



ACCADEMIA NAZIONALE DEI LINCEI

CONVEGNO

LA FUSIONE TERMONUCLEARE: SCIENZA E TECNOLOGIA

18 OTTOBRE 2024

ABSTRACT

Comitato ordinatore: Roberto ANTONELLI (Presidente dell'Accademia Nazionale dei Lincei), Maria Chiara CARROZZA (Presidente CNR), Gilberto DIALUCE (Presidente ENEA), Carlo DOGLIONI (Vicepresidente dell'Accademia Nazionale dei Lincei, Presidente INGV), Giorgio PARISI (Linceo, Sapienza Università di Roma), Francesco PEGORARO (coordinatore, Linceo, Università di Pisa), Roberto RAGAZZONI (Linceo, Presidente INAF), Marco TAVANI (Linceo, INAF), Antonio ZOCCOLI (Presidente INFN).

PROGRAMMA

In questi ultimi anni si è diffusa la consapevolezza che la fusione nucleare, in parallelo con le fonti di energia rinnovabili, possa e debba rappresentare la soluzione a lungo termine del problema della transizione energetica.

A questo breve convegno parteciperanno ricercatori provenienti dai principali centri internazionali sulla fusione, da università attive nello studio della fisica dei plasmi e da compagnie private. Queste rappresentano un aspetto nuovo della ricerca sulla fusione.

Verranno discusse le iniziative da prendere per potenziare la ricerca sulla fusione termonucleare in Italia in un quadro che sottolinei le tematiche comuni alla ricerca sulla fusione, all'astrofisica, alla fisica dello spazio e lo stimolo che lo sviluppo della fusione può dare alla introduzione di nuove tecnologie in una ampia gamma di applicazioni.

Venerdì 18 ottobre

9.30 Carlo DOGLIONI (Vicepresidente dell'Accademia Nazionale dei Lincei, Presidente INGV): *Indirizzi di salute*

Prima sessione: Stato della ricerca sulla Fusione Nucleare

9.45 Ambrogio FASOLI (Politecnico di Losanna - Eurofusion): *Fusione magnetica*

10.05 Riccardo BETTI (University of Rochester): *Fusione a confinamento inerziale*

Seconda sessione: - 1 - Progetti in corso

10.25 Pietro BARABASCHI (ITER): *Il progetto ITER*

10.45 Francesco ROMANELLI (ENEA): *Il progetto DTT*

11.05 Coffee break

11.20 Marco VALISA (CNR, RFX): *Il consorzio RFX*

11.40 Carlo SOZZI (CNR, ISTP): *Collaborazione con JT-60SA*

- 12.00 Piero MARTIN (Università di Padova e Centro Interdisciplinare Linco): *SPARC e collaborazione tra Italia e USA*
- 12.20 Andrea PISENT (INFN): *Progetto IFMIF*
- 12.40 Stefano ATZENI (Focused Energy): *Focused Energy*

Seconda sessione: - 2 - Progetti in corso

- 14.00 Michele ROMANELLI (Tokamak Energy): *Tokamak Energy's Ltd.*
- 14.20 Francesco VOLPE (Renaissance Fusion): *Renaissance Fusion*

Terza sessione: Ricerca sulla fusione e ricerca sullo spazio

- 14.40 Marco CIOTTI (ENEA): *Protosphaera*
- 15.00 Francesco VALENTINI (Università della Calabria): *Plasma observatory*
- 15.20 Francesco BERRILLI (Linco, Università di Roma Tor Vergata): *Plasmi solari*
- 15.40 Coffee break

Quarta sessione: Azioni e progetti da intraprendere

- 16.00 Fulvio ZONCA (ENEA): *Introduzione alla discussione*
- 16.20 Discussione
- 17.00 Stefano FABRIS (CNR, Dipartimento di Scienze Fisiche e Tecnologie della Materia): *Conclusioni*

