

FUSIONE NUCLEARE MEDIANTE MICROBUBBLE IMPLOSION

V. Ciardiello¹, D. Davino¹, V. P. Loschiavo¹, M. Murakami²

¹ Dip. di Ingegneria, Università del Sannio, P.zza Roma, 21, 82100 Benevento, Italia

² Institute of Laser Engineering, Osaka University, Osaka 565-0871, Japan

È ben noto che la fusione nucleare, il processo che alimenta il sole e le stelle, rappresenti una delle più promettenti fonti di energia per l'umanità. Il tipo più comune di fusione nucleare coinvolge l'idrogeno ed i suoi isotopi pertanto i combustibili per la fusione sono abbondanti e facilmente ottenibili. Non produce rifiuti radioattivi a lunga durata, come invece accade nella fissione e, pertanto, non presenta il rischio di incidenti gravi. Ha quindi il vantaggio notevole della sua sicurezza intrinseca. Tuttavia, l'innescò di reazioni di fusione nucleare richiede condizioni operative estremamente onerose, in termini di temperatura e pressione. Ad oggi, nonostante notevoli progressi, la fusione nucleare non è ancora realizzata su scala commerciale a causa delle succitate sfide tecniche e finanziarie. Molti stati, tra cui l'Italia, e organizzazioni internazionali di ricerca stanno investendo significativamente nella fusione, sperando di poterla proporre come fonte di energia pulita e sostenibile del futuro [1,2] e indagando anche su nuovi principi e metodi. Due sono, al momento, i principali approcci consolidati per ottenere la fusione nucleare: il confinamento magnetico (MCF) ed il confinamento inerziale (ICF).

Nel primo caso, il plasma è confinato attraverso elevati e opportuni campi magnetici e si sfrutta la "stabilità magnetica" del plasma per mantenere la reazione di fusione. Diverse sono le configurazioni utilizzate per realizzare il confinamento magnetico di un plasma, tra cui la più utilizzata è il "tokamak", essenzialmente composto da una camera toroidale con bobine magnetiche.

Il meccanismo alla base della fusione nucleare a confinamento inerziale, invece, prevede l'uso di fasci laser ad alta intensità ("HIL") per irraggiare una capsula di qualche mm² contenente una miscela di Deuterio-Trizio. Il tempo di confinamento in questo caso è nell'ordine dei nanosecondi, poiché questo è il tempo tipico che la capsula impiega per esplodere dopo l'irraggiamento, quindi definito come confinamento legato all'inerzia.

Un approccio innovativo alla fusione nucleare può essere considerato in relazione ad un fenomeno fisico, noto in letteratura come "Micro-Bubble-Implosion" (MBI). In questo caso, abbiamo un bersaglio di combustibile intorno a una sfera cava, con diametro nell'ordine dei micron, irraggiato da un laser con intensità nell'intervallo 10^{18} - 10^{22} W/m². Il risultato di questa interazione è una ionizzazione estremamente rapida degli atomi. Il campo elettrico risultante, generato dagli elettroni che si addensano nella cavità, induce l'implosione del sistema. Quando il sistema si avvicina alla sua massima densità, gli attuali modelli teorici prevederebbero densità nell'ordine di circa 10^5 volte quelle dello stato solido della materia, con campi elettrici dell'ordine di 10^{16} V/m, [5], suggerendo quindi una possibile fusione. Questo nuovo approccio potrebbe esibire notevoli vantaggi, soprattutto se si punta alla fusione protone boro. Quest'ultima è sostanzialmente aneutronica, evita i problemi connessi alla gestione di neutroni veloci e alla conseguente attivazione radioattiva dei materiali, tipico della fusione deuterio trizio. Cionondimeno, a causa del numero atomico del boro, quando si porta la fusione sulla scala del nanosecondo, le perdite di energia connesse alla radiazione di frenamento sono notevoli. Tramite la MBI, il processo di fusione avviene sulla scala del femtosecondo, di conseguenza le perdite radiative sono molto limitate. I primi risultati [6] mostrano che questo meccanismo possa rappresentare un nuovo approccio alla fusione nucleare, con le sue

peculiarità e quindi applicazioni. In figura 1 viene mostrata una rappresentazione intuitiva del fenomeno. In figura 2, tramite l'uso di un codice ibrido "Molecular Dynamics 1D", è possibile osservare come gli ioni implodono (raggi blu-idrogeno, rossi-Boro e verdi-Oro), sotto l'azione del campo elettrico generato dagli elettroni presenti nella cavità, portandosi a densità molto elevate.

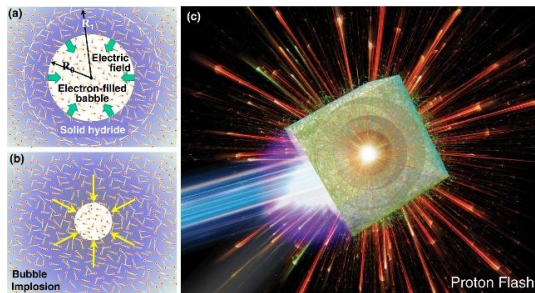


Figura 1: Schema rappresentativo per il fenomeno della Microbubble implosion.

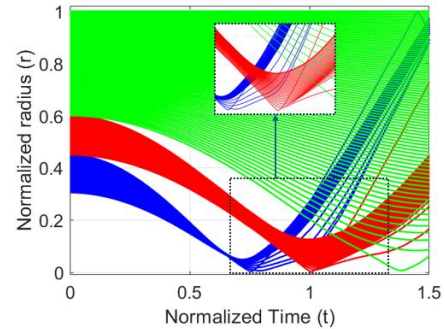


Figura 2: Rappresentazione delle traiettorie delle particelle durante l'implosione caratteristica della MBI.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] Fusion Electricity – EFDA, November 2012, <https://core.ac.uk/reader/53866130>
- [2] DTT - Divertor Tokamak Test facility, <https://www.dtt-project.it/>
- [3] F. Consoli et al, Laser produced Electro-Magnetic Pulses: generation, detection and mitigation. High Power Laser Science and Engineering, (2020), Vol. 8, e22, 59 pages. <https://doi.org/10.1017/hpl.2020.13>
- [4] A. Maffini et al, Numerical Study of Carbon Nanofoam Targets for Laser-Driven Inertial Fusion Experiments. Laser and Particle Beams Volume (2023), Article ID 1214430, 9 pages. <https://doi.org/10.1155/2023/1214430>
- [5] M. Murakami et al, Relativistic proton emission from ultrahigh-energy-density nanosphere generated by microbubble implosion. Physics of Plasmas (2019), Vol. 26, 9 pages. <https://doi.org/10.1063/1.5093043>
- [6] V. Ciardiello, D. Davino, Vincenzo Paolo Loschiavo, Masakatsu Murakami, Proton-Boron Fusion via Microbubble Implosion: A Preliminary Study. To be submitted.