

18 giugno 2020

Addendum su Accordo di collaborazione Scientifica
Tra
ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo
economico sostenibile - Dipartimento Fusione e Sicurezza Nucleare),
e
INAF (Istituto Nazionale di Astrofisica)
per
lo studio delle riconessioni magnetiche nell'esperimento PROTO-SPHERA.

SCOPO DELL'ACCORDO

Il presente accordo intende formalizzare una collaborazione scientifica tra INAF e ENEA riguardo a sviluppi di strumentazione e teorico-interpretativi per lo studio dei plasmi di laboratorio e in astrofisica.

CONTESTO DI RIFERIMENTO

La fisica del plasma ha un ruolo fondamentale in praticamente tutti i settori dell'astrofisica (Sole e astrofisica delle stelle, mezzo interplanetario, fenomeni galattici, oggetti extragalattici, cosmologia, astrofisica delle alte energie e oggetti compatti). Il connubio quindi tra astrofisica e plasmi è molto forte e c'è stato sempre un travaso di competenze, interessi e progetti scientifici tra un campo e l'altro durante i decenni precedenti in Europa come in USA, Russia, Giappone. Un ramo importante della fisica dei plasmi è focalizzato sulla teoria e sperimentazione di plasmi confinati al fine della fusione controllata; ciò porta necessariamente a studiare fenomeni non-termici di accelerazione di particelle, instabilità magnetiche, e riconnessione magnetica. Altro campo di interesse è la fisica delle interazioni "laser-plasma". Tutte queste attività sono di grande importanza per l'astrofisica.

La comunità italiana dei plasmi, e in particolare quella focalizzata ai collegamenti con l'astrofisica, è molto forte e gode di gruppi di eccellenza all'ENEA di Frascati, in Università Italiane e al MIT (USA). Nel corso degli anni scorsi, diverse attività scientifiche si sono sviluppate in Italia tra gruppi INAF e di Astronomia e fisici del plasma. Diversi convegni sono stati organizzati e si sono formati dei gruppi per attività di tipo teorico e osservativo per lo studio di fenomeni di plasma in laboratorio e in astrofisica.

In generale molta della fisica dei plasmi realizzata in *tokamak* o sistemi simili è di interesse astrofisico, soprattutto per le implicazioni sulle instabilità magnetiche e fenomeni non-termici collegati alla produzione di modi collettivi. In passato quindi, lo studio si è focalizzato su aspetti della fisica dei plasmi che portassero alla comprensione di fenomeni di accelerazione non-termica di particelle, produzione di particelle *runaway*, ecc. Dati forniti dal *tokamak* di Frascati FTU e di altri esperimenti sono stati considerati.

I fenomeni di riconnessione magnetica nei plasmi astrofisici sono presenti in molteplici sistemi; una lista non esaustiva include la magnetosfera terrestre, la corona solare, lo spazio interplanetario e galattico, i resti di Supernovae, le pulsar, buchi neri, getti relativistici, GRB, spazio intergalattico. Tali fenomeni consistono nella possibilità che, vicino ad un punto in cui linee magnetiche si lambiscono con direzione opposta (punti cosiddetti ad X), si operi uno "strappo" delle linee magnetiche stesse ed una loro successiva diversa "ricucitura"; quando le riconessioni magnetiche

si sviluppano portano ad un'espulsione di energia dal campo magnetico ed al conseguente riscaldamento del plasma stesso.

L'ESPERIMENTO PROTO-SPHERA

L'esperimento PROTO-SPHERA è stato costruito presso il Centro di Ricerca dell'ENEA di Frascati per studiare una configurazione di confinamento magnetico del plasma, in vista della Fusione Controllata, completamente diversa dalle precedenti. In particolare, tale configurazione è quella che si presenta in molte situazioni in astrofisica: un getto di plasma magnetizzato sull'asse di simmetria della configurazione ed un toro di plasma magnetizzato ortogonale a tale getto. Il toro di plasma si forma intorno al getto tramite fenomeni di riconnessione magnetica: tali fenomeni spezzano le linee di forza che si avvolgono sul getto e le riconnettono in linee di forza che si avvolgono sul toro. Essi sono in grado di trasferire flusso magnetico e corrente di plasma dal getto al toro.

