

## PREDIZIONE DI DISRUZIONI NEI TOKAMAK

*Massimo Camplani<sup>1</sup>, Barbara Cannas<sup>1</sup>, Rita Delogu<sup>2</sup>, Alessandra Fanni<sup>1</sup>, Augusto Montisci<sup>1</sup>, Gabriella Pautasso<sup>3</sup>, Fabio Pisano<sup>1</sup>, Giuliana Sias<sup>1</sup>, Piergiorgio Sonato<sup>2</sup>*

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

<sup>2</sup>Consorzio RFX, Associazione Euratom-ENEA sulla Fusione, Padova.

<sup>3</sup>Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, EURATOM Association, Garching – Germany.

Uno dei maggiori problemi che ancora oggi pone dei limiti allo sviluppo dei reattori per la fusione termonucleare controllata 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, ed è stato testato selezionando impulsi relativi alle campagne sperimentali effettuate tra Giugno 2005 e Luglio 2007. La distribuzione statistica e la mappatura 2D (ottenuta 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 [2] [3].

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 [4]. 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 [5] [6].

Inoltre, il gruppo di ricerca dell'Università di Cagliari, in collaborazione con le unità di Napoli e Cassino, è coinvolto nel progetto PRIN "Modellistica e controllo di instabilità disruptive di plasmi da fusione e valutazione delle conseguenti sollecitazioni elettromagnetiche". Nell'ambito del progetto, è in corso la realizzazione del mappaggio dello spazio operativo di JET

Per quanto riguarda la predizione di eventi disruptivi al JET, è stata utilizzata una Kernel Machine (Geometrical Kernel Machine GKM) [7], 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 [8]. 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.

Sempre con riferimento al JET, è stato sviluppato un algoritmo per l'identificazione dei MARFE da video registrati al JET durante gli esperimenti. La procedura, basata sul calcolo dei momenti di HU e sull'utilizzo di operatori morfologici ha un tasso di successo che supera l'80% [9].

## **Bibliografia**

- [1] Cannas, A. Fanni, G. Pautasso, G. Sias, and P. Sonato, "An adaptive real-time disruption predictor for ASDEX Upgrade," *Nucl. Fusion*, 50 (2010) 075004 (12pp), 2010, <http://stacks.iop.org/0029-5515/50/075004>, doi:10.1088/0029-5515/50/7/075004.
- [2] Cannas B., A. Fanni, G. Pautasso, G. Sias and the ASDEX Upgrade Team, "Disruption prediction with adaptive neural networks for ASDEX UPGRADE ", 26th Symposium On Fusion Technology, Portugal, Porto, September 2010.
- [3] Cannas B., A. Fanni, G. Pautasso, G. Sias and the ASDEX Upgrade Team, "Disruption prediction with adaptive neural networks for ASDEX UPGRADE ", *Fusion Eng. Des.* (2011), doi:10.1016/j.fusengdes.2011.01.069 (Accepted FUSENGDES-D-10-00335R1).
- [4] Cannas B., A. Fanni, G. Pautasso, G. Sias and the ASDEX Upgrade Team, "Boundary Inspection in SOM Mapping of Plasma Disruption Scenarios at ASDEX Upgrade", 37th EPS Conference On Plasma Physics, Ireland, Dublin, June 2010.
- [5] 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," *Neural Computing & Applications*, (Accepted NCA-720R1).
- [6] B. Cannas, A. Fanni, G. Pautasso, G. Sias and the ASDEX Upgrade Team, "Mapping of the Asdex Upgrade Operational Space for Disruption Prediction," SOFE 2011, 24th Symposium on Fusion Engineering, Chicago, 26 Jun - 30 Jun 2011, accepted.
- [7] Rita Delogu, Alessandra Fanni, and Augusto Montisci, "Geometrical Synthesis of MLP Neural Networks," *Neurocomputing*, Volume 71, Issues 4-6, pp. 919-930, 2008.
- [8] Barbara Cannas, Rita Delogu, Alessandra Fanni, Augusto Montisci, Piergiorgio Sonato, and Maria Katuscia Zedda, "Geometrical Kernel Machine for Prediction and Novelty Detection of Disruptive Events in TOKAMAK Machines," *Journal of Signal Processing Systems: Volume 61, Issue 1* (2010), pp. 85-93, DOI 10.1007/s11265-009-0345-4.
- [9] A. Murari, M. Camplani, B. Cannas, D. Mazon, F. Delaunay, P. Usai, J.F. Delmond and JET-EFDA Contributors, "Algorithms for the automatic identification of MARFEs and UFOs in JET database of visible camera videos," *IEEE Trans. on Plasma Science*, vol. 38, n.12, pp. 3409-3418, 2010, Digital Object Identifier 10.1109/TPS.2010.2080691.