

Il contributo del Consorzio RFX alla ricerca sulla fusione

Il Consorzio RFX è un esempio positivo di sinergia tra i maggiori Enti di ricerca scientifica e tecnologica, l'Università e il mondo produttivo italiano. Le ricerche del gruppo sono state caratterizzate fin dall'inizio da una forte integrazione tra fisici e ingegneri, che ha portato dapprima ad operare la più importante filiera di esperimenti RFP a livello mondiale e più recentemente a realizzare ed operare quella Neutral Beam Test Facility che costituisce l'unico grande laboratorio di ITER al di fuori di Cadarache e i cui risultati saranno essenziali per determinare il successo scientifico di ITER.

DOI 10.12910/EAI2023-063



di Piergiorgio Sonato, Presidente Consorzio RFX

La ricerca sulla Fusione a Padova è nata in ambito universitario dopo la seconda Conferenza di Ginevra del 1958 sull'uso pacifico dell'atomo, che fu preceduta nel 1957 dalla Conferenza di Venezia sui "Fenomeni di ionizzazione nei gas" in cui fisici come Rosenbluth e Shafranov portarono contributi fondamentali, sviluppati poi dalle ricerche delle istituzioni dei Paesi di entrambe le parti di quella che all'epoca era la "cortina di ferro".

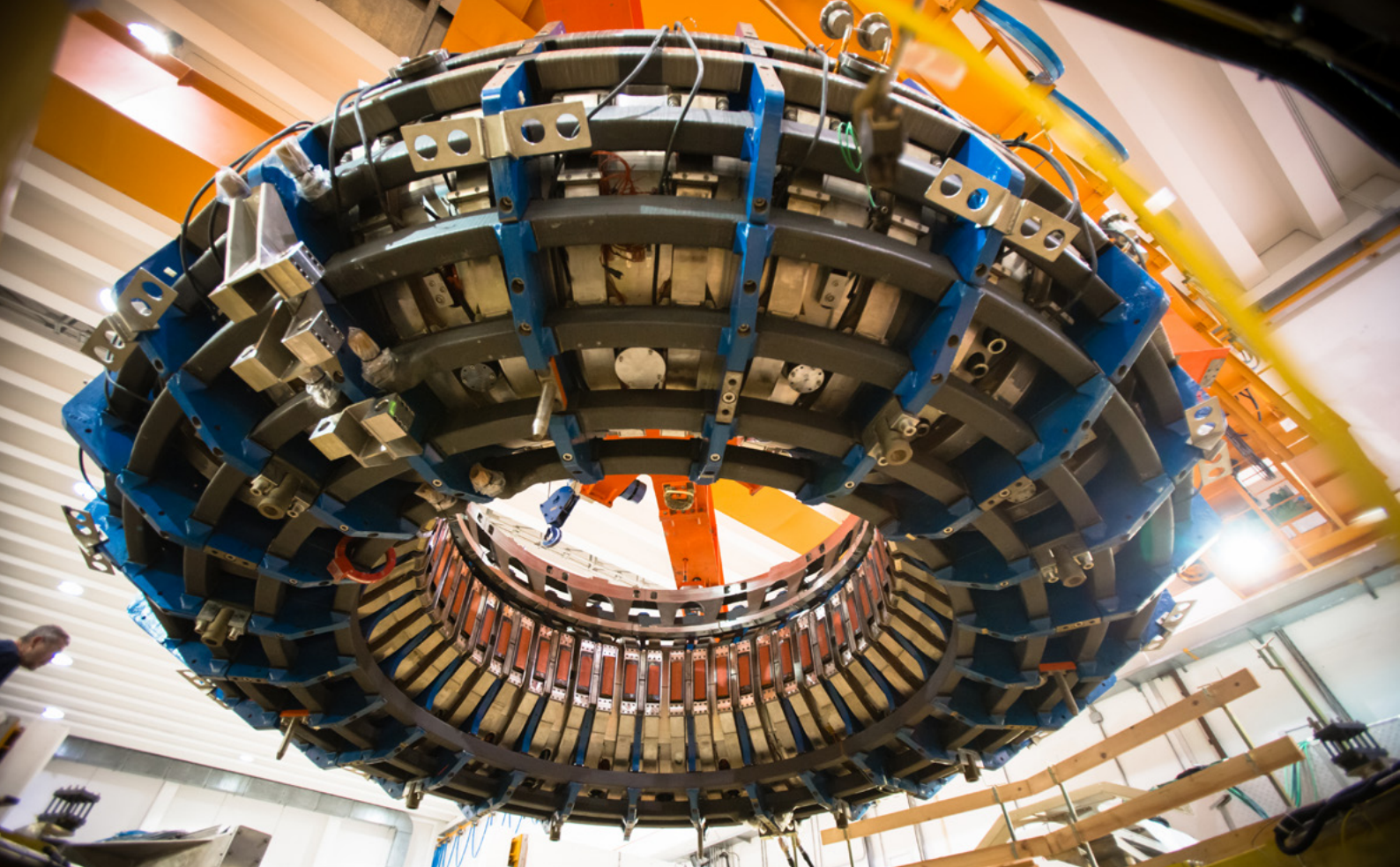
Stimolati da questi eventi, il Prof. Gaetano Malesani e il Prof. Giorgio Rostagni diedero vita alle prime ricerche su piccole macchine lineari, che poi si svilupparono con gli esperimenti toroidali Eta Beta 1 e 2 degli anni 70 e 80, ospitati nell'Istituto di Elettrotecnica ed Elettronica dell'Ateneo patavino; nello stesso periodo

venne coinvolto il CNR, per far crescere il gruppo di ricercatori e tecnici che costituirono il nucleo fondante dell'Istituto Gas Ionizzati del CNR. Negli stessi anni a Milano il CNR istituì l'Istituto di Fisica del Plasma.

