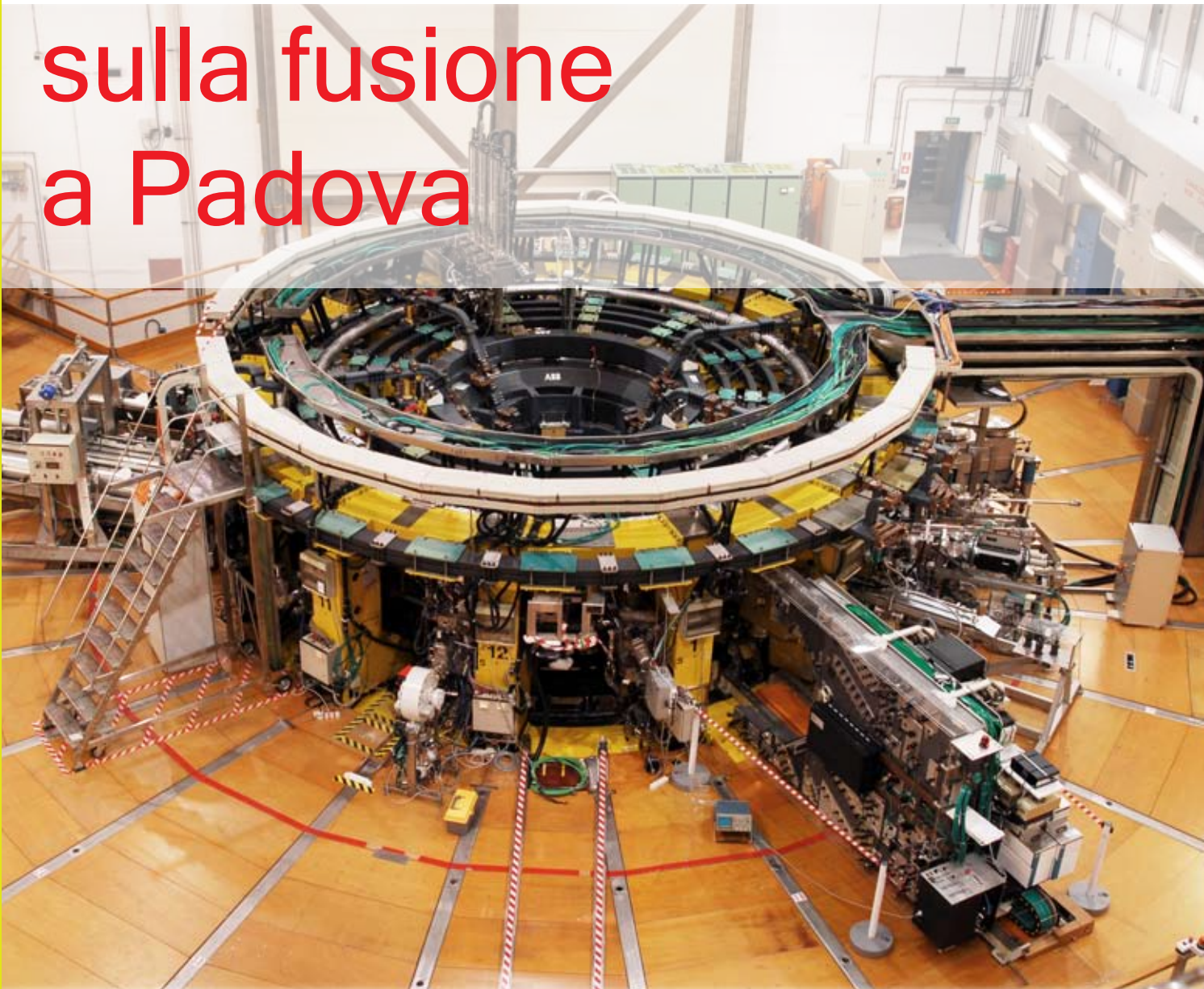


La ricerca sulla fusione a Padova



Nel sole l'idrogeno si fonde in elio. L'energia liberata da questo processo sostiene la vita sulla Terra. L'obiettivo della ricerca sulla fusione termonucleare è riprodurre, in maniera controllata, processi analoghi per ottenere una fonte praticamente illimitata di energia compatibile con l'ambiente.


Le ricerche sulla fusione, si sono sviluppate a partire dagli anni sessanta e hanno fornito l'insieme di conoscenze e risultati

scientifici e tecnologici sufficienti a progettare un reattore sperimentale, ITER, oggi in costruzione attraverso una collaborazione internazionale senza precedenti.

La sua realizzazione ed il suo successo costituiscono la tappa necessaria per poter includere la fusione tra le fonti di energia concretamente utilizzabili.

Il Gruppo di Padova, con il Consorzio RFX, contribuisce in modo significativo a queste ricerche.

Dal programma europeo



La quantità di energia da fusione che un tokamak è in grado di produrre è collegata direttamente al numero di reazioni di fusione che avvengono al suo interno. La scienza ci spiega che più grande è il volume, maggiore è il potenziale di energia da fusione prodotta.

