

# EUROfusion, un paradigma unico di integrazione europea per realizzare il sogno della fusione

Con 30 organizzazioni di ricerca e università di 26 Paesi europei più Svizzera, Ucraina e oltre 100 entità connesse, il Consorzio *EUROfusion* è uno dei principali protagonisti della ricerca sulla fusione e rappresenta un paradigma unico di integrazione europea. La sua attività si sviluppa attraverso una roadmap dinamica, costantemente aggiornata e molto ambiziosa che integra scienza, ingegneria e tecnologia per arrivare alla produzione commerciale di energia elettrica, riuscendo anche ad attirare interesse, capacità e nuovi talenti dal mondo accademico e industriale

DOI 10.12910/EAI2019-006



di **Ambrogio Fasoli**, *Presidente di EUROfusion, Professore Ordinario di Fisica presso l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), dello Swiss Plasma Center, EPFL, Losanna*

Individuare fonti di energia a basso impatto ambientale, sicure, ben distribuite geograficamente e compatibili con uno sviluppo sostenibile rappresenta una delle sfide più importanti che l'umanità si trova ad affrontare in questo secolo. La fusione può contribuire in modo sostanziale alla soluzione di questa sfida. Un tale potenziale globale giustifica un'intensificazione delle attività di ricerca e sviluppo necessarie per risolvere le questioni multidisciplinari di fisica e tecno-

logia che ancora permangono sulla strada verso un reattore a fusione. L'Unione Europea è impegnata nel progetto ITER del quale è il principale contribuente con il 45% delle spese totali e con la responsabilità di sistemi chiave come la camera da vuoto, un set di bobine magnetiche e le infrastrutture di ingegneria civile. Questo elevato livello di partecipazione dimostra la volontà di assumere la leadership mondiale nella ricerca e sviluppo nel campo della fusione, per arrivare a produrre

energia elettrica nella seconda metà del ventunesimo secolo. Per raggiungere questo obiettivo, l'UE si è dotata di un programma integrato di scienza, ingegneria e tecnologia che oggi appare come forse il più coerente a livello mondiale, ambizioso e pragmatico al tempo stesso.

## La Roadmap della fusione

I laboratori europei hanno una lunga storia di collaborazione nella ricerca congiunta sulla fusione, iniziata ne-



Particolare dell' ASDEX Upgrade, divertor tokamak operativo dal 1991 presso il Max-Planck-Institut für Plasmaphysik a Garching, in Germania. È una delle macchine di media dimensione utilizzate per preparare la base di fisica per i futuri reattori ITER e DEMO

gli anni '70 con la costruzione del *Joint European Torus (JET)*, ancora oggi il più grande tokamak al mondo e l'unico a poter operare con la miscela di deuterio e trizio che verrà usata nei futuri reattori a fusione<sup>1</sup>. La collaborazione in campo scientifico ha riguardato non soltanto la gestione di JET e l'elaborazione dei risultati, ma tutto il resto del programma di ricerca sulla fusione per la parte della fisica e della tecnologia. Un passaggio strategico per il coordinamento fra questi progetti è stata la fondazione, nel 1999, dell'*European Fusion Development Agreement* o EFDA, un accordo tra la Commissione Europea e gli istituti europei impegnati nella ricerca sulla fusione per la conduzione coordinata e congiunta

delle attività. In questo contesto, uno step di rilievo è stata l'elaborazione, nel 2012, di un documento-guida dei ricercatori europei per identificare le priorità nello sviluppo di un reattore per la produzione commerciale di elettricità da fusione e focalizzare le attività di ricerca.

