

# DTT, un tokamak per lo studio dei carichi termici dei reattori a fusione

Un progetto italiano da 500 milioni per traghettare la comunità scientifica dalla realizzazione del reattore sperimentale ITER alla realizzazione di un reattore a fusione. Lo scopo di DTT è fornire soluzioni integrate agli aspetti fisici e tecnologici della problematica dei flussi termici sul divertore, in supporto alla progettazione del divertore per DEMO e dei futuri reattori a fusione. Per questo DTT è stato progettato per riprodurre caratteristiche del bordo plasma e di interazione plasma-parete facilmente scalabili a quelle di DEMO. Il progetto DTT supporta la roadmap europea sulla fusione e darà vita ad un polo scientifico e tecnologico strategico per il sistema italiano, con ricadute di grande rilievo per tutta la comunità scientifica europea e per le aziende italiane

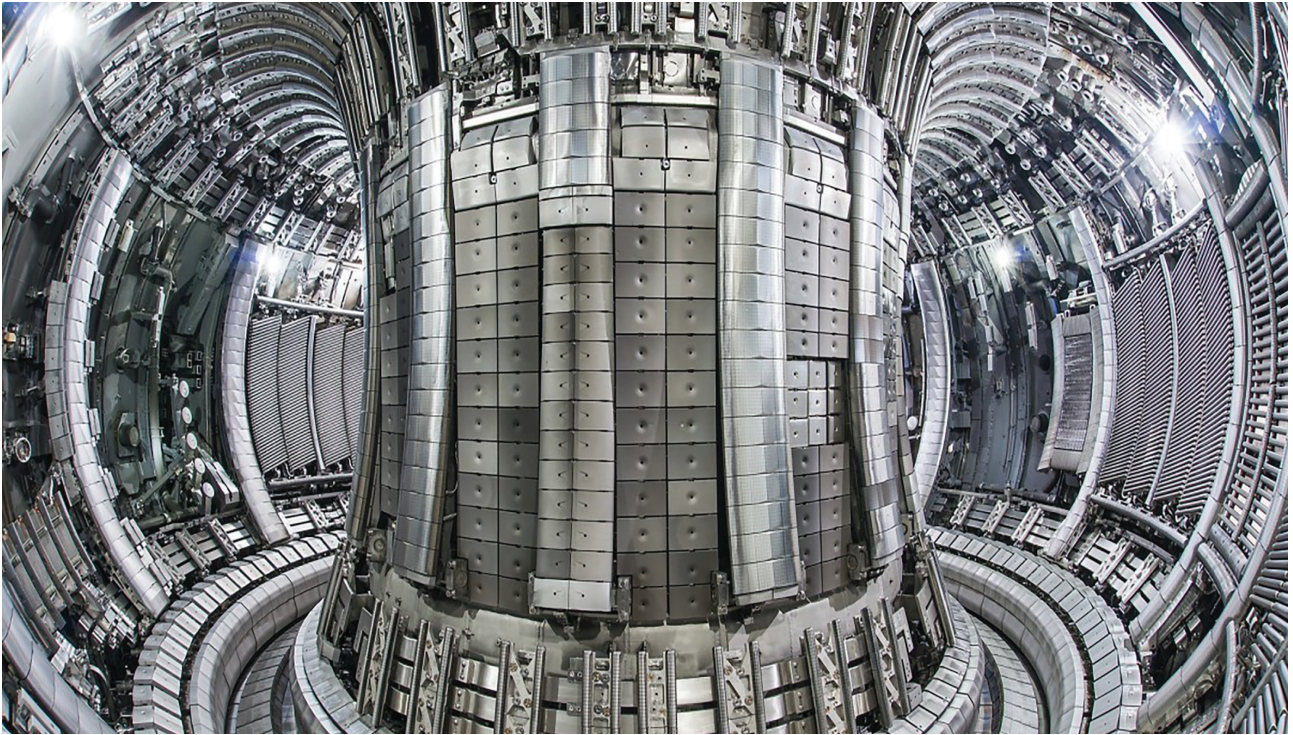
DOI 10.12910/EAI2017-065

di **Antonio Botrugno e Flavio Crisanti**, ENEA

La *roadmap* europea per la commercializzazione dell'energia da fusione è regolata dalle linee guida stabilite nel 2012 dall'Agenzia europea EFDA (European Fusion Development Agreement), prima di diventare EUROfusion nel 2014 [1]. L'elemento chiave della *roadmap* è rappresentato dal reattore sperimentale ITER, che affronta molte delle sfide individuate nelle linee guida del programma ed è oggi riconosciuto a livello mondiale come la via più promettente per lo sviluppo della fusione termo-

