

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Fusione nucleare

Attività di fisica della fusione complementari a ITER

Scenario di riferimento

La fusione termonucleare controllata è oggi considerata una opzione molto concreta come fonte di energia sicura, compatibile con l'ambiente e praticamente inesauribile. La ricerca sulla fusione vede impegnati tutti i Paesi tecnologicamente più avanzati (Europa, Giappone, USA, Russia, Cina, Corea e India) che hanno riunito i loro sforzi in un progetto di grande prestigio, ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor), che rappresenta una tappa fondamentale per arrivare alla realizzazione del primo reattore dimostrativo a fusione (DEMO).

Per accelerare lo sviluppo dell'energia da fusione, l'Europa e il Giappone, in occasione delle negoziazioni per la scelta del sito di ITER, hanno ratificato un accordo di collaborazione per un programma denominato Broader Approach (BA) da affiancare a ITER. L'accordo, regolato da specifici Agreement of Collaboration con l'Agenzia Europea Fusion For Energy, vede impegnati Francia, Italia, Spagna, Germania e Belgio con forniture 'in kind' importanti e strategiche per il sistema industriale nazionale.

Le attività del BA che prevedono la partecipazione dell'ENEA riguardano la costruzione di una macchina Tokamak superconduttrice JT-60SA, la realizzazione di una facility IFMIF per lo studio del danneggiamento dei materiali sottoposti a un flusso di neutroni di energia da fusione e la creazione dell'International Fusion Energy Research Center (IFERC) che include un centro di supercalcolo e lo sviluppo di materiali avanzati come il SiC/SiC.

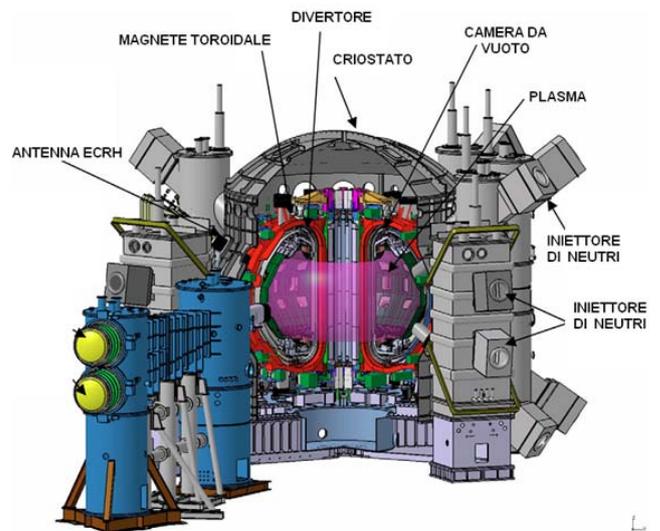
Viene anche avviata una attività di ricerca finalizzata alla realizzazione di un esperimento di fusione denominato FAST che ha lo scopo di preparare scenari operativi di ITER

permettendo di studiare un plasma che brucia senza ricorrere all'uso del trizio.

Obiettivi

Costruzione Tokamak JT-60SA

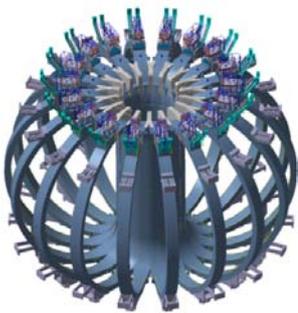
JT-60SA è un Tokamak superconduttore di raggio maggiore pari a circa 3 m, in grado di confinare plasma di deuterio con una corrente massima di 5,5 MA, con singolo o doppio nullo. Il Tokamak JT-60SA sarà installato a Naka nella Torus Hall che attualmente ospita il Tokamak JT-60U.



