

La roadmap cinese verso l'energia da fusione: obiettivo 2050

Nell'ultimo decennio la ricerca sulla fusione in Cina ha compiuto passi in avanti molto significativi. L'adesione a ITER nel 2006 ha segnato un'accelerazione nella roadmap per la produzione di energia elettrica da fusione e realizzare il primo prototipo di centrale (PFPP) tra il 2050 e il 2060. D'altra parte, il contributo cinese all'avanzamento di ITER sta crescendo in qualità e quantità grazie all'apporto della comunità scientifica e dell'industria nazionale impegnata nella fornitura della componentistica. La collaborazione con ENEA

DOI 10.12910/EAI2019-013



di **Jiangang Li**, Professore dell'Università di Scienza e Tecnologia della Cina. Vice Direttore dell'Istituto di Fisica del Plasma, Accademia Cinese delle Scienze – Hefei (Cina)

La ricerca sulla fusione a confinamento magnetico in Cina è iniziata negli anni '60 e ha avuto sin da subito l'obiettivo della produzione di energia elettrica. L'avvio è stato lento e difficile in tutta la prima fase che va fino agli anni 90, contrassegnati da un forte e costante impegno sugli studi della fisica del plasma fondamentale, la formazione di giovani scienziati e da diversi approcci per la costruzione di tokamak di piccole dimensioni, di mirror e di macchine lineari. In una seconda fase, dall'inizio del 1990 fino alla metà del 2000, è stata avviata la realizzazione di magneti superconduttori e di tokamak di

medie dimensioni; in particolare, con il supporto di scienziati russi il tokamak sovietico T-7, provvisto di magneti superconduttori per il campo toroidale, è stato modificato con successo in HT-7 [1] ed è stato dotato di nuovi sistemi di riscaldamento, produzione di corrente e diagnostica. Inoltre, modificando il tokamak tedesco ASDEX è stato realizzato il tokamak HL-2A che ha consentito di fare significativi passi in avanti in termini di parametri di plasma [2-4]. Successivamente è stato costruito EAST, il primo tokamak completamente superconduttore, e il primo plasma è stato realizzato nel 2006 [5]. EAST (Figura 2) è realizzato con

tecnologie simili a ITER¹ e svolgerà un ruolo chiave per la messa a punto delle operazioni di ITER e per la realizzazione del reattore cinese CFETR attesa per il prossimo decennio.

L'adesione formale al Progetto ITER nel 2006 ha segnato un punto di svolta nel programma fusione in Cina e l'avvio di una terza fase di ricerca (Figura 1), incentrata sulla realizzazione del "Progetto cinese di sviluppo dell'energia nucleare da fusione a confinamento magnetico" (CN-MCF, che include sia le attività nazionali sia la partecipazione a ITER ed è supportato da finanziamenti stabili dal governo centrale). Il programma nazionale

prevede lo studio della fisica del plasma, approfondimenti della teoria, simulazioni numeriche, esperimenti, sviluppo tecnologico e formazione. Dall'inizio del 2007 le dieci più importanti università cinesi sono state coinvolte nella ricerca di base sulla fisica del plasma e nella formazione; anche i Ministeri della Scienza e della Tecnologia e dell'Educatione, l'Accademia delle Scienze cinese ed il settore della cooperazione nucleare cinese hanno avviato un programma congiunto per formare giovani talenti: i migliori studenti universitari e post doc, vengono selezionati per partecipare a speciali progetti di ri-

cerca con finanziamenti stabili. **Ogni anno, oltre 200 studenti di master e 150 studenti di dottorato sono coinvolti nella ricerca sulla fusione.** A livello universitario, si è deciso di concentrarsi sulla costruzione di piccoli impianti sperimentali per la comprensione della fisica, nuovi sistemi diagnostici, configurazioni di plasma alternative, studi sull'interazione plasma-parete, materiali e sviluppi tecnologici, tutte attività complementari agli studi su EAST e HL-2A. In parallelo, è stato avviato un programma di simulazioni numeriche su larga scala che ricomprende diverse tematiche e si basa su

una forte cooperazione internazionale, sul coinvolgimento di diverse università e di due importanti istituti di ricerca sulla fusione, l'Istituto di Fisica dei Plasmi dell'Accademia delle Scienze (ASIPP) e l'Istituto sud-occidentale di Fisica (SWIP). Il flusso di finanziamenti assicurato dal governo centrale ha consentito di ottenere risultati molto positivi in EAST e HL-2A, in particolare rispetto a questioni chiave per ITER. HL-2A si è concentrato sulla fisica del plasma di bordo e sul controllo delle instabilità magneto-drocinamiche [6-7] mentre EAST si è focalizzato sulla sperimentazione di operazio-

