



da inviare via mail a [bandopondottorati@uniroma2.it](mailto:bandopondottorati@uniroma2.it) entro il 25/09/2021

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

Il sottoscritto **Alessandro Cianchi** qualifica **Professore Associato** afferente al Dipartimento di Fisica, Interno 4544 email [alessandro.cianchi@uniroma2.it](mailto:alessandro.cianchi@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: **FISICA**

Area per la quale si presenta la richiesta (selezionare solo una delle due):

Innovazione

Green

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

Nome dell'Ente finanziatore pubblico o privato: **ENEA, Agenzia Nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile**

Persona di Riferimento: Mattia Cipriani – Alessandro Dodaro

Telefono: 0694005145 (Cipriani) – 0694005308 (Dodaro)

Email: [mattia.cipriani@enea.it](mailto:mattia.cipriani@enea.it) – [alessandro.dodaro@enea.it](mailto:alessandro.dodaro@enea.it)

Fondi di ricerca dipartimentali

Progetto di Ricerca (massimo 10.000 battute complessive spazi inclusi) **“Interazione di laser con materiali micro-strutturati per fusione a confinamento inerziale”**

**Descrizione del Progetto:** 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 nel processo di transizione verde in atto in Europa.

La Fusione a Confinamento Inerziale (ICF) si colloca nel framework globale per l'utilizzo di queste fonti di energia, insieme alla Fusione a Confinamento Magnetico (MCF), per cui si usano macchine dette Tokamak, come i recenti ITER e D'IT, attualmente in costruzione in Francia e in Italia rispettivamente. Nell'ICF, di cui è stata recentemente dimostrata la fattibilità<sup>1</sup>, una capsula sferica di pochi millimetri di diametro, contenente una miscela criogenica di due isotopi dell'idrogeno, Deuterio e Trizio, viene riscaldata e compressa da un numero molto elevato di impulsi laser, producendo un plasma in cui si raggiungono le condizioni per ottenere un alto numero di fusioni, generando energia<sup>2</sup>.



Lo studio dell'interazione di laser di potenza con materiali micro-strutturati, o foam, è attualmente di grande interesse per l'inerziale, per le loro caratteristiche peculiari di interazione con laser di potenza<sup>3</sup>. La struttura interna delle foam è caratterizzata da un'alternanza di parti solide, sotto forma di filamenti o di membrane, e di spazi vuoti, detti pori<sup>4</sup>, e possono essere prodotte con un vasto range di parametri, con pori da 1  $\mu\text{m}$  fino a decine di micron, parti solide spesse da alcuni nanometri fino a qualche micron, e densità dalle unità a centinaia di  $\text{mg}/\text{cm}^3$ , permettendo di selezionare il materiale con le caratteristiche più adatte all'esperimento.

Per la loro struttura interna tali materiali hanno la capacità di assorbire l'energia del laser su un volume molto più ampio rispetto ad un materiale omogeneo di pari densità, aprendo molte possibilità per la ricerca sull'ICF. Il progressivo riempimento dei pori dovuto all'espansione del plasma generato dall'interazione con il laser produce una regione di plasma solo parzialmente omogeneo<sup>5</sup>. Il processo di omogeneizzazione permette di migliorare l'assorbimento dell'energia del laser<sup>6</sup> e di uniformarne la distribuzione<sup>7</sup>. Grazie a queste caratteristiche, le foam sono state proposte per realizzare lo strato superficiale della capsula usata nell'ICF, per ridurre l'impatto delle instabilità idrodinamiche<sup>7</sup>, aumentare la pressione sullo shock<sup>8</sup> e ridurre le instabilità parametriche<sup>9</sup>.

La struttura interna delle foam costituisce, d'altra parte, una difficoltà per i codici di calcolo per l'ICF. Recentemente ne sono stati sviluppati alcuni ad-hoc, per riprodurre il processo di omogeneizzazione e l'evoluzione del plasma, come il codice MULTI-FM<sup>8</sup>, che ha dimostrato un buon accordo con i dati sperimentali.

Nonostante l'elevata attività di ricerca sui materiali micro-strutturati degli ultimi decenni, rimangono ancora molti aspetti da chiarire. I dati sperimentali disponibili, infatti, riguardano un range molto limitato di parametri del materiale, mentre un'analisi sperimentale sistematica permetterebbe una migliore comprensione dei fenomeni fisici che caratterizzano l'interazione. Queste informazioni permetterebbero di aumentare l'accuratezza delle simulazioni, portando al design di bersagli comprendenti foam sempre più efficienti.

Tale progetto di dottorato ha l'obiettivo di incrementare la varietà di dati sperimentali disponibili sull'interazione di laser di potenza con materiali micro-strutturati, effettuando esperimenti dedicati con il laser ABC del Centro Ricerche ENEA di Frascati e con altre facility internazionali. Il laser ABC può generare due impulsi alla lunghezza d'onda di 1054 nm di 100 J l'uno, con una durata temporale di 3 ns e con una massima intensità sul bersaglio di  $10^{15} \text{ W}/\text{cm}^2$ . Tale intensità è quella di un singolo fascio laser generato nelle grandi installazioni per la fusione inerziale, come la National Ignition Facility (NIF) negli USA o il Laser MegaJoule (LMJ) in Francia. Grazie alla lunga attività del gruppo dell'impianto ABC nello sviluppo di diagnostiche per il plasma da laser, il laboratorio possiede un numero elevato di diagnostiche differenti, contemporaneamente funzionanti in ogni esperimento. Questo permetterà di ottenere informazioni complete e di rilievo sull'interazione del laser con i materiali micro-strutturati.