ROMA – PALAZZO CORSINI- VIA DELLA LUNGARA, 10
Segreteria del convegno: convegni@lincoi.it – <http://www.lincoi.it>

Tutte le informazioni per partecipare al convegno sono disponibili su:
<https://www.lincoi.it/it/manifestazioni/la-fusione-termonucleare-scienza-e-tecnologia>

Per partecipare al convegno è necessaria l'iscrizione online
Fino alle ore 10 è possibile l'accesso anche da Lungotevere della Farnesina, 10
I lavori potranno essere seguiti dal pubblico anche in streaming

L'attestato di partecipazione al convegno viene rilasciato esclusivamente a seguito di partecipazione in presenza fisica e deve essere richiesto al personale preposto in anticamera nello stesso giorno di svolgimento del convegno

Fusione magnetica

Ambrogio FASOLI (Politecnico di Losanna - Eurofusion)

La fusione si verifica quando nuclei leggeri si combinano per formare nuclei più pesanti. L'energia rilasciata in questo processo alimenta le stelle e può fornire all'umanità elettricità di base sicura, sostenibile, pulita e priva di emissioni di gas serra. Le reazioni di fusione richiedono temperature di decine di milioni di gradi, a cui la materia esiste solo sotto forma di plasma, lo stato ionizzato della materia, raro sulla Terra ma caratteristico della maggior parte dell'universo visibile. La ricerca dell'energia da fusione è quindi intrinsecamente associata alla fisica del plasma. Le centrali di fusione devono essere di dimensioni considerevoli e, inevitabilmente, sono necessarie complesse imprese collaborative su larga scala, che coinvolgono cooperazione internazionale ma richiedono anche partnership industriali pubblico-private. Riteniamo che la fusione magnetica, e in particolare il tokamak, in cui il plasma è confinato da campi magnetici, prodotti da bobine esterne e da correnti indotte nel plasma stesso, sia l'approccio con il più alto livello di prontezza tecnologica. La sfida più formidabile verso l'energia da fusione non deriva da singoli problemi di fisica o tecnologia, ma piuttosto dalla loro integrazione in una centrale elettrica affidabile, disponibile, di lunga durata e competitiva dal punto di vista economico. Il progetto ITER è una pietra miliare cruciale nella ricerca della fusione e per dimostrare che tale integrazione è possibile. ITER fornirà una dimostrazione completa della fattibilità scientifica e tecnologica della produzione di energia su larga scala tramite fusione e della sua sicurezza. Le lezioni cruciali sono apprese da ITER attraverso tutte le sue fasi, dalla progettazione all'assemblaggio, alle prime operazioni e, infine, alle campagne di potenza DT a pieno regime. L'ultimo passo di R&S prima di un pieno dispiegamento commerciale della fusione, chiamato DEMO, deve trarre vantaggio dalle caratteristiche intrinseche di sicurezza della fusione e, una volta completate le basi scientifiche, tecnologiche, di innovazione e industriali di una centrale di fusione, generare centinaia di MW di potenza elettrica netta, con un ciclo di combustibile chiuso e autosufficiente, e una disponibilità compatibile con le applicazioni commerciali.

Fusione a confinamento inerziale

Riccardo BETTI (University of Rochester)

Harnessing fusion energy has been a scientific quest since the 1950s. Inertial and magnetic confinement fusion are the main approaches to fusion energy pursued in the U.S. Both approaches use a mixture of hydrogen isotopes (deuterium and tritium, DT) as fuel. Like all advanced energy sources, inertial fusion requires a scientific demonstration of validity of the concept and a technology program to develop a viable power plant. The path to inertial fusion energy involves three elements:

- The demonstration of the physics principles of controlled inertial fusion: thermonuclear ignition and burn of DT fuel

- The demonstration of high energy gain from DT fuel
- The development of the technology for a fusion power plant

The recent laboratory demonstration of ignition and energy gains from a millimeter sized pellet containing a mix of deuterium–tritium fuel, put to rest questions about the fundamental physics of inertial confinement fusion (ICF).