Macchina Tokamak Superconduttrice JT-60SA

L'ENEA è impegnata nella costruzione del magnete superconduttore di JT-60SA in collaborazione con il CEA, con la realizzazione di: 9 delle 18 bobine superconduttrici di NbTi; le casse di contenimento in acciaio austenitico per tutte le 18 bobine; parte delle alimentazioni elettriche del sistema magnetico, per un totale di 8 alimentatori ad alta tensione e corrente, 4 sistemi di interruzione della corrente continua (SNU - Switching Network

Unit) e 4 trasformatori. Il sistema magnetico di JT-60SA è costituito da tre sotto sistemi: i 18 magneti superconduttori (NbTi) di campo toroidale (TF), i 4 moduli che costituiscono il solenoide centrale (CS) in Nb₃Sn necessario per indurre la corrente nel plasma, i 6 magneti in NbTi che generano il campo poloidale necessario per stabilizzare il plasma (EF). In particolare, i 18 moduli di magneti toroidali TF saranno di forma a D avvolti con un cavo in NbTi, raffreddato da un flusso forzato di elio supercritico alla temperatura di 4,4 gradi Kelvin.



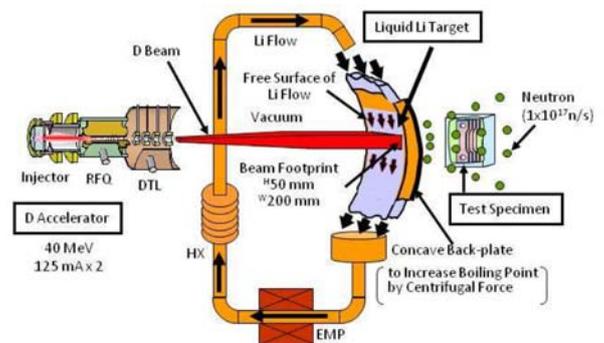
Sistema magnetico toroidale

Ciascun avvolgimento della bobina è formato da 6 doppi pancake collegati in serie da giunti elettrici interni per assicurare la continuità elettrica; Ogni pancake è formato da sei spire, con un isolamento di spira dello spessore di 1 mm. L'isolamento elettrico è realizzato con tele di vetro e resina epossidica impregnata sotto vuoto. L'avvolgimento della bobina è contenuto in una cassa in AISI che costituisce il principale componente strutturale del sistema magnetico ed è caratterizzato da precisioni molto accurate per il corretto accoppiamento con la bobina. La cassa delle bobine toroidali è una struttura saldata di piastre con spessore nell'intervallo 15-80 mm e sarà il supporto meccanico per tutto il sistema magnetico di JT-60SA.

IFMIF e IFERC

La fusione termonucleare richiede resistenza ad alte temperature (fino a 800 °C) e ad alti flussi di neutroni da 14 MeV con danneggiamenti quantificabili in 50 dpa. Per condurre ricerche appropriate in questo campo, nel Broader Approach è prevista la progettazione e realizzazione di una complessa facility di ricerca detta IFMIF (International Fusion Materials Irradiation Facility) costituita

da una sorgente di ioni di deuterio e due acceleratori lineari continui da 40 MeV per depositare due fasci da 125 mA di deutoni su un target di litio fuso in circolazione forzata ad alta velocità su cui gli ioni di deuterio, impattando, sviluppano, mediante opportune reazioni nucleari, neutroni di elevata energia, con uno spettro energetico tipico di un reattore a fusione (picco di 14 MeV). L'ENEA partecipa al programma provvedendo allo sviluppo del target per la produzione dei neutroni ad alta energia, alle relative attività di manutenzione remotizzata, allo studio dei fenomeni di corrosione ed erosione dei metalli in presenza di litio e alla validazione dei sistemi di purificazione per il litio.