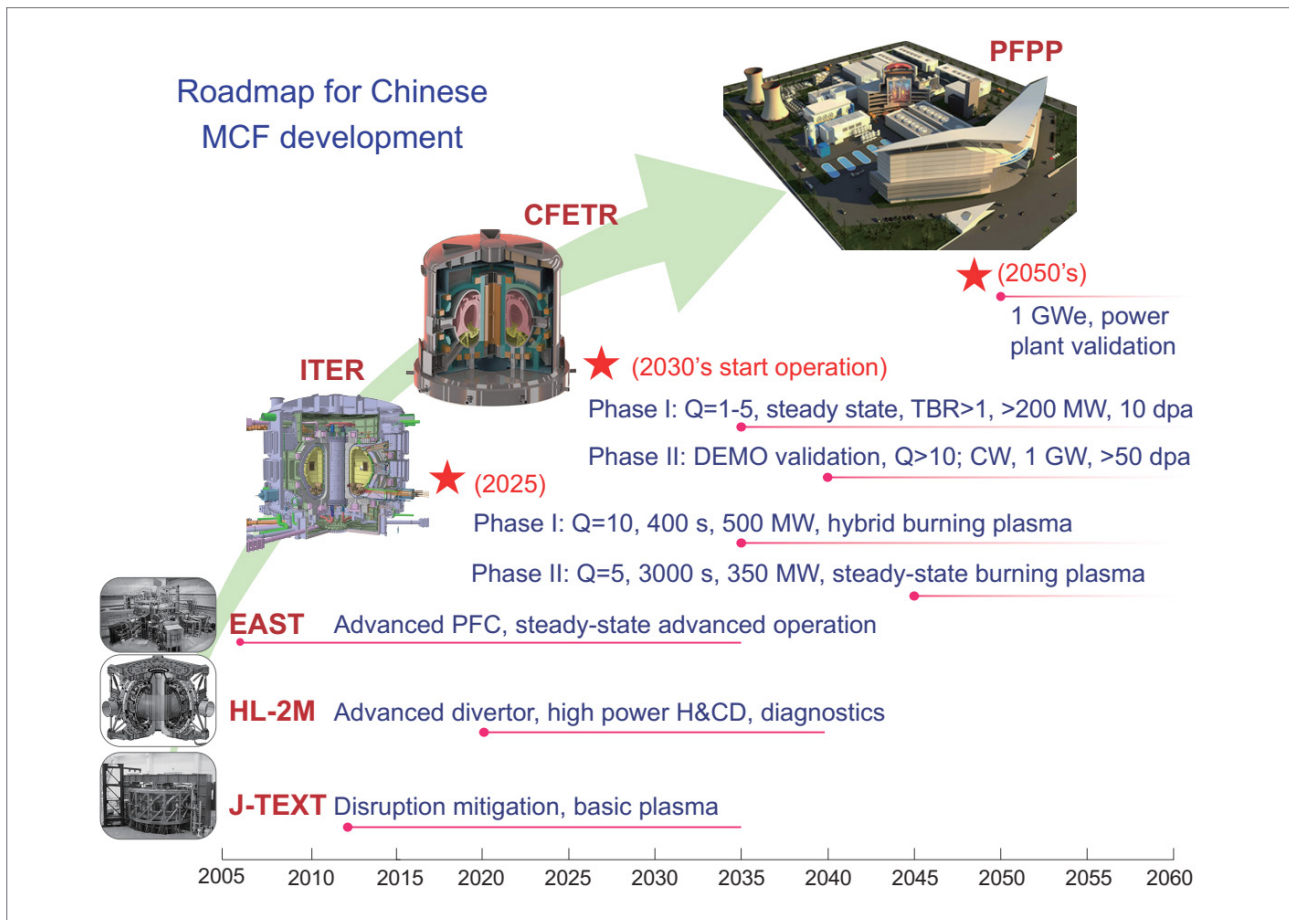


Fig. 1 Roadmap per lo sviluppo dell'energia da fusione a confinamento magnetico in Cina

ni ad alte prestazioni di plasma allo stato stazionario arrivando a produrre scariche di plasma con correnti dell'ordine di milioni di Ampere della durata fino a 400 s. **Le attività di ricerca sviluppate nell'ambito "Progetto cinese di sviluppo dell'energia nucleare da fusione a confinamento magnetico" (CN-MCF) stanno tralasciando la ricerca sui tokamak verso nuove frontiere tecnologiche a livello mondiale con ricadute di rilievo nella produzione scientifica: solo negli ultimi cinque anni sono stati pubblicati in media ogni anno oltre 500 articoli su riviste scientifiche internazionali incluse nel Science Citation Index.**

