

PROGETTAZIONE DI COMPONENTI E DIAGNOSTICA PER LA FUSIONE TERMONUCLEARE CONTROLLATA

Massimo Camplani¹, Barbara Cannas¹, Rita Delogu², Alessandra Fanni¹, Augusto Montisci¹, Giuliana Sias¹, Piergiorgio Sonato², Pietro Testoni³, Maria Katiuscia Zedda¹

¹Dipartimento di Ingegneria Elettrica ed Elettronica, Università di Cagliari, Cagliari.

²Consorzio RFX, Associazione Euratom-ENEA sulla Fusione, Padova.

³Analysis and Codes Group, Fusion For Energy, Barcelona, Spain.

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.

Uno dei maggiori problemi che ancora oggi pone dei limiti allo sviluppo dei reattori di nuova generazione sono le disruzioni (eventi critici in cui l'energia del plasma è rilasciata in pochi ms). Nell'ambito della fusione termonucleare, la comprensione e la predizione degli eventi disruptivi rimangono perciò tra i principali argomenti di ricerca.

Nell'ambito della ricerca sulla predizione delle disruzioni, sono stati sviluppati diversi tipi di predittori neurali utilizzando dati provenienti da ASDEX-Upgrade (AUG) e dal JET.

Sui dati sperimentali selezionati presso AUG, è stato progettato un predittore neurale in grado di predire le disruzioni che si verificano nella fase di flat-top della corrente di plasma [1]. Il principale svantaggio dell'approccio neurale è l'invecchiamento, questo significa che le prestazioni del predittore pur essendo molto buone in fase di training potrebbero deteriorarsi durante la fase operativa. Con l'obiettivo di capire le cause del deterioramento delle prestazioni, il predittore è stato addestrato, validato su un database di impulsi disruptivi relativi alle campagne sperimentali effettuate tra Luglio 2002 e Aprile 2005 [2] ed è stato testato selezionando impulsi relativi alle campagne sperimentali effettuate tra Giugno 2005 e Luglio 2007. La distribuzione statistica e la mappatura 2D (ottenuto per mezzo delle Self Organizing Maps) degli ingressi relativi alle predizioni corrette sul training set ed ai mancati allarmi sul test set, hanno evidenziato che alcuni mancati allarmi appartengono ad uno spazio operativo non rappresentato nel training set. Questi risultati hanno perciò evidenziato l'importanza cruciale di effettuare un upgrade del predittore neurale. Pertanto, al fine di migliorare le capacità di estrapolazione del predittore neurale nelle regioni dello spazio operativo non coperte dal training set è stata studiata una procedura di retraining on-line [1]. Questa procedura permette al predittore di incrementare la sua conoscenza aggiungendo nuove regioni allo spazio operativo mappato precedentemente.

Nell'ambito della ricerca sulla comprensione degli eventi disruptivi uno degli obiettivi cruciali è l'identificazione delle regioni caratteristiche dello spazio operativo nel quale il tokamak opera. A tale proposito, sui dati sperimentali di AUG, è stato effettuato uno studio per identificare le regioni caratteristiche dello spazio operativo delimitato dal database di addestramento del predittore neurale [3]. Per mezzo della Self Organizing Map (SOM) si è riusciti ad ottenere la separazione della regione rappresentativa degli stati di plasma non disrotti (regione buona) da quella degli stati disrotti (regione disrotta). A partire da questo risultato è stato fatto uno studio preliminare sulla possibilità di effettuare la predizione delle disruzioni usando le SOM [3].

Per quanto riguarda la predizione di eventi disruptivi al JET, è stata utilizzata una Kernel Machine (Geometrical Kernel Machine GKM) [4], recentemente proposta dagli autori, per predire una disruzione e contemporaneamente definire il grado di novità (Novelty Detection

ND) del campione in esame allo scopo di rendere più affidabile il sistema di predizione [5]. L'algoritmo proposto per la costruzione della GKM consente di determinare in modo automatico sia il numero di neuroni nascosti in una rete MLP a singolo strato, che il peso delle connessioni. L'interpretazione geometrica delle equazioni della rete ha permesso di sviluppare il predittore neurale e di tenere sotto controllo l'invecchiamento della rete stessa. La tecnica ND proposta consente infatti, utilizzando la conoscenza acquisita durante il funzionamento on line del predittore, di riconoscere impulsi appartenenti a spazi operativi sino a quel momento non ancora esplorati, e incrementare le prestazioni del predittore. In particolare, la GKM utilizzata come *novelty detector* è in grado di giustificare molti falsi allarmi e mancati allarmi della GKM utilizzata in predizione.

Si è infine dedicata parte dell'attività di ricerca all'analisi elettrodinamica dei moduli di blanket di ITER soggetti a carichi provocati da distruzioni [6]. Lo studio in questo settore ha permesso di valutare la realizzabilità di differenti soluzioni proposte tenendo conto dei vincoli costruttivi del reattore ITER.

Bibliografia

- [1] B. Cannas, A. Fanni, G. Pautasso, G. Sias, P. Sonato and ASDEX-Upgrade Team, "An adaptive Real-Time Disruption predictor for ASDEX Upgrade", *Nuclear Fusion* (accepted).
- [2] 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", *Fusion Engineering and Design*, vol. 84, no. 2-6, pp.534-539, 2009.
- [3] M. Camplani, B. Cannas, A. Fanni, G. Pautasso, G.Sias, P. Sonato, and the Asdex-Upgrade Team, "Tracking of the Plasma States in a Nuclear Fusion Device using SOMs," Int. Conf. on Engineering Applications of Neural networks, London, August 27-29, 2009 (accepted for publication on *Neural Computing and Applications*).
- [4] R. Delogu, A. Fanni, and A. Montisci, "Geometrical Synthesis of MLP Neural Networks," *Neurocomputing*, Volume 71, Issues 4-6, Jan. 2008, pp. 919-930
- [5] B. Cannas, R. Delogu, A. Fanni, A. Montisci, P. Sonato, and M. K. Zedda, "Geometrical Kernel Machine for Prediction and Novelty Detection of Disruptive Events in TOKAMAK Machines," *The Journal of Signal Processing Systems*, DOI: 10.1007/s11265-009-0345-4.
- [6] P. Testoni, A. Fanni, A. Portone "Electro-dynamical analysis of the ITER blanket modules for enhanced Vertical Passive Stabilization", *Fusion Engineering and Design*, volume 84, Issues 7-11, June 2009, pp. 1838-1841.