

# I protagonisti della ricerca italiana sulla fusione termonucleare controllata

La ricerca italiana nel settore della Fusione Termonucleare Controllata (FTC) ha una lunga storia, caratterizzata da competenze forti e grandi entusiasmi, capaci di sostenere numerose e impegnative iniziative internazionali e di promuovere nuovi progetti di ampio respiro scientifico. I principali soggetti impegnati oggi nel settore della FTC sono, oltre ad ENEA, il CNR, i Consorzi RFX e CREATE, l'INFN e, con intensità diversificate, numerose e qualificate università. Nonostante le risorse limitate, la comunità scientifica italiana e l'industria più avanzata hanno saputo ideare strumenti innovativi e competitivi, riservando grande attenzione anche ai temi della sicurezza e della compatibilità ambientale

DOI 10.12910/EAI2019-009



di **Raffaele Martone**, Università degli Studi della Campania "L. Vanvitelli"

La ricerca italiana nel settore della fusione termonucleare controllata (FTC) ha una storia lunga e articolata. Come in altri paesi tecnologicamente avanzati, si avvia alla fine degli anni 50 e si sviluppa, fino ai nostri giorni, in una trama complessa, ben radicata nella cultura scientifica nazionale e, insieme, dotata di un ampio respiro internazionale. Limitate le risorse ma eccellenti i risultati e numerosi i riconoscimenti. La ricerca nella

FTC in Italia si caratterizza per un notevole numero di attori capaci di condividere la missione e i metodi, e di combinare capacità di cooperazione e di costruttiva competizione. **Partecipano enti nazionali di ricerca quali l'Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile (ENEA), il CNR, i consorzi RFX e CREATE, l'INFN** nonché numerose Università, spesso coordinate in consorzi; partecipano, per la parte

più specificamente votata al trasferimento tecnologico anche varie qualificate aziende di beni o di servizi. L'esigenza di operare in ambienti internazionali competitivi e popolati da attori di grandi dimensioni ha favorito in Italia la collaborazione tra soggetti diversi e la nascita di strutture di coordinamento della ricerca. In questo contesto si inquadra la localizzazione presso le Università di presidi di enti esterni (istituti, unità di ricerca ecc.) e l'istituzione di con-

sorzi tra università e soggetti pubblici o privati interessati alla ricerca. In questo articolo si vuole descrivere l'impegno della comunità scientifica nazionale nel campo della FTC prendendo spunto dai dati storici e dall'analisi dei vari soggetti partecipanti, cercando anche di fornire elementi di valutazione sullo 'stato di salute' della ricerca nel settore e sulle prospettive di sviluppo per il prossimo futuro. Ne emergerà un quadro composito e variegato, caratterizzato da competenze forti e da grandi entusiasmi, capaci di sostenere le numerose impegnative iniziative internazionali e di promuovere nuovi importanti progetti di ampio respiro scientifico.

### Un cenno alla storia

In questa sede l'attenzione è focalizzata specificamente sulla fusione termonucleare a confinamento magnetico; pertanto non si farà riferimento alla ricerca sui plasmi di interesse astrofisico, sulla fusione

inerziale e sulle numerose applicazioni industriali dei plasmi. Inoltre, per la limitatezza di spazio disponibile, possono essere richiamati i soli dati salienti; ulteriori informazioni possono essere cercate in letteratura (si veda ad esempio [1]). **Le ricerche sulla FTC iniziano alla fine degli anni 50 con studi nel campo della fisica fondamentale presso quelli che erano allora i "Laboratori Nazionali di Frascati" e del confinamento magnetico presso l'Università di Padova, a cura principalmente di docenti di Fisica e di Ingegneria Elettrica.**

Dopo un decennio di studi teorici e di esperimenti su piccola scala, negli anni 70 si costruiscono alcune macchine di taglia significativa a Padova (Eta-Beta I, 1973, ed Eta-Beta II, 1980, in configurazione Reversed Field Pinch) a Frascati (Frascati Torus, FT, 1977, in configurazione Tokamak) e a Milano (Thor, 1978, Figura 2). Gli esperimenti di Padova sono progettati e gestiti dall'Istituto Gas Ionizzati (IGI-CNR), struttura

di collegamento tra l'Università di Padova e il CNR, primo importante esempio di coordinamento tra università ed enti di ricerca. Anche il CNR manifesta la sua vocazione alla FTC con la costituzione del Laboratorio di Fisica del Plasma di Milano, evoluto successivamente nell'Istituto di Fisica del Plasma "P. Caldirola" (IFP).

