

SVILUPPO DI SENSORI DI CAMPO MAGNETICO PER IL CONTROLLO DELL'EQUILIBRIO E DI METODI PER LA MODELLAZIONE DELLE CORRENTI DI HALO NELL'ESPERIMENTO ITER

G. Chitarin^{1,2}, E. Alessi¹, R.S. Delogu¹, A. Gallo^{1,3}, S. Peruzzo¹

(1) Consorzio RFX - Associazione Euratom-Enea

Corso Stati Uniti 4, 35127 Padova

(2) Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali, Università di Padova

Strad. S. Nicola 3, 36100 Vicenza

(3) Dipartimento di Ing. Elettrica, Università di Padova

v. Gradenigo 6/a 35127 Padova

Nell'ambito delle attività coordinate dall'Unione Europea per la costruzione del reattore sperimentale ITER, presso il Consorzio RFX si stanno sviluppando e provando i sensori di campo magnetico che verranno montati all'interno del complesso toroidale del reattore e che sono necessari per il controllo attivo della forma e posizione del plasma termonucleare confinato magneticamente. Si sta inoltre sviluppando un modello numerico per la simulazione e la ricostruzione della distribuzione delle correnti di Halo a partire da un numero limitato delle misure e da ragionevoli ipotesi sulla struttura armonica spaziale delle perturbazioni di plasma.

I sensori in-Vessel dovranno fornire misure del campo magnetico sufficientemente precise ed affidabili durante il funzionamento di ITER, quando si prevede che verranno sottoposti a condizioni di vuoto, temperatura e radiazione estremamente gravose (flussi neutronici fino a 10^{18} n/(m² s), fluenze fino a 10^{24} m², calore generato internamente 1 W/cm³, temperatura fino a 500 °C). In tali condizioni anche i più robusti tra i materiali isolanti organici ad elevate prestazioni (poly-imide) non sono utilizzabili, mentre i sensori realizzati con cavi ad isolamento minerale che sono stati usati anche recentemente nel JET sarebbero sede di una forza elettromotrice spuria dovuta ai gradienti termici e alla radiazione che causerebbe una inaccettabile deriva delle misure.

Si sono quindi sviluppate soluzioni alternative basate su due diversi concetti:

- sensori costituiti da conduttori metallici dotati di un sottile isolamento ceramico flessibile o a base di fibre di vetro resistenti ad alta temperatura, avvolti e "impregnati" con ceramica fluida che poi viene solidificata ad elevata temperatura.
- sensori realizzati con tecnologia LTCC (Low Temperature Co-fired Ceramic) costituiti da strati di materiale ceramico, su cui sono disegnate piste conduttive, impilati e collegati tra loro da opportuni passaggi conduttivi, pressati e quindi sinterizzati in un unico pezzo

Si sono poi realizzati diversi prototipi di sensore basati sulle 2 tecnologie e sono stati provati sperimentalmente con i seguenti obiettivi:

- verificare la conducibilità termica dei equivalente dei sensori (importante per ridurre i gradienti termici)
- verificare la proprietà meccaniche del sensore

- verificare la proprietà magnetiche (area equivalente lungo la direzione principale e trasversale) ed elettriche del sensore
- verificare il comportamento del sensore quando viene sottoposto a radiazione neutronica e a gradienti termici

Le prove hanno mostrato che l'affidabilità dell'isolamento costituito da ceramica flessibile è molto critica e inoltre che l'adesione tra la ceramica fluida e i conduttori non è affidabile. Le prove dei sensori conduttori realizzati con un cavo isolato con fibra di vetro resistente ad elevate temperature (POZh) hanno dato invece risultati molto positivi.

Anche le prove effettuate su una prima serie di prototipi realizzati con tecnologia LTCC hanno dato risultati molto positive per quanto riguarda le proprietà magnetiche (tensione di isolamento, area equivalente principale e trasversale, banda passante), termiche e meccaniche. Sono in attualmente in corso di preparazione le prove per caratterizzare il comportamento dei sensori in vuoto e in radiazione neutronica. A valle di tali prove verrà realizzata una seconda serie di prototipi con caratteristiche vicine a quelle ritenute ottimali per ITER, in base alla quale, se i risultati saranno ancora positivi, si intendono progettare e costruire i sensori definitivi.

Riguardo alla modellazione delle correnti di Halo, partendo dal modello 3D a geometria semplificata (con sezione circolare) utilizzato e provato in precedenza, si è realizzato un modello che riproduce realisticamente la geometria reale della prima parete e del Divertore di ITER. Attualmente si sta sviluppando tale modello per arrivare al calcolo della distribuzione di corrente corrispondente ad un plasma deformato secondo uno o più modi MHD, per ottenere un insieme di possibili verosimili "impronte" delle correnti di Halo sulla prima parete. Infatti, a causa dell'effetto non lineare dovuto al contatto tra plasma e prima parete, la relazione tra i modi di deformazione del plasma e delle correnti di Halo sulla parete è una funzione fortemente discontinua.

Tale insieme di "impronte" verrà utilizzato per verificare l'efficacia dell'algoritmo che consente di riconoscere l'andamento spaziale della corrente di Halo a partire da un numero limitato delle misure sui moduli della prima parete. Inoltre verrà utilizzato per studiare come le correnti di Halo, una volta "iniettate" diffondono nella struttura Vessel e per stimare le conseguenti forze elettromagnetiche.

Aree di ricerca:

- g modellistica e sintesi di dispositivi e sistemi di interesse per l'ingegneria;
- h problemi inversi e metodi di ottimizzazione per i campi e i circuiti;

Tematiche specifiche:

- 4 schiere di sensori; sensori elettromagnetici, elettroacustici, elettromeccanici; micro sistemi elettro-meccanici, trasduttori ed attuatori;
- 8 fusione termonucleare controllata; magneti superconduttori; plasmi per applicazioni industriali; propulsori a plasma; acceleratori di particelle; elettrotermia; elettroacustica.