Nei primi anni '80, il CNR e l'Università di Padova coinvolsero ENEA nel proporre al Governo italiano il finanziamento, con il contributo prioritario da parte dell'Unione Europea, di una macchina a confinamento magnetico toroidale, RFX, la più grande al mondo nel suo genere. La sigla è l'acronimo di Reversed Field eXperiment, che indica una configurazione di confinamento magnetico (Reversed Field Pinch-RFP) alternativa al più studiato Tokamak e che si caratterizza per il fatto che la quasi totalità del campo magnetico di confinamento è prodotto dalle correnti che circolano

nel plasma. In questa configurazione non sono necessari i grandi magneti, oggi superconduttori, che caratterizzano gli esperimenti Tokamak e Stellarator. La macchina è ospitata, per la dimensione delle sue infrastrutture, nell'Area di Ricerca del CNR di Padova.

Lo sviluppo delle attività ha poi portato nel 1996 alla creazione del Consorzio RFX, con lo scopo precipuo di coordinare la ricerca sulla fusione svolta a Padova e di costituire un modello di integrazione delle ricerche svolte dai maggiori enti di ricerca italiani, il mondo accademico e la realtà manifatturiera. **Il Consorzio RFX, inizialmente costituito da CNR, ENEA, Università di Padova e Acciaierie Venete SpA, vedrà poi l'ingresso di INFN nel primo decennio del nuovo millennio.**



L'evoluzione dell'esperimento RFX

Il Consorzio RFX, con il supporto prevalente del CNR, si è poi sviluppato arrivando oggi a vedere impegnate oltre 180 persone e una trentina di dottorandi dell'Università di Padova. L'Università di Padova costituisce il bacino di attrazione e di crescita delle giovani generazioni di ricercatori attraverso uno specifico corso di dottorato internazionale in Fusion Science and Engineering, esempio unico in Europa, che è oggi condiviso con l'Università di Napoli "Federico II".

L'esperimento RFX è poi evoluto all'inizio del millennio con la realizzazione della versione RFX-mod apportando sostanziali modifiche ai sistemi di controllo locale dei campi magnetici sulla superficie del plasma attraverso l'introduzione di 192 bobine a sella che rivestono completamente la superficie del toro. **RFX-mod ha ottenuto risultati**

significativi, raggiungendo i parametri nominali di 2 MA di corrente toroidale di plasma e 15 milioni di gradi di temperatura di plasma. La capacità di ricondurre, attraverso il controllo attivo dei modi, una struttura magnetica caotica ad una ordinata, quindi meglio confinante, ha fatto meritare a RFX-mod la copertina del numero di agosto 2009 della rivista Nature Physics.

RFX-mod dal 2016 è oggetto di un ulteriore intervento di modifica per poter accedere a nuovi spazi operativi. Un primo finanziamento nel piano POR-FESR 2014-20 della Regione Veneto è stato assegnato al Distretto della Meccanica dell'Alto Vicentino, avente il Consorzio RFX come soggetto di ricerca, per realizzare la nuova barriera di separazione atmosfera-alto vuoto e la modifica della struttura conduttrice di stabilizzazione delle fluttuazioni di campo magnetico al bordo del plasma.

Nel 2021 RFX è stato incluso nella

lista delle Infrastrutture di Ricerca ad Alta Priorità nel PNIR 2021-27.

Nel 2022 il CNR, attraverso la sua nuova struttura di ricerca sulla fusione, l'Istituto per la Scienza e la Tecnologia dei Plasmi (ISTP), che riunisce le attività dei due precedenti istituti già citati e di una parte dell'Istituto Nanotec di Bari, ha presentato il progetto NEFERTARI congiuntamente a Università di Napoli "Federico II" e Università di Padova. NEFERTARI da una parte consentirà di estendere gli obiettivi scientifici delle modifiche e dall'altra favorisce e intensifica la visione di RFX come una Infrastruttura di Ricerca che opera in rete coinvolgendo sia le tre sedi di ISTP sia che diversi dipartimenti delle Università di Padova e di Napoli.

Le attività del Consorzio RFX, sono sempre state integrate nei programmi europei, fino al 2013 nel quadro dell'European Fusion Development Agreement che in Italia ave-

vano ENEA come referente, e dal 2014 nel quadro di EUROfusion il cui coordinatore italiano continua ad essere ENEA. A livello internazionale le ricerche sulla configurazione Reversed Field Pinch sono coordinate sotto l'egida dell'IEA.