Lo stesso decennio vede la nascita dell'interesse verso la fusione di nuovi soggetti universitari; tra tutti si ricorda l'Università di Napoli che, insieme ad altre Università meridionali, avvia studi teorici e modellazioni numeriche in stretta collaborazione con le altre realtà italiane come Frascati e Padova, e internazionali, tra cui il Joint European Torus (JET), in fase di progettazione in quegli anni. Negli anni successivi, le attività sperimentali si intensificano sia a Frascati, con il potenziamento di FT (FTU, 1989, Figura 3), sia a Padova, con la realizzazione del Reversed Field eXperiment (RFX, 1992) macchina che, in anni più recenti, è

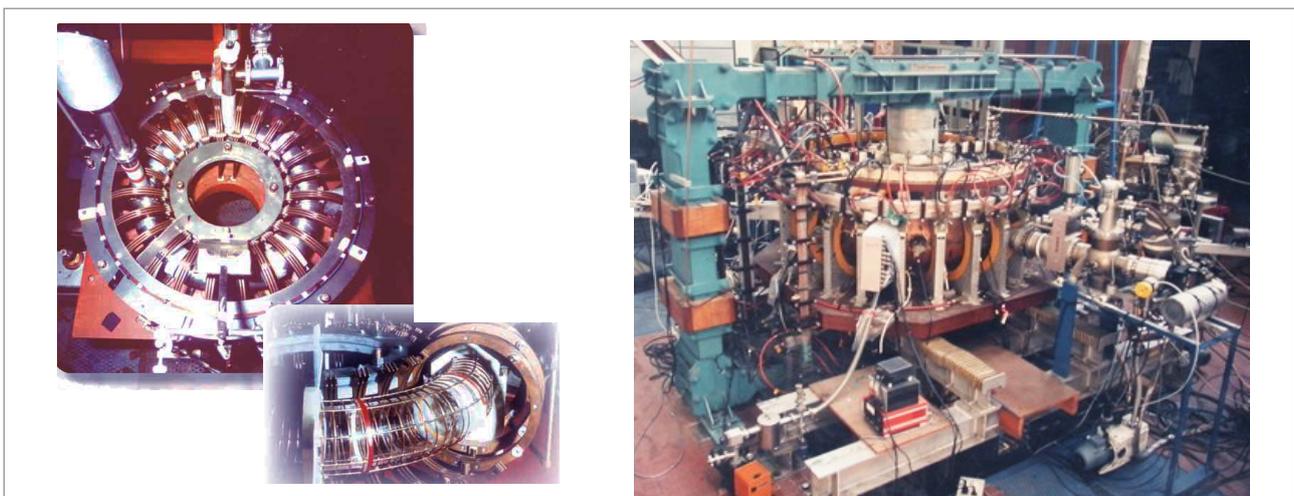


Fig. 1 Il tokamak turbolento di Frascati (TTF), piccolo tokamak costruito nel Centro ENEA di Frascati nei primi anni 70. Ha permesso di fare sperimentazioni sul plasma mentre era in corso la realizzazione del successivo e più grande Frascati Tokamak (FT), entrato in esercizio nel 1977 (cortesia di ENEA, <http://www.enea.it/it/seguici/publicazioni/pdf-volumi/2010/50anni-fusione.pdf> - pag. 24 - 25).