In August 2021, scientists at the Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL) have, for the first time, demonstrated ignition of DT fuel in the laboratory. ¹ They fired 192 laser beams of the National Ignition Facility (NIF) at the inner wall of a cylindrical enclosure, called a hohlraum. X rays from the laser-heated hohlraum were used to implode a spherical capsule containing frozen DT (indirect-drive ICF). The resulting compression of the DT fuel led to the formation of a hot plasma with a density of several tens of g/cc, temperature of about 108 oC and a pressure of several hundred billion atmospheres. The implosion process is very inefficient and only a few percent of the laser energy is transferred to the DT fuel in the form of kinetic energy. Only about 1% of the laser energy is stored in the compressed DT fuel. In this experiment, 1.9 MJ of laser light was incident on the target, and 1.4 MJ of fusion energy was produced.

In December 2022, the Livermore scientists made small changes to the target design to make the implosion more efficient and raise the laser energy to 2.05 MJ. This led to a fusion energy yield of 3.1 MJ and an energy gain (fusion energy output / laser energy on target) of about 1.5.² This implosion performance was again exceeded in July 2023 by producing 3.9 MJ of fusion energy. In early 2024, by further increasing the laser energy to 2.2 MJ, a fusion yield of 5.2 MJ and an energy gain of about 2.4 was achieved.³ These successful experiments at LLNL point to both ignition of the central plasma and propagation of the thermonuclear burn wave through the compressed fuel.

While ignition and burn propagation was demonstrated using the indirect drive approach, significant progress was also achieved with the direct-drive approach pursued at the Laboratory for Laser Energetics (LLE) of the University of Rochester. In direct-drive ICF, the laser directly illuminates the spherical capsule thus avoiding the energy losses from the conversion of laser light to x-rays. Direct drive is a more efficient scheme than indirect drive and much of the direct-drive research is carried out on the OMEGA laser, a 30 kJ UV laser at LLE. While OMEGA is 70 times less energetics than the NIF laser, small scale implosions can be studied, and their results can be scaled up to the NIF energy. Using a novel target and laser optimization process, recent OMEGA implosions have achieved compressed core conditions that scale to a burning plasma and fusion energy yields of about 2 MJ when extrapolated to NIF laser energies. ^{4,5}

The demonstration of ignition on the NIF is not the end of a long quest but rather the beginning of a new phase in fusion research. The next step is to improve the target designs to maximize the fusion energy yield on NIF and develop a path to achieve high energy gains with the fusion energy output far exceeding the laser energy input. For that, new laser technologies are being developed that could greatly improve the energy coupled to the capsule, enabling ignition with smaller lasers and high energy gains. Furthermore, integrated programs for advancing the science and technology of inertial fusion energy are currently being developed by several countries.

Acknowledgments: This material is based upon work supported by the US Department of Energy National Nuclear Security Administration under awards DE-NA0004144, the Office of Fusion Energy Science under awards SC0022132, SC0021072, SC0024381, SC0024456, the University of Rochester, and the New York State Energy Research and Development Authority.

References

- [1] Abu-Shawareb H. et al (Indirect Drive ICF Collaboration), Lawson Criterion for Ignition Exceeded in an Inertial Fusion Experiment, Phys. Rev. Lett. 129, 075001 (2022). <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.129.075001>
- [2] Abu-Shawareb H. et al (Indirect Drive ICF Collaboration), Achievement of Target Gain Larger than Unity in an Inertial Fusion Experiment, Phys. Rev. Lett. 132, 065102 (2024). <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.132.065102>
- [3] <https://lasers.llnl.gov/science/achieving-fusion-ignition>
- [4] Gopalaswamy, V., Williams, C.A., Betti, R. et al. Demonstration of a hydrodynamically equivalent burning plasma in direct-drive inertial confinement fusion. Nat. Phys. 20, 751–757 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41567-023-02361-4>
- [5] Williams, C.A., Betti, R., Gopalaswamy, V. et al. Demonstration of hot-spot fuel gain exceeding unity in direct-drive inertial confinement fusion implosions. Nat. Phys. 20, 758–764 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41567-023-02363-2>