Per ogni scarica di plasma prodotta PROTO-SPHERA è in grado di generare alcune centinaia di riconessioni magnetiche quasi-periodiche e si presta dunque ad uno studio approfondito di tali fenomeni: le macchine di laboratorio costruite nel passato per lo studio della riconnessione hanno dato spesso adito ad una sola riconnessione, la quale per lo più poneva termine al plasma stesso.

Oltre alle misure di base, che su PROTO-SPHERA sono state già avviate, relative alla densità del plasma, alla sua caratterizzazione tramite sensori magnetici e sonde di Langmuir e tramite la spettroscopia visibile e ultravioletta, per un efficace studio del plasma di PROTO-SPHERA, che si propone di diventare un laboratorio di plasmi auto-organizzati con particolare rilievo sui fenomeni di riconnessione magnetica, è necessario avere diagnostiche che siano in grado di studiare sia gli impulsi di raggi-X provenienti dal plasma che la parte termica della funzione di distribuzione del plasma stesso. Su tali diagnostiche vi è una vasta esperienza accumulata dall'INAF negli strumenti che ha costruito su vari satelliti.

Pertanto PROTO-SPHERA si rivela una *macchina di riconnessione magnetica* che può essere configurata per lo studio di fenomeni di plasma in condizioni quasi stabili e transienti in condizione di getti. È attualmente unica nel panorama degli esperimenti di plasma. Ed è inoltre ideale per lo studio di fenomeni astrofisici.

PROTO-SPHERA può essere di grande rilevanza per le implicazioni astrofisiche, sia teoriche che osservative, per riprodurre condizioni di plasma caratteristiche di getti relativistici e condizioni di riconnessione magnetica "controllata". Il progetto è attualmente in fase avanzata di presa dati.

DETTAGLI DELL'ACCORDO

Il presente accordo formalizza una collaborazione scientifica tra INAF e ENEA focalizzato sull'esperimento PROTO-SPHERA ed aperto ad un ampio ambito di scambio di competenze e di contributi reciproci in ambito della fisica dei plasmi.

Tale Accordo si inserisce in un filone di ricerca INAF di *Plasma Astrophysics* che abbia come partner l'ENEA e gruppi di fisica dei plasmi in Italia, potenzialmente estendibile ad altri soggetti quali Istituti del CNR, altri centri di ricerca ed Università.

L'accordo di collaborazione tra INAF e ENEA per lo studio dell'astrofisica dei plasmi contempla le seguenti direttive principali:

1. Studio teorico e di simulazione di fenomeni di plasma rilevanti per l'astrofisica e plasmi di laboratorio quali instabilità magneto-fluido-dinamiche, riconnessione magnetica, accelerazione di particelle, runaways;
2. Sviluppo, implementazione e analisi dati di strumentazione a raggi UV, X e gamma per la diagnostica di plasma focalizzata alla rivelazione di fenomeni non-termici e di accelerazione di particelle.

SOGGETTI INTERESSATI e COORDINATORI

Sono indicati come coordinatori della attuazione del presente accordo per parte ENEA il Dr. Franco Alladio e per parte INAF il Dott. Marco Tavani. Dei due gruppi di lavoro coordinati dai Dr. Franco Alladio e Dr. Marco Tavani fanno parte i seguenti ricercatori.

Per parte ENEA:

F. Alladio (Coordinatore ENEA)
P. Buratti
A. Cardinali
P. Micozzi (Deputy)
G. Pucella

Per parte INAF:

M. Tavani (coordinatore INAF):
E. Costa
M. Feroci
A. Ferrari
V. Vittorini
Y. Evangelista

Altro personale

B. Coppi
F. Pegoraro
R. Spigler

Altri soggetti afferenti ad ENEA o ad INAF o altri enti pubblici di ricerca e/o Università Italiane e Straniere potranno aggiungersi nel corso dello svolgimento della attività formalizzate in questo accordo senza necessità di modifica dell'accordo stesso.