Fig. 2 Esperimento Thor presso IFP (cortesia ISTEP, <https://www.ifp.cnr.it/>)

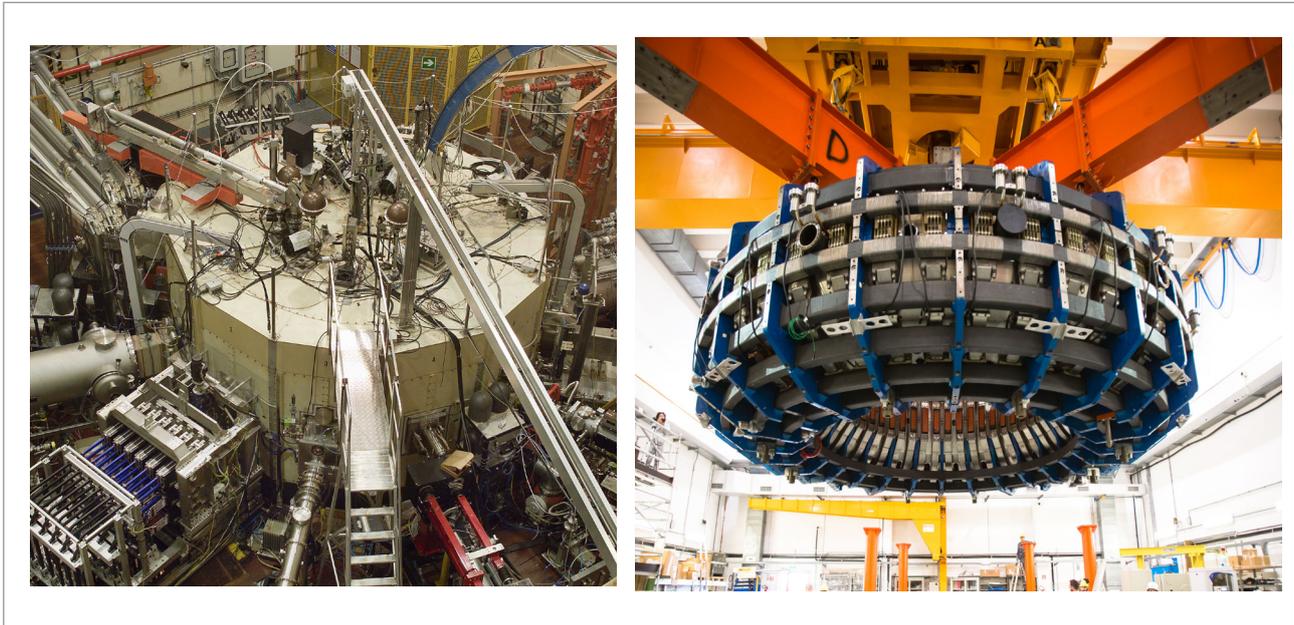


Fig. 3 Frascati Tokamak Upgrade, vista dall'alto. Operativo dal 1989 (cortesia ENEA, [www.fusione.enea.it/FTU/](http://www.fusione.enea.it/FTU/))

Fig. 4 Movimentazione della macchina RFX-mod, realizzata presso l'area di ricerca CNR di Padova. Operativa tra il 2004 e il 2016, sarà sostituita da una nuova versione, RFX-mod2, che entrerà in esercizio nel 2021 (cortesia del Consorzio RFX, [www.ig.cnr.it](http://www.ig.cnr.it))

evoluta in una versione rinnovata e potenziata (RFX-mod, 2004, operativa fino al 2016 - Figura 4). Entrambe le macchine sapranno raggiungere eccellenti risultati scientifici e raccogliere l'apprezzamento unanime della comunità internazionale.

**La fine degli anni 70, con la decisione comunitaria e l'avvio della costruzione del JET (1978), e, più ancora, gli anni 80, con la sua entrata in esercizio (1983), segnano lo spostamento dell'interesse da sperimentazioni di dimensione limitata, su scala tipicamente nazionale, a esperimenti di maggiori dimensioni che, per la mole dei costi, diventano necessariamente internazionali. La tendenza si rafforza con la nascita del progetto ITER (iniziativa promossa nel 1985, realizzazione approvata nel 2006) sotto l'egida di Cina, Corea del Sud, Russia, Giappone, India, Stati Uniti d'America e, prima per**

