

ANALISI DELL'IMPATTO DEGLI ERRORI DI COSTRUZIONE E ASSEMBLAGGIO DEI MAGNETI SULLE PRESTAZIONI DEL REATTORE ITER

A. Formisano, R. Martone

Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione
Seconda Università di Napoli, Via Roma 29, 81031, Aversa (CE)

L'errore sul campo magnetico che esiste nel reattore da fusione ITER come risultato delle imperfezioni nella fabbricazione e nel posizionamento dei magneti ha un impatto critico sulle capacità di confinamento del plasma della macchina, e va pertanto strettamente controllato. Come conseguenza di tali criticità, prima di avviare la produzione dei magneti di campo per il reattore ITER, si è ritenuto fondamentale un riesame dell'impatto di tali errori sulle prestazioni della macchina. I ricercatori dell'Unità di Elettrotecnica della Seconda Università di Napoli sono coinvolti attivamente nell'opera di riesame critico, e in questa nota verranno brevemente presentati i primi risultati dello studio effettuato.

Gli obiettivi dell'analisi sono essenzialmente:

1. Stabilire una rappresentazione parametrica delle singole incertezze di posizione e forma sui magneti (in particolare, sulle bobine di campo toroidale - TFC), in modo da poter effettuare uno studio parametrico dell'impatto di tali errori;
2. Effettuare una valutazione dell'errore sul campo nella configurazione finale, e valutare la sensibilità alle varie tolleranze definite per la realizzazione dei magneti, tenendo esplicitamente in conto dell'interazione tra le TFC adiacenti durante l'assemblaggio;
3. Valutare la capacità delle bobine di correzione previste nel progetto di far fronte agli errori attesi;
4. (Eventualmente) Ridefinire le specifiche di tolleranza per la realizzazione dei magneti, in accordo con i partner industriali.

L'indice sintetico di errore (Three Modes Error Index) adottato per valutare la discrepanza dell'effettiva mappa del campo magnetico rispetto a quella nominale tiene conto essenzialmente delle armoniche poloidali e toroidali di ordine più basso del campo, in quanto sono quelle che hanno maggior impatto sulle prestazioni del reattore:

$$\frac{B_{3\text{-mode}}}{B_0} = \sqrt{\left(\frac{B_{2,1}}{B_0}\right)^2 + 0.8\left(\frac{B_{3,1}}{B_0}\right)^2 + 0.2\left(\frac{B_{1,1}}{B_0}\right)^2} \quad (1)$$

in cui:

$$B_{m,n} = \frac{1}{2\pi^2} \int_0^{2\pi} \left[\int_0^{2\pi} B_{\perp}(\varphi, \hat{\vartheta}) e^{j(n\varphi - m\hat{\vartheta})} d\hat{\vartheta} \right] d\varphi \quad (2)$$

Essendo B_0 il valore nominale del modulo del campo toroidale (5.4T) e B_{\perp} il valore della componente normale del campo errore sulla superficie nominale isoflusso considerata come riferimento per il calcolo del TMEI. Per consentire al reattore un funzionamento accettabile, il TMEI deve restare al di sotto delle 50 p.p.m.

L'analisi è stata condotta in riferimento alla configurazione di progetto descritta in Fig. 1. La mappa di campo nominale e le relative correnti nelle bobine poloidali e nel solenoide centrale sono riferite ad una situazione di inizio del *flat top* nella scarica di plasma, e la superficie isoflusso utilizzata per il calcolo del TMEI è quella corrispondente ad un fattore di sicurezza $q=2$.

