

## PROGETTAZIONE DI DISPOSITIVI PER LA FUSIONE NUCLEARE

*M. Camplani<sup>1</sup>, B. Cannas<sup>1</sup>, F. Cau<sup>2</sup>, R. Delogu<sup>3</sup>, A. Fanni<sup>1</sup>, A. Montisci<sup>1</sup>, G. Sias<sup>1</sup>, P. Sonato<sup>3</sup>,  
P. Testoni<sup>1</sup>, M. K. Zedda<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Dipartimento di Ingegneria Elettrica ed Elettronica, Università di Cagliari, Cagliari.

<sup>2</sup>EPFL - CRPP - Fusion Technology Applied Superconductivity, Villigen, Switzerland.

<sup>3</sup>Consorzio RFX, Associazione Euratom-ENEA sulla Fusione, Padova.

L'unità di Cagliari conduce da diversi anni un'intensa attività di ricerca su argomenti riguardanti lo studio dei sistemi di protezione da eventi anomali e l'analisi e il progetto di nuovi componenti dei reattori per la fusione termonucleare controllata.

I primi eventi anomali oggetto di studio sono state le disruzioni (eventi critici in cui l'energia del plasma è rilasciata in pochi ms). La ricerca ha avuto lo scopo di sviluppare e confrontare fra loro due diversi approcci. Il primo basato su modelli di tipo black box. Sono stati sviluppati diversi tipi di reti neurali [1] [2] [3] utilizzando dati provenienti dal JET e da ASDEX Upgrade. In particolare per JET è stato progettato un sistema per predire una disruzione e contemporaneamente definire il grado di novità (Novelty Detection) del campione in esame allo scopo di rendere più affidabile il sistema di predizione [4]. Sono state applicate tecniche di pre-processing e data-refining per la costruzione del database di addestramento del predittore neurale per ASDEX Upgrade [5], per il quale è stato inoltre studiato un sistema per il mapping dello spazio operativo del reattore basato su tecniche neurali non supervisionate e tecniche statistiche [6]. Il secondo approccio sviluppato è il cosiddetto 'approccio fisico'. Con riferimento al JET, sono stati analizzati diversi tipi di disruzione le cui cause possono essere spiegate da fenomeni conosciuti. Le disruzioni analizzate sono state: Mode Lock [7], Instabilità di tipo  $n=2$ , Limite di densità, Limite di radiazione. Lo studio ha portato allo sviluppo di diversi algoritmi in grado di identificare il tipo di disruzione in esame. Con riferimento invece ad un altro tipo di instabilità, gli ELMs (Edge Localied Modes), sono stati seguiti due approcci di ricerca. Nel primo approccio è stata studiata la possibilità di caratterizzare dinamicamente questo tipo di evento anomalo per determinare se il fenomeno degli ELM presenta un comportamento caotico (deterministico) oppure random (predominato dal rumore). A questo scopo sono stati calcolati la dimensione di embedding ed il massimo esponente di Lyapunov di ciascun impulso [8]. Il secondo approccio ha riguardato gli esperimenti di *ELM pacing* condotti al JET, nei quali è stato dimostrato che, mediante una variazione rapida di campo magnetico verticale, è possibile aumentare la frequenza propria degli ELM e di conseguenza diminuirne l'ampiezza, evitando carichi termici eccessivi [9].

Per quanto riguarda il design dei nuovi componenti di ITER, l'approssimarsi della scelta del design finale dell'antenna ICRH ha comportato il ricorso a nuovi task per validare le scelte proposte. L'attività di ricerca in questo campo ha riguardato lo studio mediante tecniche numeriche dell'integrità strutturale dei componenti meccanici dell'antenna soggetta ai carichi elettrodinamici e termomeccanici dovuti alle disruzioni [10]. Un'altra attività di ricerca è stata rivolta allo studio del comportamento elettromagnetico e meccanico dei cavi superconduttori di ITER, e in particolare all'analisi del valore di picco del campo magnetico, del valore massimo di stress nella struttura in acciaio e dello sforzo di taglio nell'isolante [11] [12]. I risultati di queste analisi permetteranno di guidare la scelta ottimale del grading dei winding pack per un migliore sfruttamento dei conduttori a seconda del livello locale del campo magnetico. Si è infine dedicata parte dell'attività di ricerca allo studio di nuove soluzioni per

migliorare la stabilità verticale del plasma di ITER ed evitare fenomeni distruttivi sia tramite strutture passive sia tramite avvolgimenti attivi. Lo studio in questo settore ha permesso di valutare la realizzabilità delle soluzioni proposte tenendo conto dei vincoli costruttivi del reattore ITER.