### **impegno, Unione Europea.**

Sono gli anni della crescita dell'interesse universitario nel settore, che spesso si concretizza in forme di cooperazione tra università o tra università e laboratori nazionali e internazionali del settore. Nasce in questo periodo il **Consorzio di Ricerca per l'Energia, l'Automazione e le Tecnologie dell'Elettromagnetismo (CREATE, 1992)** tra alcune Università centro-meridionali (Seconda Università di Napoli, Università di Cassino e del Basso Lazio, Napoli Federico II e "Mediterranea" di Reggio Calabria<sup>1</sup>) e l'Ansaldo Energia, con una forte vocazione per la ingegneria della fusione. **E, sempre in questi anni, viene fondato il Consorzio RFX (1996)** tra CNR, ENEA, Università di Padova, Acciaierie Venete SpA come socio industriale e, nel 2006, INFN. Nel frattempo cresce l'interesse per la progettazione e la gestione di grandi esperimenti: ne

sono la dimostrazione l'impegno del Consorzio RFX per la costruzione di un prototipo in scala reale (MITICA) dei Neutral Beam Injector (NBI) di ITER e la fornitura di sistemi di protezione dei magneti del Tokamak giapponese JT60SA, così come il supporto del Consorzio CREATE ai grandi progetti internazionali (JET, EAST, ITER ecc.) e la focalizzazione verso le grandi macchine del CNR, il maggior contributore del programma nazionale fusione dopo l'ENEA<sup>2</sup>. Nello stesso contesto si colloca la recente decisione di costruire il Diverter Tokamak Test facility (DTT) che, pur se a fronte di un impegno fondamentalmente italiano, ha un chiaro e profondo respiro internazionale.

### **I protagonisti**

Ad oggi principali protagonisti nel settore della FTC sono oltre ad ENEA, **il Consorzio RFX, il CNR**

(attraverso l'ISTP e lo stesso Consorzio RFX), il CREATE, l'INFN (anche attraverso il Consorzio RFX) e, con intensità diversificate, numerose e qualificate università. Il Consorzio RFX ha circa 150 dipendenti, di cui circa 80 ricercatori. La sua missione, principalmente focalizzata sulla FTC, include la realizzazione dell'ITER Neutral Beam Test Facility (NBTF), la gestione tecnico-scientifica di RFX-mod, la partecipazione a vari progetti internazionali e la formazione di giovani ricercatori. Il CREATE è un consorzio senza fini di lucro, con oltre 60 collaboratori che forniscono un contributo equivalente annuo di circa 40 ppy<sup>3</sup> e coprono una ampia gamma di esperienze e di competenze. Il consorzio è impegnato stabilmente su due programmi pluriennali di ricerca scientifica sulla FTC e sulla robotica. Dal 1996 al 2013 il CREATE ha operato con impegno crescente nell'ambito della Associazione EURATOM-ENEA, partecipando, dal 2014, tramite la sua collaborazione con ENEA alle attività di EURO-

fusion. Da anni, inoltre, collabora attivamente con F4E e con ITER insieme ad altri laboratori italiani e stranieri, in alcuni casi, svolgendo anche il ruolo di coordinatore di progetto. Fra le sue missioni primarie vi è la formazione specialistica nel settore della FTC.

L'Istituto ISTP del CNR, con direzione e amministrazione a Milano, comprende circa 120 dipendenti, di cui circa 80 ricercatori e si articola in tre sezioni. Presso la sede milanese si continuano a coltivare i tradizionali interessi scientifici dell'IFP; il personale di Padova è in gran parte comandato al Consorzio RFX, con il quale condivide l'impegno della gestione del RFX e della progettazione e realizzazione della NBTF; infine a Bari proseguono le storiche attività del Centro per lo Studio della Chimica dei Plasmi, attivo negli anni 70, focalizzato sullo sviluppo di sorgenti di ioni negativi. Attraverso l'Istituto di Fisica dei Plasmi IFP, anche il CNR partecipa tramite la sua collaborazione con ENEA, alle attività EUROfusion. L'INFN è l'Ente

nazionale di ricerca dedicato allo studio della materia e delle sue leggi fondamentali; esso è attivo nella ricerca nella FTC attraverso la partecipazione alle attività del Consorzio RFX ed altre iniziative, principalmente finalizzate alla diagnostica dei materiali sottoposti ad intensi flussi neutronici.