nucleare a confinamento magnetico. La seconda fase del programma europeo prevede la realizzazione di DEMO, un reattore atto a dimostrare la fattibilità della fornitura di energia elettrica alla rete. Dopo ITER, infatti, rimarranno ancora da affrontare alcuni problemi come la sostenibilità del ciclo del trizio, l'uso di materiali resistenti agli alti flussi neutronici, la possibilità di operare il reattore in maniera stazionaria. Una delle principali sfide scientifiche e tecnologiche ancora irrisolte per la sostenibilità del programma

fusione nella fase post ITER, è quella di progettare un sistema in grado di sopportare per lunghi periodi i grandi carichi termici e di radiazione previsti sulle componenti affacciate al plasma (come la parete della camera da vuoto e il divertore). Il flusso termico uscente dal plasma è in gran parte associato a particelle cariche. I moderni tokamak sono basati su una configurazione con separatrice in cui il plasma non è a contatto con la parete ed in questa configurazione le particelle cariche vengono opportunamente convo-



gliate da campi magnetici in una regione più esterna rispetto alla parete del reattore, detta divertore (Figura 1). Il divertore risulta quindi il componente più critico di un reattore a fusione. Le simulazioni di plasmi ai regimi di funzionamento dei futuri reattori a fusione di potenza mostrano che il divertore dovrebbe sopportare carichi termici superiori a  $50 \text{ MW/m}^2$ , mentre attualmente le componenti in tungsteno (materiale scelto per il divertore di ITER) possono sopportare carichi termici massimi che si attestano attorno ai  $5\div 10 \text{ MW/m}^2$ , con carichi transienti fino a  $15 \text{ MW/m}^2$ .

In questo contesto, EUROfusion ha fatto partire un programma e varie attività per studiare le possibili soluzioni al problema dei carichi termici in DEMO. Affrontare il problema con le capacità offerte da macchine già esistenti come ASDEX e JT-60SA

o in fase di realizzazione come lo stesso ITER, espone a gravi rischi di incertezza nella progettazione di un divertore per DEMO, cioè a causa della grande differenza tra le condizioni di plasma, sia al bordo che al centro della zona confinata, tra le attuali macchine e quelle previste in DEMO. Appare sempre più evidente la necessità di realizzare una *facility* dedicata allo studio di questo problema, con caratteristiche del bordo plasma e di interazione plasma-parete facilmente scalabili a quelle di DEMO e dei futuri reattori. A tale scopo, la comunità italiana che lavora sulla fusione ha progettato e si propone di costruire la Divertor Tokamak Test (DTT) Facility, un progetto da 500 milioni di euro che permette di riprodurre alcune delle caratteristiche del bordo plasma di DEMO. Lo scopo di DTT è fornire soluzioni integrate agli aspetti fisici

e tecnologici della problematica dei flussi termici sul divertore, in supporto alla progettazione del divertore per DEMO e potenzialmente anche alla sua fase di funzionamento. Dal punto di vista tecnico, DTT è un tokamak di medie dimensioni capace di confinare un plasma di  $33 \text{ m}^2$  a temperature di oltre 100 milioni di gradi per tempi di circa 100 secondi (Figura 2). DTT è in grado di operare con plasmi di deuterio, corrente di plasma ( $I_p$ ) fino a 6 MA, campo magnetico toroidale ( $B_T$ ) fino a 6 T. Il plasma è confinato mediante magneti superconduttori ed è poi portato a temperature fusionistiche da una potenza di riscaldamento addizionale di 45 MW di cui 25 MW forniti da onde elettromagnetiche che trasferiscono energia agli elettroni, 10 MW da onde elettromagnetiche che trasferiscono energia agli ioni e altri 10 MW da