## Bibliografia

- [1] B. Cannas, A. Fanni, A. Montisci, G. Murgia, P. Sonato, M.K. Zedda, "Dynamic Neural Networks for Prediction of Disruptions in Fusion Reactors (Tokamaks)," 10th International Conference on Engineering Applications of Neural Networks (EANN), Thessaloniki, August 2007.
- [2] B. Cannas, R.S. Delogu, A. Fanni, A. Montisci, P. Sonato, M.K. Zedda, "Geometrical Kernel Machine for Prediction and Novelty Detection of disruptive events in TOKAMAK machines," IEEE International Workshop on Machine Learning for Signal Processing, Thessaloniki, Greece, August 2007.
- [3] B. Cannas, R.S. Delogu, A. Fanni, P. Sonato, M.K. Zedda, "Support Vector Machines for disruption prediction and novelty detection at JET," *Fusion Engineering and Design*, vol 82, pp. 1124-1130, 2007.
- [4] B. Cannas, A. Fanni, P. Sonato, M.K. Zedda, "A prediction tool for real-time application in the disruption protection system at JET," *Nuclear Fusion*, vol. 47, pp. 1559-1569, 2007
- [5] B. Cannas, A. Fanni, G. Pautasso, G. Sias, P. Sonato and ASDEX Upgrade Team. "Criteria and algorithms for constructing reliable data bases for statistical analysis of disruptions at ASDEX Upgrade," 25th Symposium of Fusion Technology, Rostock, Germany, Sept. 2008.
- [6] M. Camplani, B. Cannas, A. Fanni, G. Pautasso, G. Sias, P. Sonato, M.K. Zedda, "Operational Space Mapping at ASDEX Upgrade using Clustering Techniques," 34<sup>th</sup> EPS Conference on Controlled Fusion and Plasma Physics, Warsaw, July 2007.
- [7] M.K.Zedda, D.Testa, B.Cannas, A.Fanni, F.Piccolo, F.Sartori, P.Sonato, "An example of a new approach for the development of disruption protection tools for JET: the mode-lock disruption class," 34<sup>th</sup> EPS Conference on Controlled Fusion and Plasma Physics, Warsaw, July 2007.
- [8] M.K. Zedda, M. Camplani, B.Cannas, A.Fanni, P.Sonato, "Dynamic behaviour of type I and type III Edge localized modes in the JET tokamak," 35<sup>th</sup> EPS Conference on Controlled Fusion and Plasma Physics, Crete, Greece, June 2008 (accepted).
- [9] F. Sartori, P. Lomas, F. Piccolo, M.K. Zedda, "Synchronous ELM Pacing at JET using the Vertical Stabilisation Controller", 35<sup>th</sup> EPS Conference on Controlled Fusion and Plasma Physics, Crete, Greece, June 2008 (accepted).
- [10] P. Testoni, F. Cau, P. Sonato, "Electromechanical analysis of the ITER Ion Cyclotron antenna structure and components," *Fusion Engineering and Design*, vol. 82, pp 666-670, 2007.
- [11] P. Testoni, F. Cau, M. Di Mauro, A. Fanni, A. Portone, P. Sonato, E. Salpietro, "Electro-mechanical analysis of the European Superconducting Dipole," *Fusion Engineering and Design*, vol. 82, pp 1423-1430, 2007.
- [12] P. Testoni, F. Cau, A. Fanni, A. Portone, P. Sonato, "Static and transient electromagnetic features of the EFDA dipole," *IEEE Transaction on Applied Superconductivity* (in press).