



Richiesta per borsa di studio da attivare ai sensi di quanto disposto dal D.M. n. 1061 del 10/08/2021

Il sottoscritto Claudio Verona ricercatore (RTD_b) afferente al Dipartimento di Ingegneria Industriale, interno: 0672597223, email: claudio.verona@uniroma2.it

CHIEDE

L'attivazione di una borsa di studio di dottorato ai sensi di quanto disposto dal D.M. n. 1061 del 10/08/2021. A tal fine comunica quanto segue:

La borsa sarà attivata sul seguente corso di dottorato accreditato per il XXXVII ciclo: **Dottorato in Ingegneria Industriale**

Area per la quale si presenta la richiesta: *Green*

Tipologia di cofinanziamento (pari ad euro 8000 una tantum):

Nome dell'Ente finanziatore pubblico o privato: Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile (ENEA)

Persone di Riferimento: Ing. Alessandro Dodaro, email: alessandro.dodaro@enea.it, Telefono: 0694005308 e Fabrizio Consoli, fabrizio.consoli@enea.it 0694005415/3920226492.

Progetto di Ricerca

Titolo: Campi elettromagnetici transienti nel dominio della radiofrequenza-microonde, generati in schemi di fusione nucleare a confinamento inerziale ed in generale in interazione laser-materia ad alta intensità

Descrizione. La Fusione Nucleare a Confinamento Inerziale (ICF) si colloca nel framework globale per l'utilizzo del nucleare da fusione a scopi energetici, insieme alla Fusione a Confinamento Magnetico (MCF) [1]. In quest'ultima si usano macchine dette Tokamak, come i recenti ITER e DTT, attualmente in costruzione in Francia e in Italia. Nell'ICF, invece, una capsula sferica di pochi millimetri di diametro, contenente una miscela di Deuterio e Trizio, viene riscaldata e compressa da un elevato numero di impulsi laser, producendo un plasma in cui si raggiungono le condizioni per ottenere un alto numero di fusioni nucleari, generando una grande quantità di energia [1]. I recentissimi risultati ottenuti dalla National Ignition Facility (NIF) ai laboratori Lawrence Livermore in USA per quanto riguarda la fusione a confinamento inerziale: (<https://www.llnl.gov/news/national-ignition-facility-experiment-puts-researchers-threshold-fusion-ignition>) hanno ricevuto una grande risonanza mediatica, testimoniata dalle principali testate giornalistiche mondiali (quali il New York Times, per esempio) e hanno fornito un grande slancio alle relative attività di ricerca in ambito internazionale. Il Centro Ricerche Frascati dell'ENEA ha un ruolo di riconosciuto primo piano in Italia in tale attività di ricerca ed in esso opera l'impianto laser ABC, impiegato primariamente per studi di ICF, che produce gli impulsi laser con la maggiore energia in Italia.

Nell'ICF l'interazione di impulsi laser di alta energia e potenza con la materia genera una vasta gamma di radiazioni elettromagnetiche e particellari. In particolare, elevati campi elettromagnetici a radiofrequenza-microonde (con bande fino a diversi GHz) sono creati in questo modo, con intensità che superano il MV/m e che quindi possono da costituire un problema per qualunque strumento elettronico posto in prossimità del punto di interazione. Per tale motivo questi campi, detti EMP (Electromagnetic Pulses), rappresentano una questione di riconosciuta primaria importanza mondiale per lo sviluppo di impianti laser ad alta energia ed intensità di presente e futura costruzione, tipici degli schemi avanzati di



ICF e anche di accelerazione di particelle mediante interazione laser-materia [2]. Lo studio di tutti i meccanismi di generazione di tali campi non è ancora completo, ed è invece di estrema importanza per la loro comprensione e per lo sviluppo di adeguate tecniche di minimizzazione e di adeguati strumenti di diagnostica.

Questo progetto di studio abbraccia i meccanismi di generazione, le metodologie di diagnostica, la mitigazione di tali campi ed infine il loro possibile impiego potenzialmente molto promettente. Tali campi così intensi hanno anche un elevato potenziale per l'applicazione a diversi ambiti, quali la scienza dei materiali, l'aerospazio, gli studi di tipo medico e biologico su cellule viventi.

[1] S. Atzeni and J. Meyer-Ter-Vehn, *The Physics of Inertial Fusion* (2004).

[2] F. Consoli et al, *High Power Laser Science & Engineering* 8, 22 (2020).

Attività previste. Il dottorato verterà sullo studio sia teorico che sperimentale dei campi elettromagnetici nella regione della radiofrequenza/microonde generati da interazioni laser-materia ad alta intensità, tipiche degli esperimenti di ICF: lo studio dei diversi meccanismi di generazione di tali campi e la complessa problematica associata alla loro rivelazione mediante avanzati strumenti di diagnostica. Entrambi sono necessari per definire possibili approcci per la loro mitigazione e per il loro impiego costruttivo in promettenti applicazioni future.

Le attività verranno svolte in collaborazione con il Centro Ricerche Frascati dell'ENEA e comprenderanno la partecipazione a campagne sperimentali per caratterizzare i campi EMP in varie condizioni di interazione della materia con laser di alta energia e potenza, quali l'impianto ABC dell'ENEA - equipaggiato con una numerosa e variegata dotazione di strumenti di diagnostica per il plasma, le particelle e le radiazioni elettromagnetiche ionizzanti e non ionizzanti emessi dall'interazione laser materia – e anche altri laser europei come Vulcan Petawatt, operante ai Rutherford Appleton Laboratories (RAL) di Didcot (UK).