Il documento dal titolo *Fusion Electricity – A roadmap to the realisation of fusion energy* [1] (che in seguito chiameremo semplicemente *Roadmap*) è stato concepito per avere una natura dinamica, ovvero per poter essere adattato allo stato delle conoscenze, all'avanzamento dei principali progetti ed eventualmente alle variazioni delle condizioni politiche globali nel corso degli anni. La *Roadmap* è stata aggiornata nel

2019 [2] confermando quattro elementi cardine: ITER, la sorgente di neutroni per lo sviluppo e la qualifica dei materiali per il reattore, il reattore dimostrativo DEMO, che genererà centinaia di milioni di watt di energia elettrica e produrrà il trizio necessario dimostrando che la fusione può essere sviluppata a livello commerciale e, infine un forte programma di ricerca e innovazione per supportare queste attività. Intorno a questi elementi cardine, si articolano le otto missioni per l'attuazione della *Roadmap* che, in sintesi, mirano a:

- (1) il successo degli esperimenti su ITER e la preparazione delle operazioni in DEMO,
- (2) lo sviluppo e dimostrazione di componenti interni al reattore in

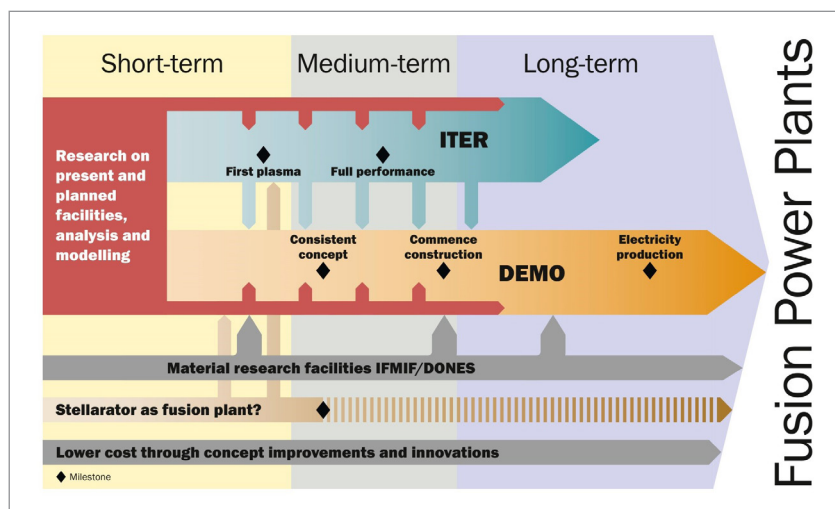


Fig. 1 La Roadmap della fusione

grado di smaltire gli elevatissimi carichi termici previsti, (3) lo sviluppo e la qualifica di materiali resistenti al flusso di neutroni, (4) lo sviluppo di componenti in grado di garantire l'autosufficienza per l'approvvigionamento del trizio, (5) il progetto intrinsecamente sicuro e (6) integrato di DEMO, e (7) lo sviluppo nuove tecnologie per ridurre l'investimento iniziale per DEMO e dimostrare la fattibilità economica della fusione. In parallelo, (8) si continueranno a studiare configurazioni di reattori alternative ai tokamak (stellarator) per portarle ad un livello di maturità che ne permetta una valutazione come soluzione a lungo termine per il reattore.

**Una delle principali sfide della Roadmap è di trovare un equilibrio fra il bisogno di 'congelare' la progettazione di DEMO in tempi sufficientemente brevi per poter sviluppare la macchina e l'infrastruttura necessaria per la metà del secolo, e l'esigenza di incorporare nel progetto i progressi che la comunità scientifica continua a ottenere nella fisica dei plasmi e dei materiali, nelle tecnologie e**

**nella loro integrazione.** È quindi necessario mantenere aperte il più a lungo possibile diverse opzioni e soluzioni tecniche e, al tempo stesso, iniziare la progettazione di DEMO in collaborazione con l'industria e utilizzando gli strumenti più moderni per identificare e definire i problemi ancora da risolvere. Tali problematiche dovranno essere studiate, in parallelo, sia in Europa sia tramite collaborazioni internazionali, esplorando configurazioni di reattori più semplici e meno costosi. Gli sforzi per affrontare le problematiche ancora irrisolte coinvolgono numerose discipline scientifiche e tecnologiche e consentiranno di sviluppare applicazioni innovative anche in altri settori, sia nel pubblico che nel privato.