Concept of neutron generation in IFMIF Lithium Target

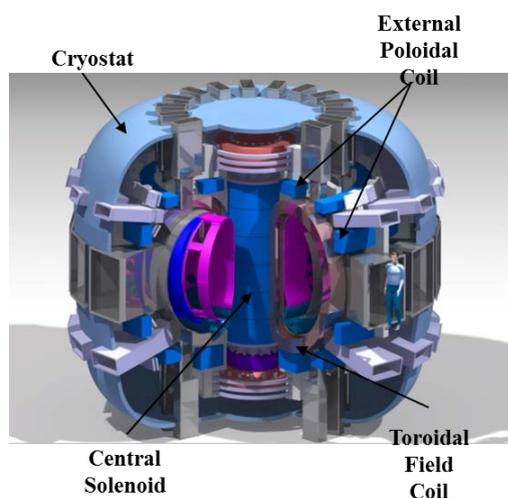
Lo studio di compositi di SiC/SiC è una delle attività di ricerca e sviluppo di DEMO condotte nell'ambito del progetto IFERC. L'ENEA ha il compito di studiare le proprietà meccaniche e chimico-fisiche di tali compositi e di sviluppare un'analisi di modello in grado di simulare e interpretare le prove meccaniche su campioni. Nel campo dei compositi ceramici, grazie anche alla collaborazione con la società partecipata FN Nuove Tecnologie e Servizi Avanzati, si hanno dotazioni impiantistiche di rilievo come il sistema di Chemical Vacuum Infiltration per la realizzazione di componenti di SiC/SiC



2D Textile Architecture (SiC/SiC)

FAST

Si intende realizzare un esperimento di fusione denominato FAST, tokamak compatto, in grado di realizzare scenari di elevate prestazioni con impulso lungo. FAST dovrebbe operare a partire dagli ultimi anni della costruzione di ITER. Lo scopo è quello di preparare gli scenari operativi di ITER simulando l'effetto delle particelle alfa mediante ioni accelerati da sistemi di riscaldamento ausiliario. L'uso di soluzioni tecnologiche innovative per i componenti ad alto flusso termico, sviluppate in ENEA, e le scariche di lunga durata consentono di provare componenti in condizioni rilevanti per il funzionamento di ITER e DEMO.



Macchina FAST

Risultati

Tokamak JT-60SA

Sono state avviate le azioni preparatorie alla costruzione delle 9 bobine di campo toroidali, tra cui l'acquisizione dei materiali costituenti la bobina e la qualifica dei processi speciali realizzativi con lo sviluppo di mock-up e di prototipi a piena scala. Con riferimento ai processi speciali, si è lavorato su: impregnazione di un tratto lineare di bobina e misura elettrica dell'isolamento; resistenza alla sollecitazione di taglio dell'isolante dopo impregnazione; giunzioni elettriche realizzate con superconduttore e provate a temperatura criogenica; boccaglio di ingresso di elio (la qualifica della saldatura richiede anche il controllo della temperatura dei fili del superconduttore); saldatura di giunzione fra i

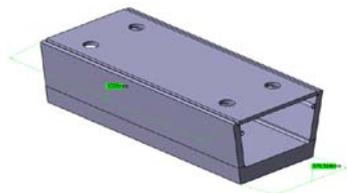
sottoinsiemi della cassa e del coperchio della cassa; doppio pancake prototipo realizzato con superconduttore. La qualifica del processo di impregnazione ha richiesto la realizzazione di un tratto lineare di bobina lungo un metro, con sezione a piena scala; lo stampo di impregnazione è stato sottoposto a prove di pressione e da vuoto e nella fase di impregnazione sono stati registrati i parametri di temperatura, pressione e tempo. I risultati delle prove elettriche (tensione di isolamento interspira e tensione di isolamento verso massa) sono stati ampiamente positivi rispetto alle prescrizioni delle specifiche. La saldatura dell'ingresso di elio supercritico a 4 K è stata qualificata alla presenza dell'Istituto Italiano di Saldatura. I laboratori dell'ENEA non hanno rilevato nessun danneggiamento sulle caratteristiche superconduttrici a seguito di sovratemperature prodotte nella fase di saldatura.