Sulla base delle informazioni raccolte durante questi esperimenti, verrà svolta anche un'attività di simulazione con un codice di calcolo dedicato, volta a migliorare la descrizione del plasma generato dall'interazione con il laser e quindi l'accordo dei risultati delle simulazioni con i dati sperimentali raccolti.

## **Obiettivi formativi**



Il presente progetto di dottorato fornirà allo studente le conoscenze sulle tecniche avanzate di diagnostica del plasma prodotto da laser di potenza, grazie alla numerosa e variegata dotazione dell'impianto ABC. Lo studente potrà progettare la realizzazione degli esperimenti che verranno condotti, seguire la messa a punto delle diagnostiche e analizzare i risultati ottenuti. Queste attività gli forniranno ampie competenze sperimentali e di analisi dati riguardo all'interazione di laser di potenza con la materia e ai fenomeni dell'evoluzione del plasma in regimi di interesse per l'inerziale. Inoltre, l'attività simulativa gli fornirà competenze di tipo teorico e numerico sulla modellizzazione dei fenomeni fisici in codici idrodinamici e sulla loro ottimizzazione sulla base dei dati sperimentali disponibili.

### **Attività previste**

Lo studente di dottorato si occuperà della realizzazione degli esperimenti con l'impianto ABC e con altre facility internazionali, con bersagli costituiti da materiali micro-strutturati di interesse per l'inerziale. Gli esperimenti caratterizzeranno le proprietà del plasma generato dall'azione del fascio laser, inclusa la radiazione X emessa e le particelle accelerate, usando materiali con parametri variabili in un ampio range. Parallelamente, lo studente verrà inoltre coinvolto nello sviluppo e nell'utilizzo di codici di calcolo dedicati 1D e 2D, per la simulazione dell'interazione di laser di potenza con i materiali micro-strutturati. I risultati ottenuti dalle simulazioni verranno confrontati con i dati sperimentali ottenuti e disponibili in letteratura per valutare l'accuratezza delle predizioni numeriche.

### **Attinenza del progetto all'area indicata**

La produzione di energia tramite processi di fusione nucleare consentirebbe di risolvere completamente il problema della crescente domanda energetica a livello globale, contribuendo a ridurre le emissioni di gas serra dovuti all'utilizzo di combustibili fossili, limitando l'impatto umano sul cambiamento climatico. Il combustibile nucleare usato per la fusione è disponibile in quantità pressoché illimitata e facilmente reperibile. Inoltre, l'energia prodotta dalla fusione è pulita, non implicando l'emissione di gas serra, né producendo, come invece avviene nei reattori a fissione, scorie nucleari di delicata gestione. L'attività di dottorato proposta, essendo di notevole interesse nell'ambito della ricerca per la fusione a confinamento inerziale, 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**

L'attività di dottorato proposta permetterà di ottenere nuove informazioni sull'interazione tra un laser di potenza e specifici materiali micro-strutturati di interesse per la fusione a confinamento inerziale. In particolare, verranno determinate le caratteristiche fisiche del plasma prodotto dal laser durante la sua interazione e verrà studiata la sua evoluzione, utilizzando bersagli con parametri costitutivi appartenenti ad un ampio range di variabilità, nell'ottica di arricchire la varietà dei dati sperimentali ad oggi disponibili. Inoltre, verrà analizzata la capacità di riflessione e trasmissione della luce del laser di tali materiali, al fine di determinare l'efficienza di assorbimento dell'energia nel plasma generato dall'interazione. L'analisi degli spettri della luce auto-generata dal plasma e la misurazione dello spettro delle particelle cariche accelerate permetteranno di avere informazioni sulle instabilità parametriche eccitate e quindi sulla degradazione dell'assorbimento ad esse dovuta. L'analisi spettroscopica dell'emissione X della foam permetterà di avere informazioni sulla temperatura e sullo stato di ionizzazione del plasma durante l'interazione. Grazie alla



disponibilità di tali dati sperimentali, i modelli teorici di codici di calcolo dedicati verranno migliorati e le simulazioni saranno usate per individuare il contributo dei vari processi fisici coinvolti nell'interazione con il laser.

### **Azienda estera coinvolta nel progetto di dottorato**

Marvel Fusion GmbH

Blumenstr. 28

80331 Munich, Germany

Represented by its managing directors Moritz von der Linden and Dr. Georg Korn

### **Bibliografia**

1. LLNL (USA) <https://bit.ly/NIF-record> (2021).
2. Atzeni, S. et al., (Oxford University Press, 2004).
3. Tikhonchuk, V. et al., *Matter and Radiation at Extremes* **4**, 045402 (2019).
4. Nagai, K. et al., *Phys. Plasmas* **25**, 030501 (2018).
5. Gus'kov, S. Y. et al., *Plasma Phys. Control. Fusion* **57**, 125004 (2015).
6. Gus'kov, S. Y. et al., *Quantum Electron.* **30**, 191–206 (2000).
7. Depierreux, S. et al., *Phys. Rev. Lett.* **102**, 195005 (2009).
8. Cipriani, M. et al., *Laser Part. Beams* **36**, 121–128 (2018).
9. Delorme, B. et al., *Physics of Plasmas* **23**, 042701 (2016).

**Firma**