**Oltre alle Università che animano i Consorzi RFX e CREATE, molti altri Atenei coltivano interesse per la FTC e svolgono qualificate attività di ricerca scientifica e di formazione di respiro internazionale in settori differenti: dalla meccanica ai controlli, dalla modellistica del plasma alla progettazione idraulica, dal calcolo delle sollecitazioni elettromeccaniche alla diagnostica e all'interazione plasmamateriali di prima parete, solo per citarne alcuni. Pur nella consapevolezza che l'elenco potrebbe essere esteso ad altre realtà accademiche anche importanti, le più attive nel settore della formazione sono le Università di Cagliari, Catania, Milano Bicocca, Palermo, Pisa, Roma III,**

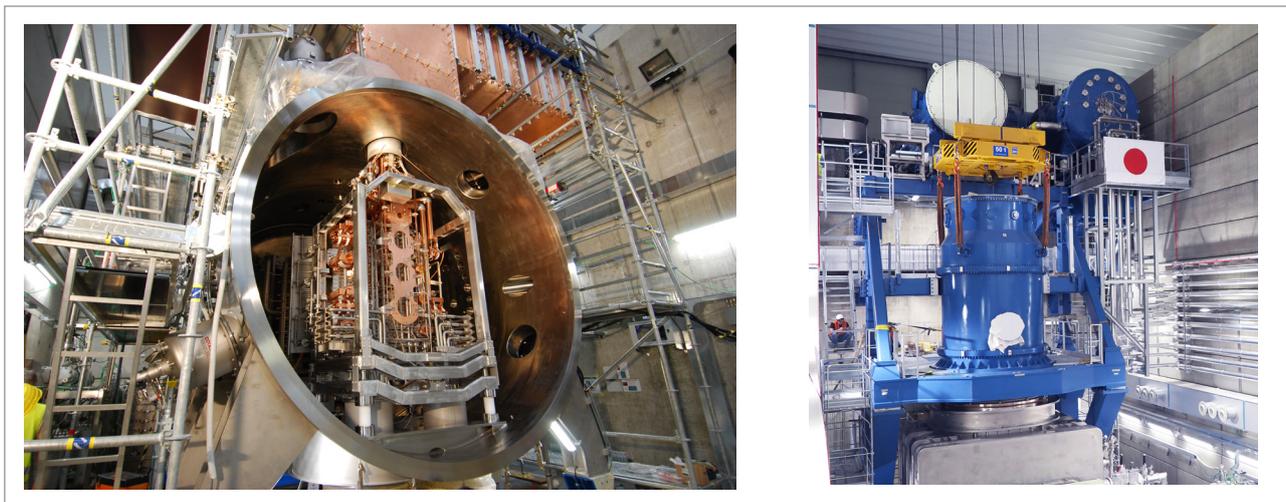


Fig.5 SPIDER, la sorgente di ioni negativi più potente al mondo (cortesia Consorzio RFX)

Fig.6 MITICA, il prototipo dell'iniettore di particelle neutre a 1 MV. Visibili l'High Voltage Bushing e la prima parte della camera da vuoto

### **Roma “Sapienza”, Roma Tor Vergata, Tuscia di Viterbo e dei Politecnici di Milano e di Torino.**

Ultimo, ma non per importanza, va citato il mondo dell'industria italiana operante nel settore della FTC. La sua competenza, la sua capacità di competere in tutti i più qualificati mercati del mondo, la sua capacità di innovare e di trasferire competenze tecnologiche, la sua stessa capacità scientifica sono riconosciuti dappertutto nel mondo. Peraltro, la quota delle gare di forniture europee per ITER nelle quali le aziende italiane sono risultate vincitrici ne è conferma indiscutibile e, insieme, occasione di orgoglio.