Il consorzio RFX

Marco VALISA (CNR, RFX)

Il Consorzio RFX di Padova è oggi il risultato della passione con cui giovani della locale università alla fine degli anni 50 vollero esplorare le nuove frontiere aperte dalla conferenza "Atoms for Peace" di Ginevra. La collaborazione col CNR, in particolare con quello che oggi è l'Istituto per la Scienza e la Tecnologia dei Plasmi, e la successiva estensione di tale collaborazione a ENEA, INFN e Acciaierie Venete (ente privato), ha consentito di sviluppare a Padova una solida infrastruttura di ricerca in un contesto poliedrico e integrato di

competenze di fisica e tecnologia della fusione nucleare, con le quali il gruppo ha condotto nel tempo esperimenti sempre più complessi e di scala crescente. Il Consorzio RFX attrae oggi investimenti nazionali e internazionali per lo sviluppo di tecnologie d'avanguardia, nonché risorse umane di eccellenza, grazie anche ad una scuola di dottorato congiunta tra le Università di Padova e Napoli, unica in Europa, indirizzata specificatamente alla scienza e alla tecnologia della fusione nucleare. Nei laboratori del Consorzio siti nell'Area di Ricerca del CNR di Padova operano tre grandi impianti di ricerca unici al mondo: l'esperimento di fusione a confinamento magnetico RFX-mod2, SPIDER, la sorgente di ioni negativi più potente al mondo e MITICA, il prototipo completo per lo sviluppo del sistema di iniezione di particelle neutre per il riscaldamento del plasma di ITER. Il Consorzio contribuisce attivamente alle ricerche fusionistiche europee coordinate da EUROfusion ed è partner di DTT, in costruzione nei laboratori dell'ENEA di Frascati. Importanti sono infine le ricadute delle attività del Consorzio sull'industria nazionale, contribuendo ad accrescerne il tasso di innovazione e di competitività in ambito internazionale.

Collaborazione con JT-60SA

Carlo SOZZI (CNR, ISTP)

Il progetto JT-60SA è stato avviato nel 2007 nell'ambito dell'accordo Broader Approach tra UE e Giappone per accelerare la realizzazione dell'energia da fusione grazie ad un programma scientifico di supporto e complementare a quello di ITER in preparazione del primo reattore dimostrativo DEMO.

Si tratta di un tokamak superconduttore di grandi dimensioni (raggio maggiore $R_p \sim 3$ m, volume del plasma di 130 m³) progettato per produrre plasmi caratterizzati da alta corrente (fino a 5,5 MA) ed alta elongazione e dotato di una varietà di attuatori di controllo tra cui i sistemi di riscaldamento tramite fasci di neutri (41 MW \times 100 s) e onde elettromagnetiche alla frequenza di ciclotrone elettronica (7 MW, 82-110-138 GHz).

La principale missione scientifica JT-60SA è la realizzazione di plasmi in stato stazionario con un elevato rapporto tra la pressione del plasma e quella magnetica, che si traduce nella elevata efficienza energetica di un reattore a fusione commerciale.

JT-60SA dopo il periodo di costruzione gestito da Fusion for Energy (F4E) per l'Europa e dai National Institutes for Quantum Science and Technology (QST) per il Giappone, ha concluso con successo la sua prima fase di operazione ed entra in quella della sperimentazione scientifica.

Nella fase costruttiva industrie italiane hanno fornito componenti chiave quali i cavi superconduttori per i magneti, le bobine toroidali superconduttrici con i loro involucri e le alimentazioni per il sistema magnetico.