**Inoltre, il successo della fusione in Europa e il conseguimento degli obiettivi della Roadmap dipenderanno dai finanziamenti disponibili sia a livello comunitario sia nei singoli Paesi europei ed associati, ma anche dalla capacità della comunità scientifica di attirare interesse, capacità e nuovi talenti dal mondo accademico ed industriale.**

## Il Consorzio *EUROFusion*, un paradigma unico di integrazione europea

Un ulteriore salto di qualità nell'organizzazione e nel coordinamento del programma europeo di sviluppo della fusione è stato fatto alla fine nel 2014, quando 29 istituti di ricerca di 26 Paesi membri dell'Unione Europea più la Svizzera hanno dato vita a *EUROFusion*, il Consorzio europeo per lo sviluppo dell'energia da fusione. Il Consorzio include attualmente 30 organizzazioni di ricerca e università di 26 Paesi europei, più Svizzera e Ucraina e oltre 100 entità connesse (linked third parties, in genere università, laboratori, e industrie) e, di fatto, rappresenta un paradigma unico di integrazione europea (Figura 2).

Nell'ottavo programma quadro europeo di ricerca e innovazione noto come *Horizon 2020*, *EUROFusion*, sotto l'egida di EURATOM, ha assunto la responsabilità di coordinare e co-finanziare le attività di fusione condotte in parallelo alla realizzazione di ITER. Infatti, pur non avendo la responsabilità della costruzione di ITER, *EUROFusion* considera la sperimentazione su ITER un punto focale delle sue attività.

Il supporto finanziario fornito da EURATOM è gestito attraverso l'Istituto Max Planck per la fisica dei plasmi, l'IPP di Garching in Germania e consiste in 85 milioni di euro l'anno per le attività comuni, più i contributi degli Stati membri che sono, almeno dello stesso ordine di grandezza, in quanto le attività di *EUROFusion* sono realizzate in co-finanziamento. Inoltre, la Commissione Europea sovvenziona direttamente l'operazione del JET con circa 60 milioni di euro all'anno.

La distribuzione dei fondi all'interno

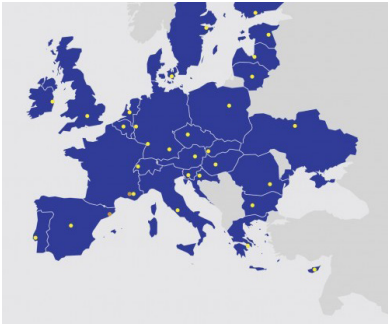


Fig. 2 Distribuzione geografica dei partner del Consorzio EUROfusion

del Consorzio è decisa dai membri stessi in base alle priorità generali dettate dalla *Roadmap* la cui implementazione fa capo all'Unità di Programma e al suo manager, basati presso l'IPP.

In *EUROfusion* il potere decisionale spetta all'Assemblea Generale composta dai rappresentanti di tutte le unità di ricerca. La declinazione delle missioni della *Roadmap* in programmi specifici viene fatta collettivamente e un ruolo importante nella definizione e nella valutazione del programma scientifico spetta al *Scientific and Technological Advisory Committee* (STAC) che comprende esperti di tutti i campi di ricerca di *EUROfusion*, nominati ad personam (fig. 3).

Dal punto di vista operativo, il programma di *EUROfusion* è organizzato in diversi *work packages*.

