calcolo della sensibilità delle prestazioni rispetto ai parametri e sull'approssimazione lineare della dipendenza delle prestazioni rispetto ai parametri. Il *flowchart* dell'algoritmo è riportato in Fig. 1.

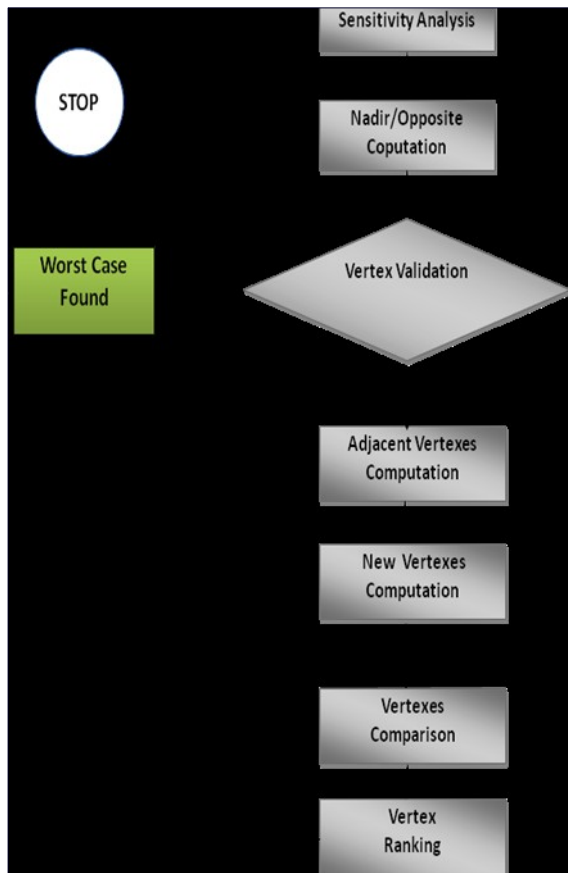


Fig. 1 – Flowchart dell'algoritmo TAQS per la localizzazione del Worst Case

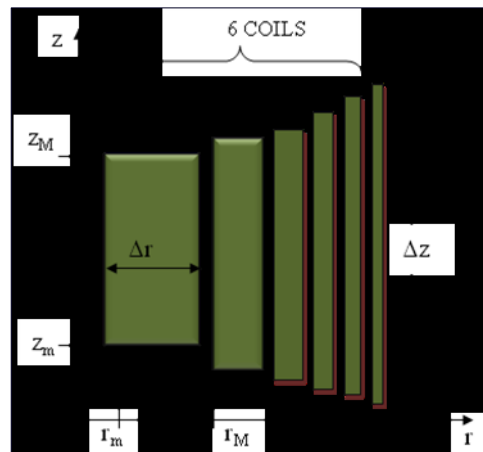


Fig. 2 – Layout del magnete considerato.

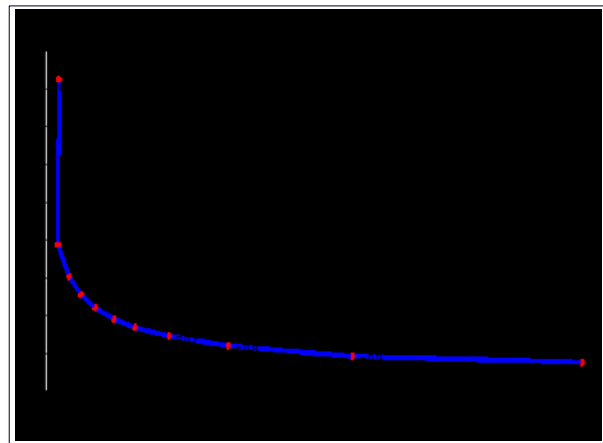


Fig. 3 – Fronte di Pareto relativo al progetto ottimo robusto del magnete NMR

Il metodo è stato applicato al progetto ottimo robusto dell'insero resistivo di un magnete ibrido [3], composto da 6 sezioni in rame, le cui dimensioni geometriche rappresentano i parametri di progetto. La prestazione in termini di valore al centro e uniformità del campo assiale sono imposte come vincoli, mentre il volume (legato al costo del magnete) è considerato come la prestazione da ottimizzare, Il secondo termine dalla funzione di ottimalità è rappresentato dalla robustezza (ovvero dall'uniformità nel caso peggiore per effetto delle tolleranze), valutata utilizzando l'algoritmo TAQS. Il layout del magnete è riportato in Fig. 2. Il fronte di Pareto ottenuto utilizzando il metodo proposto di progetto ottimo robusto è riportato in Fig. 3. L'algoritmo utilizzato per la minimizzazione è basato su un algoritmo di Interior-Point; una singola ottimizzazione (un punto sul fronte di Pareto) richiede 37 s. su un PC Intel® Core™2 Quad CPU @ 2.4 GHz.

## Referenze

- [1] G. Taguchi, *Systems of Experimental Design*: Unipub/Kraus, 1978.
- [2] A. Ambrisi, A. Formisano and R. Martone, "Tolerance Analysis of NMR Magnets", *Proc. of Compumag 2009*, Florianapolis, Brazil, 22-26 Nov 2009.

- [3] I.R Dixon, M.D. Bird, J.R. Miller, "Mechanical Design of the Series Connected Hybrid Magnet Superconducting Outsert", Applied Superconductivity, IEEE Transactions on Supercon., Vol. 16, No. 2, pp 981-984, June 2006