Il contributo scientifico italiano al tokamak JT-60SA si esplicita principalmente attraverso la partecipazione al Consorzio Europeo EUROfusion che, con un progetto dedicato ha supportato fin dal 2011 l'attività di modellazione fisica e di simulazione per la preparazione

degli esperimenti, delle operazioni del dispositivo e la progettazione di sistemi diagnostici avanzati.

Nel presente intervento verranno descritte le principali caratteristiche di JT-60SA con i suoi obiettivi scientifici e tecnologici, lo stato attuale ed i piani futuri dell'esperimento. Verrà inoltre descritta brevemente la struttura organizzativa del progetto, le collaborazioni in atto e le opportunità di sviluppo per il contributo italiano.

Progetto IFMIF

Andrea PISENT (INFN)

Una delle principali sfide per i nuovi reattori a fusione è rappresentata dalla scelta dei materiali strutturali, che dovranno resistere ad un flusso molto intenso di neutroni con uno spettro energetico molto più duro rispetto a quanto accade nei reattori a fissione attualmente in uso. Per avere una base sperimentale affidabile per la costruzione dei futuri reattori la comunità della fusione ha deciso di costruire una sorgente di neutroni (International Fusion Material Irradiation Facility, IFMIF) in grado di irradiare e testare i materiali in condizioni che simulino correttamente un reattore per la produzione di energia. Si tratta di una sorgente basata su di un acceleratore di alta intensità per deutoni accoppiato con un target di potenza. Verranno qui ricordati sinteticamente i risultati dei prototipi di IFMIF realizzati in questi anni, ed i piani per la costruzione di una prima versione Europea di IFMIF a Granada in Spagna nei prossimi anni.

Focused Energy

Stefano ATZENI (Focused Energy)

Historic advances in inertial fusion have been made on the National Ignition Facility (NIF) laser resulting -- for the first time -- in fusion ignition and target gain $G > 1$ [1]. These advances change the prospects of inertial fusion research and open a path toward inertial fusion energy (IFE). Major improvements are indeed required to make IFE a reality. A power plant will require $G \sim 100$, rather than the $G = 2.5$ achieved on NIF. The repetition-rate and efficiency of the laser will need to be substantially increased, while the cost of the laser and targets will need to be reduced [2].

Focused Energy is a private company, established in 2021, based both in Germany and in the U.S., with the goal of developing a path to commercially viable fusion energy, using laser-driven inertial confinement. Focused Energy is currently performing R&D on all areas involved in the design of a laser fusion power plant. These include fusion target physics, laser technology, target manufacturing, energy recovery, material technology, reactor engineering, fuel cycle, and system integration.

The scheme pursued for high gain is laser direct-drive, with advanced ignition (either proton fast ignition or shock ignition). Experiments on crucial aspects, such as suppression of laser-plasma instability by broad-band lasers, and proton beam generation and transport are already being performed. High-repetition rate, high-efficiency modular Nd:glass lasers are being developed. A target laboratory is already operating, with the goal of developing low-cost, high-throughput target production techniques.

A roadmap to IFE has been devised, which foresees the construction of a first laser laboratory, based in Northern California (with tenders already in progress), followed by a sub-scale implosion test facility, and then a fusion pilot plant, and a first-of-a-kind plant. The sub-scale facility, although not allowing for ignition, should operate at multi-Hz frequency, thus allowing for testing such aspects as target injection and tracking. Design, optimization and operation of all facilities will be supported by a digital twin, currently being developed.

Focused Energy is also pioneering the industrial use of laser-driven radiation (neutrons and hard X-rays) sources, a by-product of laser-fusion research, for non-destructive tests of materials. PLANET, a pilot facility for the diagnosis of radioactive waste will be realized at the site of the Biblis RWE fission reactor [3].

Focused Energy is funded by private investors. Its activities are also supported by public funds, mainly obtained through competitive processes. These include German Federal and State Hesse programmes, as well as US DoE public-private-partnership programmes. Collaborations have been established with universities and public laboratories, both in the US and Europe. Furthermore, SPRIND [(German) Federal Agency for Disruptive Technologies] has established a company for the development of laser technologies for fusion, which will operate in collaboration with Focused Energy.