Un esempio di *work package* è quello che coordina gli esperimenti nei *Medium Size Tokamaks* (MST), le tre macchine sperimentali che, in parallelo a JET, sono utilizzate per preparare la sperimentazione di ITER e completare la base di fisica per DEMO. Si tratta dell'Asdex Upgrade dell'IPP, del MAST-upgrade dell'UKAEA, l'Agenzia per la ricerca sulla fusione britannica e del Tokamak a Configurazione Variabile, TCV, dello *Swiss Plasma Center* dell'EPFL, il Politecnico Federale di Losanna che rappresentano

l'insieme dei tokamak operati congiuntamente da *EUROfusion*, insieme al JET, ed al JT60-SA<sup>2</sup> (Figura 4). Condurre la ricerca sugli esperimenti MST in maniera congiunta permette di ottimizzare la definizione di un piano sperimentale per la *Roadmap*. Esperti da tutta l'Europa possono non solo partecipare agli esperimenti nei vari siti, ma anche contribuire a migliorare i sistemi di misura e di controllo delle diverse macchine. Ciò consente di svolgere le attività di ricerca in condizioni ottimali, utilizzando le migliori competenze esistenti a livello europeo e installazioni che possono essere mantenute in uno stato di massima produttività scientifica.

### Un programma di sviluppo ambizioso

Il programma DEMO ha l'obiettivo di sviluppare una base scientifica e tecnologica per arrivare in tempi relativamente brevi a completare una prima versione del progetto del reattore che sia compatibile con i criteri industriali per la costruzione,

il mantenimento e lo sfruttamento commerciale [3]. Un tale approccio è validato da una serie di *gate reviews*, nelle quali ogni scelta deve poter essere scrutinata, ammessa o respinta da un gruppo di esperti, comprendente anche esponenti delle *utilities* e della società civile che saranno i beneficiari di DEMO.

Il programma di sviluppo di DEMO è particolarmente ambizioso, perché prevede la realizzazione dell'impianto prima che siano disponibili tutti i risultati degli esperimenti di ITER; resta il fatto che l'esperienza fatta nella progettazione, costruzione e avvio delle prime fasi di ITER consentirà di ottenere informazioni fondamentali per DEMO. Se gli esiti delle campagne sperimentali a piena potenza di ITER daranno indicazioni diverse da quelle raccolte nelle prime fasi di operazione, il design finale di DEMO dovrà essere modificato.

In ogni caso, la scelta europea di procedere ad una definizione del design di DEMO il più rapidamente possibile permette di identificare gli elementi più critici, anche quelli in-

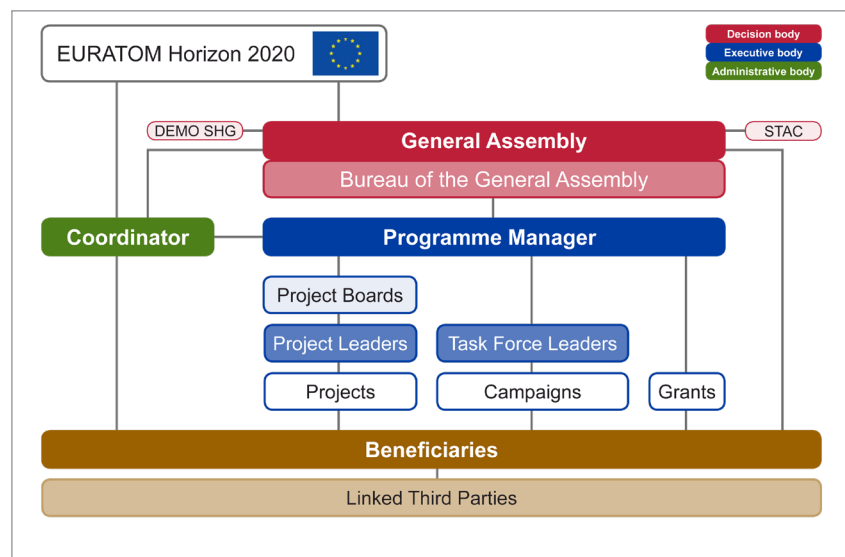


Fig. 3 La struttura del Consorzio EUROfusion

trinsecamente legati all'integrazione globale del reattore.