Stampo di impregnazione per la bobina toroidale per JT-60SA

Per la progettazione delle strutture di contenimento delle bobine toroidali sono stati costruiti dei mock-up a piena scala per la validazione della tecnologia di saldatura. La progettazione degli 'Switching Network Unit' ha richiesto frequenti interazioni con F4E e JAEA per la finalizzazione delle specifiche tecniche e l'integrazione dei sistemi. La progettazione degli alimentatori dei magneti poloidali è stata eseguita sulla base di scenari di corrente continuamente aggiornati dai fisici del JAEA. Un parametro critico per il progetto degli alimentatori è il dimensionamento termico di alcuni apparati. A questo scopo, in collaborazione con F4E è stato sviluppato un programma per il calcolo delle grandezze elettriche e termiche degli alimentatori (in

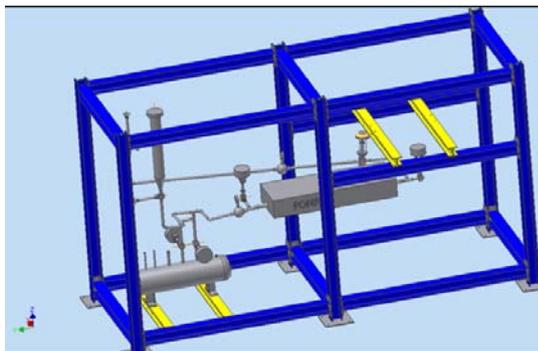
particolare, per la stima delle temperature di giunzione dei tiristori nei diversi casi e configurazioni).



Mock-up per qualificare la procedura di saldatura sulla cassa (per le bobine per JT-60SA)

IFMIF

L'ENEA ha sviluppato competenze e applicazioni innovative relative alla purificazione e alla corrosione/erosione del litio liquido. La qualifica sperimentale del sistema di purificazione del litio per IFMIF richiede l'aggiornamento dell'impianto a litio del Brasimone (LiFus). L'impianto verrà modificato con soluzioni meccaniche, costituite da una trappola fredda, una trappola calda e il misuratore di resistività, in grado di abbattere il più possibile il contenuto di elementi non metallici (C,O,H,N). L'ENEA ha ultimato il progetto di tutti gli elementi necessari per la purificazione e ha definito e acquisito le forniture prototipali necessarie alla modifica dell'impianto ed è stata avviata la loro installazione.



Nuovo impianto LiFus VI

Nell'ambito dello sviluppo della manipolazione remotizzata del target è stato progettato il sistema di connessione rapida per tubazioni. Il target a litio ha richiesto l'integrazione del Target Assembly con Backplate a baionetta con la sua struttura di contenimento progettata dal KIT (Europa) e con il circuito a litio progettato dal JAEA. In parallelo sono state condotte anche alcune attività di modellazione numerica in supporto sia al progetto sia all'analisi di sicurezza del circuito di litio di IFMIF.

IFERC

Il materiale composito ceramico SiC/SiC rappresenta un interessante materiale per un possibile utilizzo come prima parete nei reattori a fusione o come materiale funzionale da utilizzare nel ciclo del combustibile. Per lo sviluppo e la caratterizzazione di materiali compositi ceramici SiC/SiC in matrice e fibra di silicio è stata effettuata l'integrazione, in un codice commerciale agli elementi finiti, di programmi in grado di definire il comportamento meccanico dei materiali compositi partendo dalle caratteristiche meccaniche dei loro componenti. Per la caratterizzazione ad alta temperatura della corrosione ed erosione del composito SiC/SiC in litio liquido sono stati realizzati tutti i componenti principali del forno.

FAST

Sono stati effettuati i calcoli strutturali del sistema magnetico, la camera da vuoto e il criostato, l'analisi del sistema di raffreddamento della macchina e del sistema di remote handling.

Area di ricerca: Governo, gestione e sviluppo del sistema elettrico nazionale

Progetto 1.3.2: Fusione nucleare - Attività di fisica della fusione complementari a ITER

Referente: Aldo Pizzuto, aldo.pizzuto@enea.it

Novembre 2012

Documenti tecnici e aggiornamenti disponibili sul sito ENEA: www.enea.it