Gli esperimenti SPIDER e MITICA

A seguito della firma dell'accordo di collaborazione tra Cina, Corea del Sud, Giappone, India, Russia, Stati Uniti d'America e Unione Europea siglato a Parigi nel 2006 per la realizzazione di ITER a Cadarache (F), la ITER Organization decise di realizzare una infrastruttura di ricerca per lo sviluppo degli iniettori di particelle neutre accelerate a 1 MV in grado di depositare 17 MW di potenza nel plasma per 1 ora. Prestazioni che non sono mai state realizzate e che richiedono significativi progressi sia scientifici che tecnologici.

L'Italia propone di ospitare l'infrastruttura affidandola al Consorzio RFX ed offrendo la realizzazione degli edifici per ospitare due grandi esperimenti, SPIDER e MITICA. Il MIUR assegnò a CNR e INFN i fondi per realizzare quegli edifici, mentre tutte le apparecchiature scientifiche sono state finanziate dall'ITER Organization.

Il Consorzio RFX da allora ha assunto il ruolo di principale partner della ITER Organization e di Fusion for Energy (l'agenzia europea istituita nel 2007 per realizzare i componenti e sistemi europei per ITER) per lo sviluppo degli iniettori di particelle da installare in ITER attraverso una collaborazione internazionale che vede coinvolte istituzioni di molti Paesi europei, del Giappone e dell'India, oltre a EUROfusion.

SPIDER è un esperimento dedicato a sviluppare la sorgente di ioni negativi di Idrogeno/Deuterio che, una volta estratti, possono essere accelerati fino al valore di energia

richiesto. La sorgente opera in vuoto ed è dotata di una griglia di grandi dimensioni (900 mm x 1800 mm) dotata di 1280 fori da cui vengono estratti gli ioni negativi prodotti nella camera di plasma retrostante per un totale di circa 60 A, con una disuniformità massima del 10% nella densità di corrente. Il plasma viene generato in una camera per mezzo di otto generatori a radiofrequenza a 1 MHz della potenza complessiva di 800 kW.

SPIDER è entrato in funzione nel 2018 e, dopo tre anni mezzo di esperimenti i cui risultati sono in buon accordo con le aspettative, la sorgente è stata oggetto di una profonda revisione per permettere di raggiungere i parametri nominali richiesti.

MITICA è il prototipo dei due iniettori che verranno installati in ITER. In MITICA una sorgente di ioni negativi simile a quella di SPIDER sarà accoppiata ad un sistema di accelerazione elettrostatica a 5 stadi fino a 1 MV per un totale di 40 MW di potenza, che dovrà funzionare a regime per 1 ora. A valle del sistema di accelerazione il neutralizzatore e il Residual Ion Dump convertono gli ioni negativi in un fascio di particelle neutre di Idrogeno/Deuterio per una potenza di uscita di circa 20 MW. Completa l'iniettore un calorimetro su cui il fascio viene fermato e diagnosticato.

Il sistema di alimentazione multistadio a 1 MV in DC, unico al mondo, è stato realizzato in Giappone.

MITICA è in fase avanzata di realizzazione: nel 2025 verranno installati i componenti interni dell'iniettore per iniziare le campagne sperimentali dell'intero iniettore.

Il ruolo nell'esperimento DTT e nel Broader Approach

Il Consorzio RFX è coinvolto in DTT, essendone socio e rivestendo

ruoli significativi di progetto, realizzazione e preparazione del piano scientifico. Ha inoltre un ruolo importante nel Broader Approach, con la realizzazione di sistemi di alimentazione elettrica e di diagnostiche della macchina giapponese JT-60SA, attualmente il più grande Tokamak del mondo.

Infine, significativo è l'impegno nello sviluppo del progetto DEMO, il reattore prototipo che a seguito dei risultati ottenuti in ITER, in DTT e in altri esperimenti europei ed extra-europei, dimostrerà la produzione di energia elettrica dalle reazioni di fusione.

In conclusione, possiamo affermare che il Consorzio RFX costituisce per l'Italia un positivo esempio di sinergia tra i maggiori Enti di ricerca scientifica e tecnologica, l'Università e il mondo produttivo. Le ricerche del gruppo sono state caratterizzate fin dall'inizio da una forte integrazione tra Fisici e Ingegneri, che ha portato dapprima ad operare la più importante filiera di esperimenti RFP a livello mondiale e più recentemente a realizzare ed operare quella Neutral Beam Test Facility che costituisce l'unico grande laboratorio di ITER al di fuori di Cadarache e i cui risultati saranno essenziali per determinare se ITER potrà raggiungere le prestazioni fusionistiche attese. Il Consorzio RFX costituisce dunque una fertile istituzione di ricerca, profondamente integrata nel vivace ambito internazionale, che oggi vede la fusione al centro dell'attenzione, nella fondata speranza che l'umanità possa disporre, nel corso di questo secolo, di una fonte di energia pulita, sicura e perfettamente adeguata a complementare le altre forme di energia sostenibili dal punto di vista non solo ambientale, ma anche sociale ed economico.