Per quanto riguarda la comprensione della fisica che regola la dinamica del plasma in un reattore, i punti che richiedono maggiore attenzione in questo momento sono la definizione degli scenari operativi e le metodologie per evitare o mitigare le disruzioni del plasma e le loro conseguenze.

Tra le maggiori sfide per la progettazione del reattore spiccano le soluzioni tecnologiche da adottare per il divertore e per la prima parete, la scelta e la verifica dei materiali strutturali per resistere ai carichi termici e neutronici, i sistemi di produzione di trizio e gestione del ciclo del carburante, gli aspetti di robotica e di sicurezza nucleare e la produzione finale di elettricità ad un costo competitivo. Per far fronte a queste sfide senza perdere di vista gli obiettivi di sicurezza e economicità del reattore, *Eurofusion* si è dotato di un'organizzazione che assicura la partecipazione di tutte le competenze presenti nel consorzio, il loro coordinamento e il coinvolgimento di un gruppo di *stakeholders* comprendente le *utilities* industriali e le altre istanze della fusione ad alto livello. Al tempo stesso, non si trascurano approcci potenzialmente più innovativi con applicazioni su tempi eventualmente più lunghi, ma sempre volti a ottimizzare il progetto di reattore a fusione.

### Il piano di lavoro per *Horizon Europe*

Dopo la prima fase di attività di *EUROfusion*, condotta con successo durante il programma quadro *Horizon 2020* e il recente riadattamento della *Roadmap*, la comunità europea della fusione è impegnata nella preparazione del piano di lavoro per *Horizon Europe*,

### il programma quadro europeo per il periodo 2021-2027.

La struttura globale delle attività è quella dettata dalla *Roadmap* e non subirà variazioni di rilievo anche se si sta valutando un riaggiustamento dell'equilibrio fra i vari capitoli di ricerca, così come la possibilità di aumentare gli investimenti complessivi e il finanziamento dalla Commissione Europea.

esperimenti su JT60-SA, anche in termini di *hardware* per ulteriori migliorie dell'infrastruttura, in particolare per i sistemi diagnostici, in collaborazione con *Fusion for Energy* e in quelli che possono essere considerati i primi esperimenti su un componente di ITER, la *Neutral Beam Test Facility*, NBTF, la cui infrastruttura è stata da poco completata presso i laboratori del

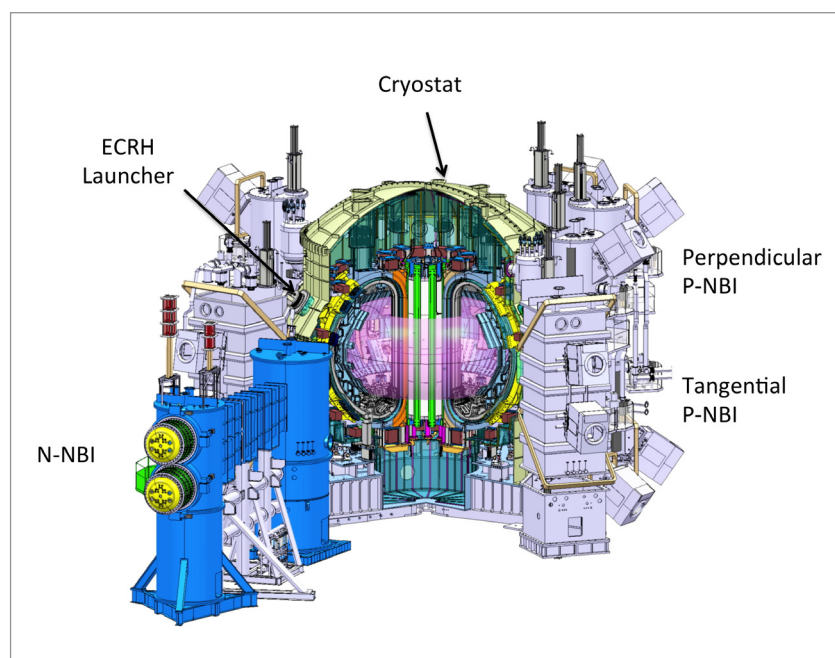


Fig. 4 La macchina tokamak JT-60SA

L'importanza delle attività per DEMO continuerà a crescere così come le ricerche dedicate alla preparazione della sperimentazione su ITER, per la quale *EUROfusion* dovrà assumere un ruolo centrale. In questo ambito dovranno essere gestite le ultime fasi dell'operazione di JET, massimizzando il trasferimento di conoscenze a ITER con gli esperimenti in deuterio-trizio a piena potenza.