[1] H. Abu-Shawareb et al. (Indirect Drive ICF Collaboration), *Phys. Rev. Lett.* **129**, 075001 (2022); *Phys. Rev. Lett.* **132**, 065102 (2024).

[2] S. Atzeni and D. Callahan, *Physics Today* **77** (8), 44 (2024); <https://doi.org/10.1063/pt.zghg.fite>

[3] <https://optics.org/news/15/9/44>
<https://www.photonikforschung.de/projekte/lasertechnik/projekt/planet.html>

Protosphaera

Marco CIOTTI (ENEA)

La ricerca verso la realizzazione di una macchina in grado di utilizzare reazioni di fusione nucleare per la produzione di energia, si basa su due diversi approcci.

Un primo vede la possibilità di utilizzare potenti laser per comprimere molto rapidamente sferette di materia ed innescare in tal modo un rapido sviluppo di energia, un secondo che

si ripromette di contenere la materia fortemente riscaldata mediante campi magnetici particolarmente intensi.

Su questo secondo approccio la linea di gran lunga più utilizzata è quella delle macchine a forma toroidale (ciambella), dette Tokamak, per le quali è previsto un percorso di sviluppo che, se i risultati sperimentali saranno positivi, porterà a macchine man mano più potenti e più grandi. La complicazione di questi enormi esperimenti continua a dilatare i tempi ed i costi necessari per la loro realizzazione.

Una sottofamiglia di queste macchine è la cosiddetta filiera dei Tokamak sferici, che, per le loro caratteristiche geometriche, si presentano come dei tori particolarmente compatti il cui volume è raccolto attorno al centro.

Queste macchine hanno la caratteristica di ottenere un miglior confinamento del plasma a parità di altre condizioni.

La macchina Protosphaera rappresenta una idea fortemente innovativa: oltre ad essere catalogabile come un Tokamak totalmente sferico, è completamente privo del palo (solenoide) centrale, pertanto si può contenere in una camera di forma molto più semplice, come un normale cilindro. Il palo centrale è sostituito con una colonna di plasma, mantenuto in modo stazionario da due semplici elettrodi.

Tale configurazione rappresenta una notevole semplificazione della configurazione magnetica e della macchina tutta.

Ad oggi mediante campagne sperimentali effettuate presso il Dipartimento Nucleare dell'ENEA di Frascati, Divisione Studi del Plasma e DTT, si è riusciti ad ottenere sperimentalmente la formazione di plasmi toroidali, aggrovigliati attorno al palo centrale, sempre formato da plasma.

Le caratteristiche fortemente positive di questa configurazione dovranno essere verificate su una seconda versione della macchina, che abbia maggiore potenza di ingresso e caratteristiche di plasma maggiormente prestazionali.

Plasma observatory

Francesco VALENTINI (Università della Calabria)

La magnetosfera, la regione di spazio dominata dal campo magnetico terrestre, protegge la Terra dalle radiazioni solari, deviando le particelle cariche del vento solare e salvaguardando l'atmosfera e la vita su di essa. Questo sistema complesso e dinamico è caratterizzato da intensi processi di energizzazione e trasporto di energia nello spazio, il cui studio è cruciale per una profonda comprensione del funzionamento del nostro pianeta. Le missioni ESA/Cluster e NASA/MMS hanno consentito di ampliare significativamente la conoscenza dei processi che regolano la dinamica del gas interplanetario (plasma spaziale), evidenziando l'importanza dell'interazione tra diverse scale spaziali nei plasmi turbolenti. Tuttavia, per capire a fondo i meccanismi di