Componenti cinesi per ITER

Nel 2007, a seguito dell'adesione cinese a ITER, è stata formalmente istituita **ITER-Cina (CNDA) un'agenzia nazionale che fa capo al Ministero della Scienza e della Tecnologia cinese incaricata della realizzazione dei componenti per ITER.** In questi anni, il programma cinese di produzione di componenti per ITER ha progredito costantemente in stretta collaborazione con l'ITER Organization (ITER IO) sulla base di 12 accordi di fornitura. Grazie allo sforzo congiunto di ITER-CNDA, di ASIPP e di SWIP, ad oggi il materiale conduttore per i magneti toroidali è stato prodotto nel pieno rispetto dei tempi e dei requisiti tecnici stabiliti e lo stesso è previsto per le restanti undici forniture attualmente in via di produzione; di fatto, il 60% delle forniture richieste alla Cina sono state realizzate con successo.

La roadmap CN-MCF

Dopo tre anni di dibattito, la comunità CN-MCF ha raggiunto un consenso su una roadmap per la

realizzazione di energia da fusione in Cina, indicando i seguenti obiettivi a breve termine: 1) creazione di una piattaforma avanzata (EAST, HL-2M, J-TEXT) per la sperimentazione con il plasma 2) sviluppo di tecnologie strategiche per la costruzione di ITER e del reattore sperimentale China Fusion Engineering Test Reactor (CFETR), 3) progettazione del CFETR e avvio di attività di ricerca e sviluppo su larga scala. L'avvio della costruzione del CFETR è previsto fra il 2020-2030, con la previsione di concludere fra il 2030-2040. In una prima fase, la potenza di fusione target dell'impianto CFETR sarà intorno ai 200 MW allo stato stazionario e in regime di autosufficienza per il trizio, sviluppandosi in parallelo con l'operazione di ITER a piena potenza ($Q=10$). In una seconda fase, verrà raggiunta una potenza di fusione di oltre 1 GW per poter validare so-

lizzazione fra il 2050-2060 del prototipo di centrale elettrica a fusione (PFPP).

Il China Fusion Engineering Test Reactor

Nella roadmap cinese della fusione, la prossima tappa è il China Fusion Engineering Test Reactor (CFETR) [10], un impianto sperimentale concepito per colmare il divario tra ITER e il futuro reattore a fusione. La progettazione tecnica di dettaglio è iniziata due anni fa da parte di un team nazionale con oltre 600 persone e, ad oggi, il progetto preliminare è stato completato. L'obiettivo è di riuscire realizzare un impianto con un'operatività elevata, in grado di produrre fino a 1500 MW di potenza di fusione e di raggiungere l'autosufficienza per il trizio. Per il suo funzionamento in regime stazionario è previsto l'uso di un campo magnetico fino a 6,5 Tesla

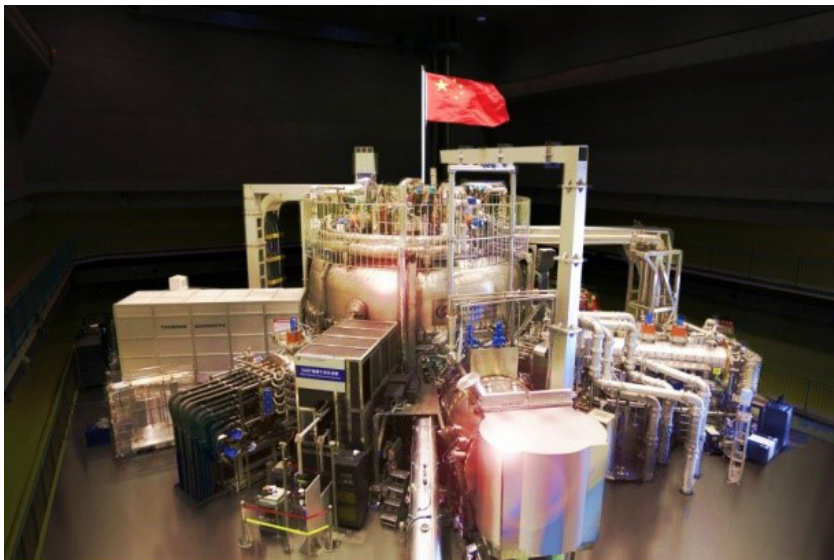


Fig. 2 Il tokamak EAST

luzioni tecnologiche per il reattore dimostrativo DEMO. **Un passo da gigante nella roadmap sarà la rea-**

e di due sistemi di riscaldamento, con onde a radiofrequenza e tramite iniezione di fasci di atomi neutri.