I membri di *EUROfusion* saranno direttamente coinvolti negli

Consorzio RFX a Padova.

Nei prossimi anni proseguiranno gli studi della dinamica della zona del "bordo" del plasma, dove occorre smaltire grandi quantità di energia e di particelle, senza danni per le superfici e i materiali circostanti né conseguenze negative sulla performance della regione centrale del plasma. Questi studi consentiranno di ottenere informazioni indispensabili per poter scegliere fra una configurazione convenzionale o "alternativa" del

## La scuola italiana di ricerca sulla fusione: un esempio di eccellenza

L'Italia ed ENEA sono ai primi posti nella classifica dei membri di EUROfusion per volume di attività, secondi solo alla Germania (escludendo JET). Ma il nostro Paese vanta ottime competenze anche per la qualità della sua Scuola di ricerca sulla fusione, considerata tra le migliori al mondo per l'ampio spettro di tematiche coperte. Non a caso, molti scienziati che si sono formati in Italia in questo campo ricoprono ruoli chiave in laboratori e in organismi internazionali. Adesso, con l'avvento del progetto NBTF a Padova e ancor

più con il tokamak DTT a Frascati, la comunità di scienziati e ingegneri italiani ha gli strumenti per mettere il nostro Paese al centro dello scenario, quale sede di infrastrutture strategiche per ITER, DEMO e per la ricerca e sviluppo sulla fusione. Un'opportunità rafforzata dalla presenza di competenze industriali molto valide che, soprattutto nell'ultimo decennio, hanno saputo conquistare spazi importanti a livello europeo e mondiale nell'acquisizione di commesse per la realizzazione di grandi progetti per la fusione. A.F.

divertore ed anche di testare il DTT in condizioni operative più vicine a quelle di DEMO. Una volta conclusi gli studi preparatori, *EUROfusion* potrà partecipare al progetto DTT e contribuire al finanziamento del divertore ed alla successiva sperimentazione.

**Per il 2022-2023 è prevista una Facilities Review, ovvero una valutazione del parco delle infrastrutture dei membri di EUROfusion e dei miglioramenti necessari per perseguire le linee di ricerca previste dalla Roadmap, tanto nella fisica del plasma quanto nella tecnologia del reattore<sup>3</sup>.**

Affinché queste attività sperimentali possano avere un impatto significativo e accelerare l'avanzamento verso DEMO ed il successivo reattore, sarà necessario svilupparle in parallelo agli studi teorici e numerici indispensabili per reperire informazioni richieste. Tutti i dati raccolti dovranno essere sottoposti a un processo sistematico di verifica e validazione.

## Progetti-pilota e giovani talenti

Come ha dimostrato l'esperienza di *EUROfusion* in *Horizon 2020*, affinché i risultati teorici e delle simulazioni possano influire in modo significativo sulle scelte di progetto, è indispensabile accrescere l'impegno coordinato a livello europeo, le risorse umane e l'hardware, assicurando una continuità delle attività su tempi medio-lunghi. Per questo motivo *EUROfusion* ha lanciato di recente alcuni progetti-pilota nell'ambito dell'iniziativa E-TASC (*European Theory and Advanced Simulation Coordination*) con un approccio la cui efficacia sarà valutata in tempi relativamente brevi: se il risultato verrà giudicato positivo, il progetto verrà ampliato e reso stabile nel tempo. Inoltre, risorse computazionali importanti verranno dedicate alle simulazioni, come già avviene con il supercomputer MARCONI, al CINECA di Bologna. In generale, per preservare l'equilibrio fra approccio programmatico (*top*

*down*), e libera iniziativa (*bottom up*) verrà mantenuto il programma di Enabling Research che prevede la possibilità di finanziare progetti di ricerca sperimentali o teorici proposti direttamente dai ricercatori, ispirati alle linee della *Roadmap*, ma non necessariamente legati a progetti specifici o predeterminati.