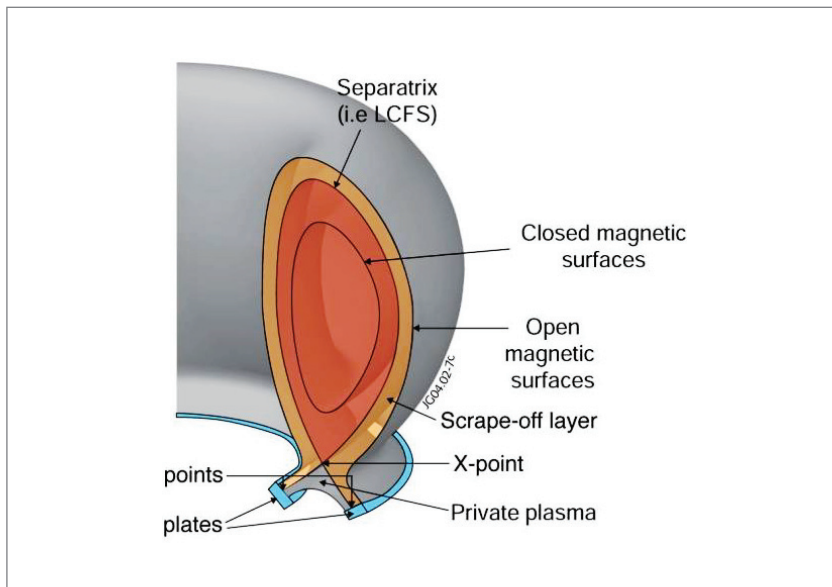


Fig. 1. Schema della parete di un reattore tokamak con al centro il divertore

particelle neutre veloci immerse nel plasma. DTT è in grado di generare flussi termici sulle piastre del divertore superiori ai 20 MW/m<sup>2</sup>. Ulteriori dettagli sui parametri di costruzione e di operazione del tokamak possono essere reperiti nel *Project Proposal* [2].

Il problema dei carichi termici sul divertore di un tokamak è attualmente affrontato dalla comunità scientifica internazionale seguendo approcci differenti, sia mediante lo sviluppo di materiali innovativi in grado di sopportare i valori dei flussi termici previsti nei futuri reattori (come la parete a litio liquido o stagno liquido studiate in FTU [3] presso il centro ricerche ENEA di Frascati), sia mediante lo sviluppo di configurazioni magnetiche avanzate nella zona del divertore, in grado di ridurre il carico sui materiali redistribuendo il flusso termico su superfici più ampie (come il divertore Super-X in MAST-U [4] a Culham nel Regno Unito o quello *Snowflake* in TCV

[5] a Losanna in Svizzera). Uno dei punti di forza del progetto DTT è quello di poter affrontare il problema da entrambi i punti di vista. Ciò è dovuto ad una accurata scelta dei parametri di progettazione che permette un'ampia flessibilità operativa. DTT sarà in grado di operare con un divertore in tungsteno o con un metallo liquido (litio o stagno), di usare differenti configurazioni magnetiche come quelle a singolo e a doppio nullo, quelle *snowflake* e quasi *snowflake*. Inoltre, questi studi potranno essere svolti usando molteplici scenari di plasma in modo da riprodurre un ampio intervallo di valori per le condizioni di plasma, sia al bordo che nella zona centrale di alto confinamento. DTT permetterà non solo di valutare le performance delle soluzioni testate ma anche di valutarne la fattibilità tecnologica e la compatibilità con le performance del plasma. La grande flessibilità progettuale permetterà anche di testare soluzioni diverse derivanti da eventuali mi-

glioramenti scientifici e tecnologici dei prossimi anni.