La realizzazione di CFETR prevede anche un vasto programma di ricerca e sviluppo di e tecnologie avanzate quali quelle relative ai magneti superconduttori ad alte prestazioni, inclusi i magneti ad alta temperatura critica, ai nuovi magneti in Nb_3Sn avanzati, alle sorgenti di onde a radiofrequenza ad alta potenza, ai sistemi stazionari di iniezione di fasci di neutri, di gestione da remoto, al divertore, ai materiali avanzati per la fusione e ai mantelli triziogeni. Tutte queste attività vengono finanziate con fondi governativi. Il programma prevede inoltre la realizzazione di infrastrutture di prova di componenti di CFETR in ambiente non nucleare, quali l'impianto di collaudo dei magneti superconduttori, la camera a vuoto per le simulazioni di installazione e rimozione remota di componenti, l'impianto per il ciclo del trizio e la sorgente di neutroni a 14 MeV per i test sul mantello triziogeno. Il successo di questo programma, unitamente a ulteriori prove ingegneristiche, simulazioni e modellazione su larga scala e esperimenti sui tokamak, fornirà una base più solida per l'avvio della costruzione di CFETR, ITER è un esempio molto positivo di cooperazione internazionale tra numerosi Paesi che rappresentano più della metà della popolazione mondiale. Negli ultimi 10 anni la collaborazione tra i vari partner nazionali e il team centrale è stata un elemento-chiave per il successo del progetto. Con l'ingresso della Cina, ITER ha potuto beneficiare di contributi molto rilevanti sia a livello scientifico-tecnologico sia nelle forniture industriali; d'altra parte, la partecipazione a questo grande progetto di respiro internazionale ha aperto nuove prospettive nell'ambito della ricerca cinese e nuove opportunità per la realizzazione del Reattore spe-

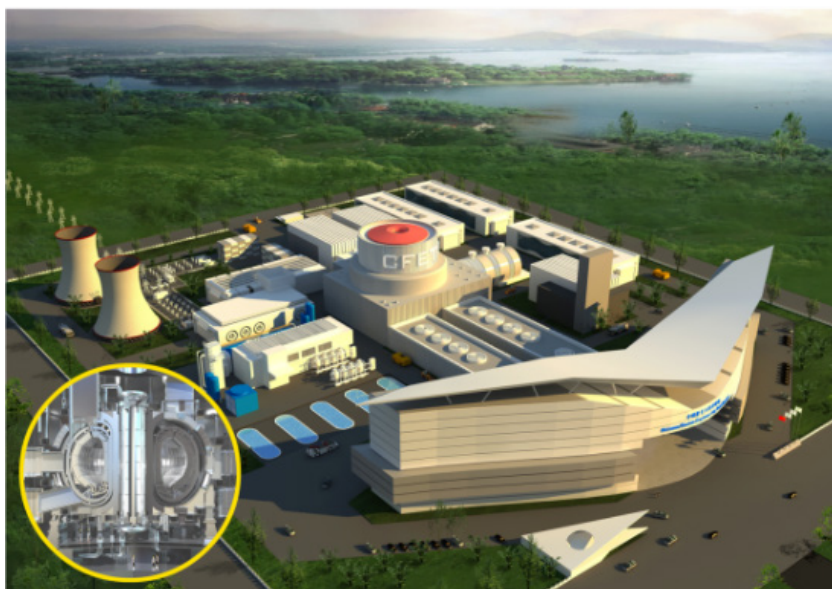


Fig. 3 China Fusion Engineering Test Reactor (CFETR)

rimentale CFETR. Su questo fronte, la collaborazione internazionale è iniziata cinque anni fa con la creazione di team di progettazione congiunti Cina-Stati Uniti e tra i gruppi impegnati nella progettazione del DEMO europeo e di CFETR con risultati molto positivi. E lo stesso vale per il futuro: nel programma CN-MCF è benvenuto ogni partner internazionale che voglia partecipare alle attività di ricerca e sviluppo e alla progettazione per contribuire ad accelerare la realizzazione del CFETR.