Il dibattito in corso sembra convergere verso una parziale rivisitazione della ripartizione delle risorse finanziarie del Consorzio. L'obiettivo è di devolvere circa il 55% del totale alle attività R&D di ITER, DEMO e agli stellarator, circa il 30% al design di DEMO e per lo sviluppo della sorgente di neutroni per la qualifica dei materiali del reattore (DONES, *Demo Oriented Neutron Source*, la cui costruzione verrà finanziata tramite meccanismi esterni ad *EUROfusion*), circa il 7% alla gestione delle attività, ed il 7% a educazione e formazione.

**Quest'ultimo capitolo ha un ruolo vitale in EUROfusion e nella fusione**

**in generale. EUROfusion fornisce un supporto finanziario alle attività di formazione condotte dai suoi membri, in particolare per dottorati di ricerca e dal 2014 ha elargito circa 150 borse a giovani ricercatori ed ingegneri dei quali una buona parte**

**è rimasta nel campo della fusione.** Questi meccanismi di supporto a livello centrale, insieme alle attività di formazione a livello locale svolte dai membri, accademici e non, in tutti i Paesi associati, accrescono la capacità della comunità europea della

**fusione di attrarre e consolidare la presenza di giovani talenti, elemento fondamentale per una sfida epocale e transgenerazionale quale è l'energia delle stelle.**

*ambrogio.fasoli@epfl.ch*

- <sup>1</sup> JET dispone inoltre di una combinazione di materiali della camera da vuoto identica a quella di ITER, comprendente berillio per la prima parete e tungsteno per il divertore
- <sup>2</sup> Quest'ultimo esperimento, costruito in Giappone nell'ambito della collaborazione fra Giappone ed alcuni membri di EUROfusion, nota sotto il nome di Broader Approach, è un tokamak con bobine super-conduttrici che esplorerà plasmi di lunga durata in regimi avanzati, ovvero con profili di corrente ottimizzati per creare alti livelli di corrente auto-generata e barriere di trasporto all'interno del plasma. JT60-SA entrerà in funzione nel 2020 e sarà operato in maniera concertata fra EUROfusion ed il Giappone, in loco e a distanza, tramite una o più sale di controllo installate presso laboratori europei
- <sup>3</sup> Nel prossimo programma quadro europeo, lo stellarator W7-X potrà essere operato in condizioni stazionarie su lunghe durate della scarica di plasma, grazie all'installazione del divertore attivamente raffreddato. Un grande sforzo sperimentale sarà condotto per validare l'ottimizzazione compiuta nel progettare W7-X, sia per il plasma termico che per le particelle rapide, o sovratermiche, e valutare il potenziale per un reattore della linea degli stellarator

## BIBLIOGRAFIA

1. Romanelli F, Barabaschi P, Borba D, Federici G, Horton L, Neu R, Stork D, Zohm H, 2012, *Fusion electricity: A roadmap to the realisation of fusion electricity* - <https://www.euro-fusion.org/wpcms/wp-content/uploads/2013/01/JG12.356-web.pdf>
2. Donné AJH, 2019, The European roadmap towards fusion electricity. *Phil. Trans. R. Soc. A* 377: 20170432. <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2017.0432>
3. Federici G et al., 2016, Overview of the design approach and prioritization of R&D activities towards an EU DEMO, *Fusion Eng. Des.* 109–111 B, 1464–1474. (doi:10.1016/j.fusengdes.2015.11.050)