I campi EMP hanno intensità che aumenta all'avvicinarsi al bersaglio colpito da laser. Per una adeguata indagine sulle loro sorgenti, la loro rivelazione deve essere effettuata dentro la camera da vuoto in cui accade l'interazione. Questo è un ambiente pesantemente soggetto alle radiazioni ionizzanti prodotte dalla stessa interazione laser-materia, che possono indurre correnti parassite sulle sonde conduttive impiegate per misurare gli EMP, influenzando pesantemente la loro capacità diagnostica. Ciò rende queste misure estremamente complesse. Per questo motivo il gruppo di ENEA-Frascati ha portato avanti, insieme con la ditta francese Kapteos, una attività di ricerca sperimentale volta a sviluppare rivelazione di tali campi EMP mediante effetto Pockels su cristalli [3].

Le attività del dottorando riguarderanno quindi lo sviluppo e l'applicazione di metodologie avanzate di rivelazione di tali campi EMP mediante effetto Pockels. La ditta Kapteos ha già formalmente espresso la sua disponibilità ad ospitare presso la sua sede francese lo studente per un periodo minimo di 6 mesi, per portare avanti questa attività in collaborazione con Università ed ENEA.

Parte dell'attività di dottorato riguarderà anche la trattazione numerica mediante simulazioni dei fenomeni associati ai campi di EMP e delle loro sorgenti, nonché la distribuzione di tali campi dentro e fuori la camera da vuoto dove accade l'interazione laser-materia.

[3] F. Consoli et al, *Scientific Reports* 6, 27889 (2016)

Obiettivi formativi dello studente

- 1) Acquisire competenze sperimentali nell'ambito delle interazioni laser-materia ad alta intensità tipiche dell'ICF, mediante partecipazione ad esperimenti eseguiti presso l'impianto laser ABC dell'ENEA e presso laser europei.
- 2) Acquisire esperienza su preparazione e svolgimento di esperimenti di interesse per l'ICF, nell'effettuare la messa a punto delle diagnostiche, l'esecuzione delle misure e l'analisi dei risultati ottenuti.



- 3) Sviluppare competenze nella rivelazione dei campi EMP, mediante sia sonde conduttive che dielettriche a effetto Pockels, e nelle problematiche ad essa connesse. In tale ambito si colloca la permanenza presso l'azienda francese Kapteos.
- 4) Sviluppare esperienza di lavoro in gruppi di lavoro internazionali e anche all'interno di aziende (Kapteos), Università ed enti di ricerca esteri (RAL di Didcot).
- 5) Acquisire competenze di tipo teorico/numerico sulla modellizzazione dei fenomeni fisici associati agli EMP.

Attinenza del progetto all'area indicata.

La produzione di energia tramite processi di fusione nucleare rappresenta la soluzione del problema della crescente domanda energetica a livello globale. L'energia così prodotta è pulita, poiché non implica l'emissione di gas serra e di scorie radioattive come avviene invece per i reattori a fissione. Il suo impiego contribuirebbe a ridurre le emissioni di gas serra da combustibili fossili e l'impatto umano sul cambiamento climatico, inquadrandosi pienamente negli ambiti della transizione ecologica e della green economy in atto in Europa.

Lo studio dei campi EMP ad alta intensità nel campo della radiofrequenza-microonde, generati dall'interazione laser-materia, è di primaria importanza per il funzionamento e lo sviluppo di futuri impianti energetici a fusione inerziale. La grande importanza ed urgenza per l'avanzamento delle ricerche in tale ambito è testimoniata dai progetti Enabling Research Eurofusion di finanziamento delle ricerche sull'ICF: AWP15-ENR-IFE/CEA-02 – "Towards demonstration of Inertial Fusion for Energy" (2015-2018) ed ENR-IFE19.CCFE-01 – "Routes to High Gain for Inertial Fusion Energy" (2019-2021) che le contemplano esplicitamente. Questo ha anche portato alla costituzione di un Expert Group su tale tematica all'interno dell'associazione Laserlab-Europe AISBL che raggruppa insieme i principali impianti laser europei (<https://www.laserlab-europe.eu/aisbl/expert-groups/laser-generated-electromagnetic-pulses>), coordinato dall'ENEA di Frascati.

L'attività di dottorato proposta, essendo di notevole interesse per la ricerca sull'ICF, si inserisce appieno negli obiettivi dell'azione IV.6 del PON Ricerca e Innovazione, in relazione alle tematiche *green* ed in particolare alla transizione verde e alla riduzione degli impatti del cambiamento climatico.

Risultati attesi.

Le attività di questo progetto di dottorato si prefiggono come risultato:

- ✓ di fornire informazioni più complete in relazione ai diversi meccanismi di generazione dei campi EMP
- ✓ di avanzare lo sviluppo di metodologie per la misura di tali campi elettromagnetici, mediante sonde di tipo conduttivo e/o dielettrico ad effetto Pockels
- ✓ di definire metodologie di mitigazione di tali campi elettromagnetici o degli effetti di tali campi elettromagnetici sugli impianti e sugli strumenti di diagnostica dell'interazione laser-materia
- ✓ di definire possibili impieghi costruttivi di tali campi elettromagnetici per future promettenti applicazioni.

Azienda privata coinvolta, che ha già dato consenso formale ad ospitare per un periodo minimo di 6 mesi lo studente: Kapteos, Bâtiment Cleanspace, ZA Alpespace, 354 voie Magellan, 73800 SAINTE-HELENE-DU-LAC, FRANCE

Firma