### **I programmi scientifici**

**L'attività scientifica italiana si caratterizza per un ampio spettro di interessi<sup>4</sup> e alcuni elementi di carattere generale. Un primo elemento è l'attenzione agli indirizzi generali della politica scientifica europea, a partire dalla “European Research Roadmap to the Realization of Fusion Energy” [2], pubblicata nel 2013 da EFDA e aggiornata nel 2018 da EUROfusion. Il secondo è la buona capacità di coordinamento e cooperazione non solo all'interno degli Enti e dei Consorzi, ma anche tra i vari soggetti. Il terzo è l'attenzione ai grandi esperimenti (quali DIII-D, JET, EAST, AUG, TCV ecc.) e progetti internazionali (quali ITER, JT60SA e DEMO, futuro reattore commerciale dimostrativo) ai quali si dedica grande impegno, spesso ben coordinato tra più soggetti.**

L'ampia e diversificata attività del **Consorzio RFX** si divide tra impegno sperimentale, impegno progettuale-realizzativo, e, non ultimo,

impegno teorico-numerico nella modellistica dei fenomeni della FTC. Oggi, le attività sperimentali si concentrano su SPIDER (la più potente sorgente di ioni negativi al mondo, realizzata in supporto al progetto ITER NBI - Figura 5), su RFX-mod (attualmente in fase di potenziamento verso la versione RFX-mod2), sui laboratori interni di supporto (alta tensione, alimentazioni per sistemi a radiofrequenza ecc.) oltre che nella partecipazione alle campagne sperimentali di JET e di altri tokamak e stellarator europei. Rientrano tra le attività di progettazione e di realizzazione il completamento di MITICA (Figura 6), di RFX-mod2 e di alcuni sistemi di controllo per JT60SA; nella attività di progettazione rientra anche la collaborazione al disegno concettuale di DEMO. Impegnativa è anche l'attività teorica e numerica; tra i molti aspetti trattati si ricordano la modellistica delle sorgenti e dei fasci di ioni e i modelli dei plasmi nelle varie configurazioni RFP, tokamak e stellarator. In stretto collegamento con la sua attività scientifica, il Consorzio si dedica regolarmente alla formazione delle giovani leve della fusione; di particolare rilievo è l'impulso dato al Joint European Doctorate in Fusion Science and Engineering, istituito nel 2008 nel quadro di prestigiose cooperazioni nazionali e internazionali. L'impegno dell'istituto ISTP si concretizza in molte e diversificate attività, svolte in gran parte in cooperazione con gli altri soggetti interessati alla FTC<sup>5</sup>. Significativo anche l'impegno nel settore della formazione di giovani ricercatori, anche in cooperazione con le università.

Il **CREATE** è particolarmente attivo nello sviluppo nella modellazione e progettazione dei principali componenti dei tokamak sotto il profilo

elettromagnetico e meccanico. Di rilievo sono ad esempio lo studio delle configurazioni di plasma e la ottimizzazione delle correnti; la modellistica combinata plasma-strutture conduttrici; l'analisi degli equilibri di plasma e il loro controllo; l'analisi delle correnti indotte nelle strutture passive e le conseguenti sollecitazioni elettromeccaniche; l'analisi e il progetto di strutture meccaniche, specialmente quelle prossime al plasma (prima parete, camera da vuoto e divertore); l'ottimizzazione del breakdown; la modellistica dei fenomeni di disruption e la relativa prevenzione. Nel quadro di specifiche collaborazioni, i suoi modelli (di plasma, di strutture passive, di controllo) sono applicati sia alle principali macchine attualmente operative per le quali si seguono le campagne sperimentali (quali JET, TCV, EAST) e sia a quelle in fase di progettazione (DTT e ITER) o di studio preliminare (DEMO). Ispirata dalla sua composizione in gran parte accademica, il **CREATE** dedica molte energie anche agli studi di base di interesse fusionistico, alla diffusione dei risultati della ricerca (organizzando o sostenendo convegni) e al sostegno della formazione (sostenendo Scuole per allievi di dottorato di ricerca e finanziando borse e assegni di ricerca post-doc).

L'impegno principale dell'**INFN** nel settore della FTC si concretizza sia nel progetto NBTF del Consorzio RFX (modellistica della sorgente e dell'acceleratore, progettazione delle griglie di accelerazione), sia nel contributo al progetto International Fusion Materials Irradiation Facility - Engineering Validation and Engineering Design Activities (IFMIF-EVEDA) per analisi sperimentale di materiali per la fusione. Quanto alle **Università non appartenenti ai cita-**

ti Consorzi, svolgono attività molto diversificate in relazione alle loro specifiche competenze spaziando da applicazioni più teoriche a quelle sperimentali, da impegni di carattere modellistico a quelli numerici<sup>6</sup>.

