



Borsa di studio attivata ai sensi di quanto disposto dal D.M. n. 1061 del 10/08/2021

Titolo del progetto: Balance of Plant per centrali di produzione di energia elettrica a fusione nucleare di tipo Tokamak

La borsa sarà attivata sul seguente corso di dottorato accreditato per il XXXVII ciclo:

ENERGIA E AMBIENTE

Responsabile scientifico: Fabio Giannetti

Area per la quale si presenta la richiesta: GREEN

Numero di mensilità da svolgere in azienda: 6

Azienda: ENI S.p.A.

Il Dipartimento è disponibile a cofinanziare per un importo pari a euro: 7000

Dipartimento finanziatore: DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ASTRONAUTICA, ELETTRICA ED ENERGETICA con delibera del 21/09/2021

Progetto di ricerca:

La necessità di sostituire progressivamente i combustibili fossili spinge ad investire sempre più nella ricerca di fonti energetiche alternative che possano dimostrarne la sostenibilità e la sicurezza a lungo termine. Le fonti energetiche rinnovabili, come il fotovoltaico e l'eolico, continuano a destare qualche perplessità sull'affidabilità richiesta quando raggiungeranno alte percentuali di energia elettrica totale prodotta. In questo quadro, la fusione magnetica sta diventando sempre più considerata una soluzione tra le più probabili al problema energetico, garantendo sostenibilità e sicurezza dell'approvvigionamento. Le sue caratteristiche più interessanti sono:

- i combustibili sono ampiamente disponibili e pressoché illimitati, ovvero il deuterio, naturalmente presente nell'acqua di mare, e il trizio, che può essere allevato direttamente nella coltre del tokamak da un piccolo quantitativo di litio, presente in abbondanza nella crosta terrestre e nell'acqua di mare;
- nessuna produzione di gas serra;
- intrinsecamente sicuro, in quanto non è possibile alcuna reazione a catena;
- rispettoso dell'ambiente, con una corretta scelta dei materiali per la camera del plasma la radioattività decade in poche decine di anni e a circa 100 anni dalla chiusura del reattore tutti i materiali possono essere riciclati in un nuovo reattore.

La ricerca sulla fusione nucleare si concentra sullo sviluppo di una soluzione tecnologica che risolva definitivamente il problema dell'approvvigionamento energetico, garantendo al contempo un impatto ambientale praticamente nullo e la pressoché totale indipendenza dal punto di vista delle materie prime. Molti privati hanno cominciato a investire su tale fonte energetica, ritenendola fattibile in tempi ragionevoli. L'Unione Europea ha definito una precisa tabella di marcia per arrivare alla produzione di energia elettrica da fusione nucleare [1], ritenendola una delle tecnologie chiave per portare a termine la transizione ecologica nel settore energetico. Tra i passi fondamentali c'è la progettazione dei dimostratori della tecnologia (quali l'European Demonstrator (EU-DEMO) Fusion Reactor e ARC [2], quest'ultimo un progetto del Commonwealth Fusion Systems (CFS), società della quale ENI è il maggiore azionista). Tali reattori hanno l'obiettivo di generare centinaia di megawatt elettrici con emissioni di CO₂ praticamente nulla. Finora l'attività di ricerca si è principalmente focalizzata sulle prestazioni del plasma e sui componenti affacciati ad esso. Tuttavia, negli impianti di scala industriale uno sforzo ulteriore va destinato allo sviluppo del Balance of Plant (BoP), [3]. La principale difficoltà sta nel coniugare le esigenze della sorgente di potenza, che ha un andamento pulsato, con quelle della rete cui l'impianto è connesso, che necessita di potenza elettrica che segua le richieste del carico con regole ben precise

relative al dispacciamento.

Lo sviluppo di soluzioni ingegneristiche per il BoP che soddisfino entrambi i requisiti sarà oggetto del dottorato di ricerca proposto, coniugando in modo sinergico l'esperienza ingegneristica ed operativa di una grande multinazionale quale ENI, con le competenze specifiche nell'ambito della fusione nucleare magnetica acquisite negli ultimi anni dal DIAEE anche tramite la partecipazione ai progetti di ricerca europei su questa tematica. Dal punto di vista operativo, il lavoro è finalizzato all'esecuzione di analisi termotecniche preliminari a supporto della progettazione di soluzioni di BoP applicabili a reattori a fusione magnetica come ARC.