Il progetto DTT definisce un importante ambito del contributo italiano al più ampio programma europeo sulla fusione. Il progetto è il risultato di una visione strategica di insieme che mette al centro non solo l'avanzamento delle conoscenze in settori chiave per lo sviluppo della scienza e tecnologia del plasma e della fusione, ma anche lo sfruttamento e il consolidamento delle eccellenze italiane acquisite negli anni e riconosciute a livello internazionale, come lo studio dei plasmi ad alto campo magnetico, lo studio dei materiali per la fusione etc. Inoltre, le attività di ricerca correlate costituiranno una notevole spinta per lo sviluppo di tecnologie innovative in vari settori, con rilevanti ricadute per le industrie italiane, ad esempio, oltre allo studio dei materiali funzionali al divertore, DTT è anche un eccellente test per i materiali superconduttori di ultima generazione basati sul Nb<sub>3</sub>Sn e realizzati dall'ENEA in collaborazione con l'industria italiana. L'uso di magneti superconduttori permette di operare ad alto campo magnetico per confinare plasmi con alta densità di potenza minimizzando la dissipazione dei conduttori e riducendo quindi i costi di operazione. Il progetto DTT è stato proposto da ENEA in collaborazione con il Centro Nazionale di Ricerche (CNR), l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), il Consorzio di Ricerca per l'Energia, l'Automazione e le Tecnologie dell'Elettromagnetismo (CREATE), il consorzio RFX, il Politecnico di Torino e l'Università degli Studi di Milano. Nell'aprile 2017 la Commissione attività produttive della Camera ha approvato una risoluzione che impe-



gna il Governo ad assumere iniziative per favorire la realizzazione del progetto, e nel mese di luglio 2017 anche EUROfusion si è impegnata a lo stesso. Il progetto DTT può quindi dare vita nei prossimi anni ad un polo scientifico e tecnologico strategico per il sistema italiano, con circa 2000 addetti e ricadute di grande rilievo per tutta la comunità scientifica e le aziende italiane.

La fase di costruzione di DTT è pianificata in 7 anni e il reattore potrebbe essere operativo già nel 2025, con l'obiettivo di operare per almeno 20 anni e la possibilità di funzionare anche in parallelo a DEMO. DTT fornirà risposte scientifiche, tecniche e tecnologiche cruciali destinate a risolvere una delle maggiori criticità dei programmi mondiali sulla fusio-

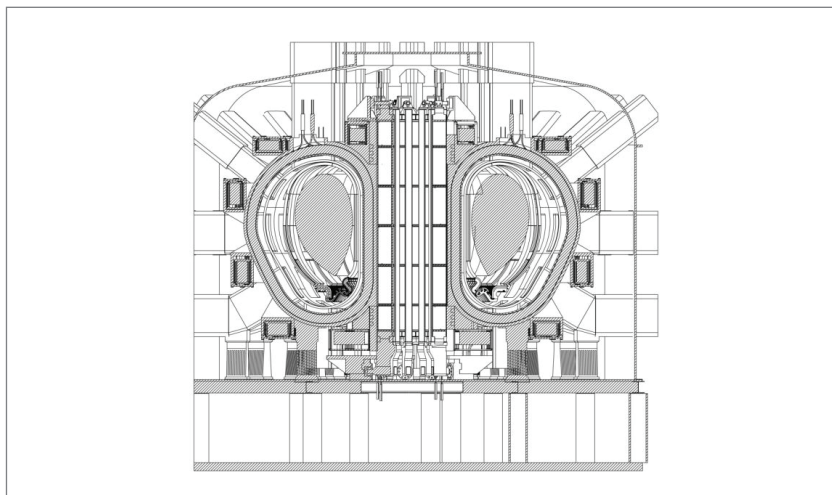


Fig. 2 Schema del Divertor Tokamak Test (DTT) Facility

ne. Si tratta di un progetto chiave per traghettare la comunità scientifica dalla realizzazione di ITER a quella

di DEMO riducendo con un investimento modesto i rischi di progetto di DEMO.

#### BIBLIOGRAFIA

1. *Fusion Electricity – A roadmap to the realisation of fusion energy*, 2012 (<https://www.euro-fusion.org/eurofusion/the-road-to-fusion-electricity>)
2. *DTT – Divertor Tokamak Test facility*, 2015 (<http://www.enea.it/it/pubblicazioni/edizioni-enea/2015/project-proposal-dtt>)
3. Mazzitelli G. et al., *Nucl. Fusion*, 51, 073006, 2011
4. [http://www.ccf.ac.uk/mast\\_upgrade\\_project.aspx](http://www.ccf.ac.uk/mast_upgrade_project.aspx)
5. Reimerdes H., et al., *Plasma Phys. Control. Fusion* 55 (2013) 124027