### **I progetti per il futuro e la sfida del DTT**

Tra le principali attività della ricerca in corso, va segnalato il progetto del Divertor Tokamak Test facility (DTT) ; si tratta di uno tra i principali programmi scientifici europei nel settore della FTC che si propone di affrontare il tema cruciale del Plasma Exhaust, la seconda per importanza delle otto voci delle missioni strategiche individuate dalla European Fusion Roadmap [2]. Nato alcuni anni fa da un'iniziativa ENEA supportata da ricercatori del CREATE e di altri enti di ricerca, il DTT [3] è diventato un impegno prioritario anche di RFX, di ISTP e dell'intera comunità scientifica nazionale; con la recente pubblicazione dell'Interim Design Report [4], il DTT Team ha confermato le sue capacità progettuali e ha dimostrato la capacità di integrare le sue competenze, finalizzandole per progetto comune di vasta portata.

**Molti degli attuali interessi scientifici della comunità italiana della FTC hanno un ampio respiro. Si tratta di programmi spesso pluriennali che comportano aggiorna-**

**menti e approfondimenti continui e che sono chiamati a confrontarsi con le principali macchine operative o in costruzione nel mondo.** I programmi scientifici del passato e del presente costituiscono quindi la base portante della progettazione per il futuro. In particolare, il Consorzio RFX, oltre a proseguire le attività in essere precedentemente illustrate, programma anche di avviare le attività di sperimentazione su RFX-mod2 (dal 2021) e MITICA (dal 2022) e di partecipare alle operazioni di JT60SA (dal 2010). Da parte sua, CREATE programma il proprio impegno su tre principali direttrici: le attività in Horizon Europe nel quadro dei programmi EUROfusion (principalmente l'attività DEMO), il supporto ad ITER e la prosecuzione delle attività progettuali di DTT. Anche CNR e INFN continueranno a coltivare i programmi in essere, a partire dal supporto a ITER e DEMO. **Fra i principali impegni per la comunità italiana della fusione vi è certamente annoverato il progetto DTT. Il notevole impegno finanziario (500 milioni di euro, in gran parte nazionali) e la grande mole di risorse umane necessarie (circa 1000 ppy nei prossimi sette anni di costruzione e circa 3000 per i successivi 25 anni di operazione) ne fanno un elemento primario della programmazione tecnico-scientifica nazionale**

**e un tassello essenziale di quella europea. Ne fanno anche una sfida per l'intera comunità italiana della FTC, chiamata a svolgere un ruolo di guida internazionale su un tema cruciale della ricerca per la realizzazione del futuro reattore commerciale.**

### **Conclusioni**

**La competizione internazionale sul tema energetico di lungo periodo si giocherà principalmente in termini di competenze e di tecnologia. Nonostante le limitate risorse disponibili, la comunità scientifica italiana e l'industria più avanzata dimostrano giorno per giorno di possedere gli strumenti tecnici e organizzativi per fornire un contributo determinante alla utilizzazione commerciale della FTC, con la massima attenzione ai temi primari della sicurezza e della compatibilità ambientale.**

### **Ringraziamenti**

Si ringraziano i molti colleghi degli enti citati nel testo, la frequentazione dei quali è stata la fonte primaria dei dati e dei pareri riportati. In particolare, per i dati forniti e le preziose discussioni si ringraziano Vincenzo Coccoresse, Presidente del CREATE, Francesco Gnesotto, Presidente del Consorzio RFX, e Maurizio Lontano, Direttore dell'ISTP.