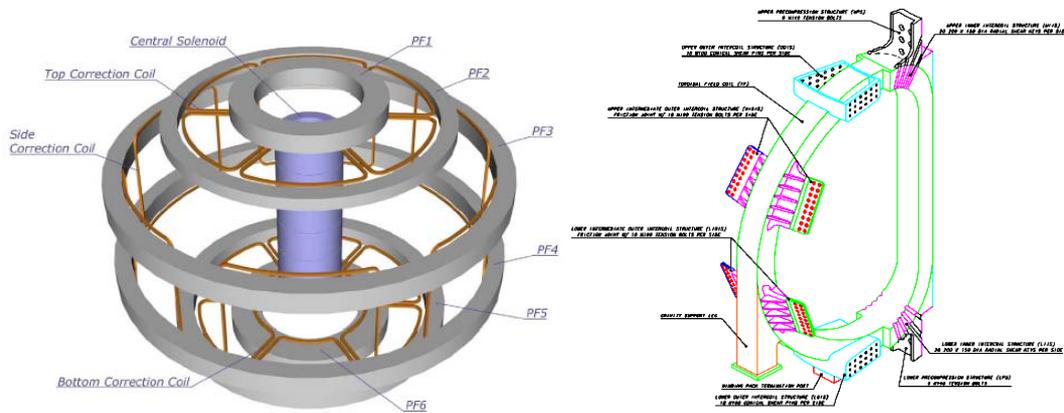


Fig. 1 – Configurazione nominale dei magneti del reattore ITER considerata per l'analisi dell'impatto delle tolleranze. Magneti di campo poloidale e bobine di correzione (sinistra), e bobina di campo toroidale (destra). Nella configurazione complessiva sono previste 18 bobine di campo toroidale (Immagine tratte da www.iter.org).

Per la parametrizzazione delle bobine poloidali e di quelle del solenoide centrale si è adottata una descrizione analitica dell'asse delle singole bobine, in grado di descrivere in maniera soddisfacente tutte le deformazioni critiche. Per le TFC si è utilizzata una rappresentazione mediante curva interpolante (*spline* di ordine 3) ottenuta imponendo il passaggio dell'asse dell'avvolgimento per i punti di controllo definiti dalle specifiche di tolleranza. L'analisi dell'impatto degli errori di fabbricazione e assemblaggio è stata condotta con approccio statistico. Il campo di errore derivante da una particolare "realizzazione" del sistema magnetico è stato valutato mediante un approccio basato sulla linearizzazione della complessa relazione tra parametri di deformazione e mappa di campo, il che ha consentito da un lato di rendere il calcolo estremamente efficiente e dall'altro di valutare anche la sensibilità della mappa di campo alle singole deformazioni. Si sono così ottenute le distribuzioni di probabilità del TMEI rispetto ai vari parametri di tolleranza, un esempio delle quali è riportato in Fig. 2.

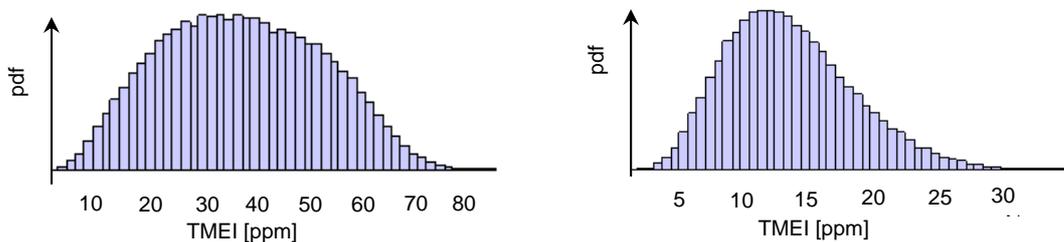


Fig. 2 – Examples of probability density distributions for TMEI deriving from a tilting of one module in Central Solenoid (left) and from a tilting of one poloidal field coil (right).

Bibliografia

- [1] ITER Design Description Document: DDD 11 ITER_D_22HV5L, "Magnet Section 1. Engineering Description", v2.2, 14 Oct 2006.
- [2] N. Mitchell and J. Knaster: "Contribution to Plasma Error Fields from the CS, PF and TF coils, ITER_D_23DVQU, v. 1.3.