Nel campo della fusione la Cina vanta più di venti anni di collaborazione con i grandi player del settore, Stati Uniti, Russia, Giappone e Unione Europea, collaborazione che ha avuto ricadute di vasta portata nel tempo. Negli ultimi cinque anni, il programma congiunto tra Giappone, Corea e Cina ha registrato buoni progressi. Recentemente sono state sviluppate collaborazioni molto strette ed efficaci tra DIII-D (General Atomic, San Diego, USA) ed EAST, tra EAST/HL-2A e WEST (CEA, Ca-

darache, Francia) e ASDEX-U (IPP, Garching, Germania), per le quali sono stati creati specifici gruppi di lavoro congiunti. Per i prossimi 10 anni, questa cooperazione verrà supportata e rafforzata grazie ai finanziamenti di ciascun governo.

In questo stesso periodo di tempo ha preso il via la collaborazione tra ENEA e Cina, che ha già dato risultati interessanti: i team congiunti di EAST-DTT-CFETR hanno organizzato workshop e lavorato a stretto contatto per il controllo del plasma a regime avanzato su EAST, sulla teoria e simulazione, per la progettazione e test di riscaldamento a radio frequenza per EAST e DTT e per la progettazione e lo sviluppo per DTT e CFETR. Lottima sinergia che si è creata tra i team è un elemento propulsivo per i progetti DTT da un lato e CFETR dall'altro. Ed entrambe le parti sono decise a rafforzare in futuro la collaborazione.

Conclusioni

Negli ultimi dieci anni il “Proget-

to cinese di sviluppo dell'energia nucleare da fusione a confinamento magnetico" (CN-MCF), ha compiuto progressi significativi con un'accelerazione a seguito dell'ingresso della Cina nel progetto ITER. Con il successo nella costruzione e gestione del tokamak superconduttore EAST, la Cina sta svolgendo un ruolo chiave nell'ambito delle operazioni avanzate in stato stazionario per ITER. L'industria cinese ha compiuto progressi significativi nella fornitura dei componenti per ITER: oltre il 60% dei componenti forniti dalla Cina è stato completato. La comunità CN-

MCF ha elaborato una chiara roadmap per accelerare la realizzazione dell'energia da fusione in Cina. CFETR è il prossimo impianto per il programma CN-MCF che mira a colmare il divario tra l'esperimento di fusione ITER e il futuro reattore a fusione. L'operatività di CFETR avverrà in due fasi: il funzionamento in stato stazionario e l'autosufficienza del trizio saranno i due punti chiave della prima fase con una modesta potenza di fusione di circa 200 MW. La seconda fase mirerà alla validazione del progetto DEMO con una potenza di fusione superiore a 1 GW. Il progetto preliminare di CFE-

TR è stato completato. La ricerca e lo sviluppo su piccola scala sono iniziati 5 anni fa e hanno registrato buoni progressi. Il progetto ingegneristico di dettaglio, la simulazione integrata, la ricerca e lo sviluppo su larga scala continueranno a colmare le lacune ancora esistenti per la costruzione e il funzionamento di CFETR. Con un forte sostegno del governo e sforzi congiunti tra università, istituti di ricerca, industria e partner internazionali, il programma CN-MFC mira a stabilire una solida base tecnica per il successo di ITER e l'inizio della costruzione di CFETR nei prossimi anni.

¹ EAST è dotato di oltre 30 MW di potenza di riscaldamento a radiofrequenza e a fasci di atomi neutri, di più di 80 sistemi diagnostici avanzati, due criopompe interne, un divertore simile a quello di ITER con bersagli realizzati in monoblocchi di tungsteno che permetteranno di studiare plasmi stazionari fino a 400 s, in regimi di confinamento dell'energia migliorato e di ottenere flussi di potenza al divertore comparabili a quelli che si avranno su ITER (10-20 MW/m²)

BIBLIOGRAFIA

1. Y. Wan, Nucl. Fusion 40, 1057–1068 (2000)
2. X.R. Duan et al., 2010 Nucl. Fusion 50 095011
3. Xu M. et al., 2015 Nucl. Fusion 55 104022
4. B.N. Wan et al., 2005 Nucl. Fusion 45 S132
5. X. Gao, et al., Nucl. Fusion, 47 (2007), p. 1353
6. X.R. Duan et al., 2017 Nucl. Fusion 57 102013
7. W.W. Xiao et al., 2012 Nucl. Fusion 52 114027
8. J.S. Hu et al., 2015 Phys. Rev. Lett. 114, 055001
9. J. Li, H.Y. Guo et al., Nature Phys. 9, 817 (2013)
10. Yuanxi Wan J.Li, Y.Liu et al., Nuclear Fusion 57 (2017)102009