energizzazione e trasporto dell'energia, sono necessarie misurazioni simultanee su scale fluide e cinetiche, attualmente non disponibili. Per rispondere a questa esigenza, nasce Plasma Observatory (PO), una missione multi-scala appositamente progettata per investigare i processi di energizzazione del plasma e il trasporto di energia nella magnetosfera terrestre. PO sarà composta da un satellite principale e sei satelliti più piccoli, disposti in due formazioni tetraedriche concentriche. Questa configurazione permetterà di eseguire misurazioni tridimensionali simultanee su scale fluide (fino a 5000 km) e ioniche (fino a 30 km), coprendo tutte le principali regioni della magnetosfera. La costellazione di satelliti sarà dotata di strumenti avanzati per la caratterizzazione dei campi elettromagnetici e delle particelle con una risoluzione sufficiente a esplorare la fisica cinetica su scala sub-ionica. Plasma Observatory rappresenta l'evoluzione delle missioni Cluster e MMS e permetterà di fare luce su problemi ancora irrisolti nel sistema magnetosferico terrestre. La missione è attualmente in fase di studio di fattibilità come una delle tre candidate al bando ESA M7, con selezione finale prevista per il 2026 e lancio pianificato per il 2037.

Plasmi solari

Francesco BERRILLI (Lincoo, Università di Roma Tor Vergata)

The common ground between solar physics and magnetically confined fusion lies in their exploration of plasma and magnetic phenomena. Understanding the complex dynamics of solar plasma, for example during solar flares and photospheric magneto-convection, offers valuable insights into the challenges and potential solutions for achieving controlled fusion reactions.

Solar flares are intense bursts of energy released from the Sun's corona, driven by magnetic reconnection processes that involve magnetic field lines connecting the corona to the photosphere. They are driven by the release of magnetic energy stored in the solar upper atmosphere. This process, known as magnetic reconnection, involves the annihilation of opposing magnetic field lines, resulting in the heating and acceleration of plasma. Similar mechanisms are at play in tokamak devices, where magnetic fields are used to confine and heat plasma to fusion temperatures. By studying solar flares, researchers can gain a deeper understanding of magnetic reconnection and its implications for plasma stability and confinement in magnetically confined fusion experiments.

Magneto-convection, the interplay between magnetic fields and fluid motion in the Sun's outer layers, plays a crucial role in driving solar activity. The turbulent nature of magneto-convection can lead to the formation of magnetic structures, such as sunspots and active regions, which are often associated with solar flares and coronal mass ejections. These phenomena have parallels in tokamak devices, where turbulence and instabilities can disturb plasma confinement and performance.

The study of solar physics provides a rich source of information and inspiration for the development of magnetically confined fusion technology. By understanding the fundamental processes governing solar plasma dynamics, researchers can gain valuable insights into the challenges and opportunities associated with achieving controlled fusion reactions.

Introduzione alla discussione

Fulvio ZONCA (ENEA)

Come introduzione alla discussione della sessione su “Azioni e progetti da intraprendere”, verranno delineati gli elementi peculiari che caratterizzano la fusione come campo di ricerca scientifico e tecnologico in cui risorse pubbliche e private sono complementari e condividono l’obiettivo di dimostrare la produzione di energia da reazioni termonucleari a supporto dello sviluppo sostenibile, minimizzando l’impatto ambientale.

È verosimile che l’arco temporale su cui questo processo arriverà a compimento sia di medio-lungo periodo, in cui i problemi da affrontare non riguarderanno unicamente né i soli aspetti scientifici, né quelli tecnologici. La sintesi delle soluzioni che verranno proposte potrà avere grande beneficio dall’armonizzazione degli sforzi pubblici e privati. Elemento di fondamentale importanza rimarranno comunque le risorse umane. Giocherà quindi un ruolo fondamentale la formazione delle nuove generazioni di scienziati e tecnologi, che dovranno avere qualità e numerosità adeguate alle sfide che dovranno affrontare. In questo contesto si rende impellente e necessaria una profonda sinergia tra ricerca pubblica/privata e università.

Da questi spunti di riflessione, da articolare e ampliare durante la discussione, potranno emergere utili spunti sulle azioni da intraprendere.