Tale partnership potrebbe aprire una promettente roadmap per lo sviluppo di future attività di ricerca nell'ambito della fusione nucleare. Sono inoltre previste potenziali ricadute applicabili alle tematiche di interfaccia con le problematiche di stabilità di rete e di stoccaggio dell'energia, entrambe di rilevanza sempre crescente.

Titolo del progetto (inglese): Development of a Balance of Plant for tokamak-type fusion power plants

Progetto di ricerca (inglese):

The needs of progressively substituting the fossil fuels forces humanity to invest more and more in the research for alternative energy sources that can prove their long-term sustainability and security. Renewable energy sources, such as photovoltaic and wind, still provide some concerns about the required reliability. In this framework, magnetic fusion is becoming more and more considered as the most probable solution to the energy problem, ensuring sustainability and security of supply. Its most attractive features are:

- fuels are widely available and virtually unlimited, namely deuterium, naturally present in seawater, and tritium, that can be bred directly in the tokamak blanket from a small quantitative of lithium, abundantly occurring in earth's crust and seawater;
 - no production of greenhouse gases;
 - intrinsically safe, as no chain-reaction is possible;
 - environmentally responsible, with a proper choice of materials for the plasma chamber radioactivity decays in a few tens of years and at around 100 years after the reactor shutdown all the materials can be recycled in a new reactor.
- During last years, research activity in the field of nuclear fusion focused on the development of a technology that can fix the energy problem in a definitive way. At the same time, such solution must ensure a low environmental impact and the self-sufficiency with respect to the needed raw materials.

In 2012 the European Fusion Development Agreement (EFDA) published a roadmap which outlined the way to supply fusion electricity by 2050. This energy source was considered a fundamental technology to achieve the goal of producing carbon-neutral electricity in Europe. The roadmap is a living document, reviewed regularly in response to the physics, technology and budgetary developments. Its latest version can be found in [1]. According to it, an important step in the mid-long term is the design and construction of the technology demonstrators. These reactors should demonstrate the capability of producing few hundred MWs of net electricity and the feasibility of operation with a closed-tritium fuel cycle. Examples of these demonstrators are the European DEMOnstrator fusion power plant (DEMO) and the Affordable, Robust, Compact (ARC) fusion reactor, [2], investigated by the start-up Commonwealth Fusion Systems (CFS), in collaboration with the Plasma Science and Fusion Center of Massachusetts Institute of Technology. Recently, the multinational corporation ENI joined the project as major funding partner of CFS.

So far, the fusion research activity focused its efforts on the plasma performances and the layout of plasma-facing components. In ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) project, [3], they are considered the most critical issues in the tokamak design. As the next generation of fusion power plants, DEMO and ARC must also demonstrate the possibility to be integrated within the grid architecture. For this, their design must include a detailed analysis of the power conversion chain of the thermal part of the power plant, named Balance of Plant (BoP). The main difficulty arises from the mismatch between the needs of the power source (i.e. plasma), working with a pulsed regime, and of the grid, demanding a power generation that follows the load oscillations, with specific rules for the

dispatching. Many BoP options are currently under investigation [4]. The development of BoP solutions matching the requirements above described will be the main goal of the research activity object of this proposal. In this work the operative and design-oriented engineering experience of a big company such as ENI will be combined with the specific know-how in the field of nuclear fusion owned by DIAEE and matured in the last years thanks to the participation to international projects. From a technical point of view, the activity will be oriented to the execution of preliminary thermal-hydraulic analysis to support the design of BoP solutions applicable to magnetic fusion reactor ARC like.

This partnership may set the stage for the development of a full-integrated roadmap of research activities in the field of nuclear fusion, involving both universities and utilities in a synergic way. Potential technological spin-offs are also foreseen, mainly related to the issues of the grid stability and the energy storage. The importance of such matters is growing more and more due to the increase of the power production coming from renewable energy sources.