- <sup>1</sup> Successivamente entrano nel Consorzio anche le Università della Basilicata e di Napoli “Parthenope”, mentre la Seconda Università di Napoli modifica la sua denominazione in Università della Campania “L. Vanvitelli”
- <sup>2</sup> Nella progettazione e ottimizzazione dei lanciatori di potenza a radiofrequenza per il riscaldamento del plasma ha avuto un ruolo di particolare rilievo l’Istituto per la fisica dei IFP che ha partecipato alla progettazione di diverse diagnostiche per ITER. Nel quadro di una recente riorganizzazione del CNR, è stato costituito l’Istituto per la Scienza e la Tecnologia dei Plasmi (ISTP, 2019) nel quale sono confluiti l’IFP di Milano, l’IGI di Padova e il gruppo P.LAS.M.I. di NANOTEC, operativo a Bari
- <sup>3</sup> La voce “PPY”, acronimo di “professional persons per year” è una unità di misura diffusa nel mondo scientifico per quantificare l’impegno professionale. Corrisponde ad una attività professionale svolta per un anno da una persona
- <sup>4</sup> Per motivi di spazio, i programmi scientifici dei vari attori saranno descritti sinteticamente, rinviando alla letteratura specifica per ogni approfondimento
- <sup>5</sup> In questa sede ci si limita a ricordare l’impegno nella modellistica teorica e numerica dei plasmi a confinamento magnetico; nella progettazione e realizzazione di diagnostiche di neutroni e raggi gamma e di emissione di radiazione millimetrica dai plasmi; nella teoria e nella ottimizzazione di impianti di riscaldamento dei plasmi con onde millimetriche di potenza (Electron Cyclotron Resonant Heating, ECRH); nel supporto alla realizzazione di esperimenti in costruzione (ad esempio NBI e lanciatori di potenza per ITER) o in fase di progettazione (sistemi di riscaldamento addizionale e diagnostiche per DTT); nella partecipazione alla gestione e alla interpretazione dei dati di campagne sperimentali nelle principali macchine attualmente operative (JET, AUG, TCV, WEST, FTU); nel contributo agli studi sul DEMO
- <sup>6</sup> Non essendo possibile fornire in questa sede una descrizione esaustiva e dettagliata di tutte le attività, si rinvia alla letteratura tecnico-scientifica prodotta dai gruppi di ricerca che operano nei vari atenei. Fra i temi di interesse: caratterizzazione, diagnostica e sviluppo di materiali per applicazioni fusionistiche; modelli dei superconduttori per la realizzazione di magneti; sviluppo e progettazione di componenti e sistemi diagnostici di varia natura (per raggi gamma e neutronici, campi elettrici e magnetici ecc.); interazione plasma-parete, con divertori tradizionali o innovativi; sistemi di monitoraggio e controllo del plasma; modellistica dei precursori delle instabilità e sistemi di prevenzione di disruption; trattamento e interpretazione di dati nucleari; remote handling; valutazione di rischio e analisi di sicurezza; modellistica fluidodinamica e progettazione termoidraulica per applicazione ai sistemi di raffreddamento; analisi di carichi neutronici e progettazione di schermi

## BIBLIOGRAFIA

1. P. Batistoni, Ed. “1960-2010, 50 anni di ricerca sulla fusione in Italia”, ENEA, ISBN: 978-88-8286-225-1  
<http://www.fusione.enea.it/EVENTS/eventfiles/50esimo/50anni-fusione.pdf>
2. “European Research Roadmap to the Realization of Fusion Energy”, November 2018  
[https://www.eurofusion.org/fileadmin/user\\_upload/EUROfusion/Documents/2018\\_Research\\_roadmap\\_long\\_version\\_01.pdf](https://www.eurofusion.org/fileadmin/user_upload/EUROfusion/Documents/2018_Research_roadmap_long_version_01.pdf)
3. R. Albanese, F. Crisanti, P. Martin, R. Martone, A. Pizzuto Eds., “DTT Divertor Tokamak Test facility”, Special Section of Fusion Engineering and Design, 2017, 253-294 and e1-e25
4. R. Martone, R. Albanese, F. Crisanti, P. Martin, A. Pizzuto Eds., “DTT Divertor Tokamak Test facility. Interim Design Report”, ENEA ISBN: 978-88-8286-378-4 - [https://www.dtt-project.enea.it/downloads/DTT\\_IDR\\_2019\\_WEB.pdf](https://www.dtt-project.enea.it/downloads/DTT_IDR_2019_WEB.pdf)