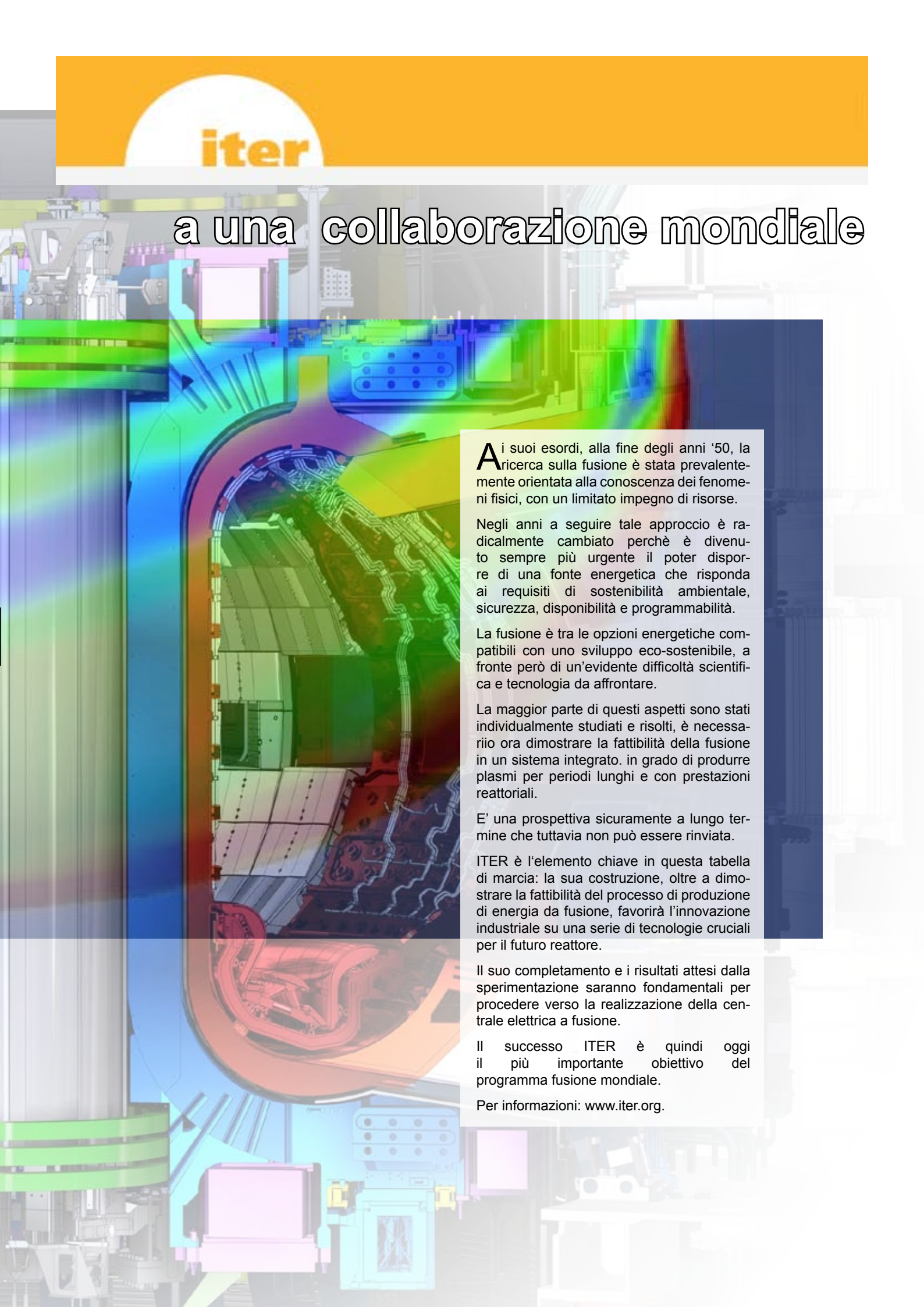
Con un volume di plasma 10 volte superiore agli esperimenti di fusione oggi in funzione nel mondo, il tokamak ITER sarà uno strumento sperimentale unico, capace di produrre plasmi per lungo tempo e con un miglior confinamento.

**E' urgente
poter disporre di
una fonte di energia
sostenibile**



iter

a una collaborazione mondiale



Ai suoi esordi, alla fine degli anni '50, la ricerca sulla fusione è stata prevalentemente orientata alla conoscenza dei fenomeni fisici, con un limitato impegno di risorse.

Negli anni a seguire tale approccio è radicalmente cambiato perchè è divenuto sempre più urgente il poter disporre di una fonte energetica che risponda ai requisiti di sostenibilità ambientale, sicurezza, disponibilità e programmabilità.

La fusione è tra le opzioni energetiche compatibili con uno sviluppo eco-sostenibile, a fronte però di un'evidente difficoltà scientifica e tecnologia da affrontare.

La maggior parte di questi aspetti sono stati individualmente studiati e risolti, è necessario ora dimostrare la fattibilità della fusione in un sistema integrato, in grado di produrre plasmi per periodi lunghi e con prestazioni reattoriali.

E' una prospettiva sicuramente a lungo termine che tuttavia non può essere rinviata.

ITER è l'elemento chiave in questa tabella di marcia: la sua costruzione, oltre a dimostrare la fattibilità del processo di produzione di energia da fusione, favorirà l'innovazione industriale su una serie di tecnologie cruciali per il futuro reattore.

Il suo completamento e i risultati attesi dalla sperimentazione saranno fondamentali per procedere verso la realizzazione della centrale elettrica a fusione.

Il successo ITER è quindi oggi il più importante obiettivo del programma fusione mondiale.

Per informazioni: www.iter.org.

Il primo passo è ITER

Q = 10 significa che ITER dovrà riuscire a produrre una quantità di energia 10 volte superiore a quella consumata

e dimostrare così la fattibilità della fusione quale fonte di energia

E' l'obiettivo a cui lavorano Europa, Giappone, Russia, Stati Uniti d'America, Cina, Repubblica di Corea e India, che nel 2006 hanno firmato un accordo di collaborazione internazionale per la realizzazione e operazione di ITER, il più grande esperimento scientifico di tutti i tempi.

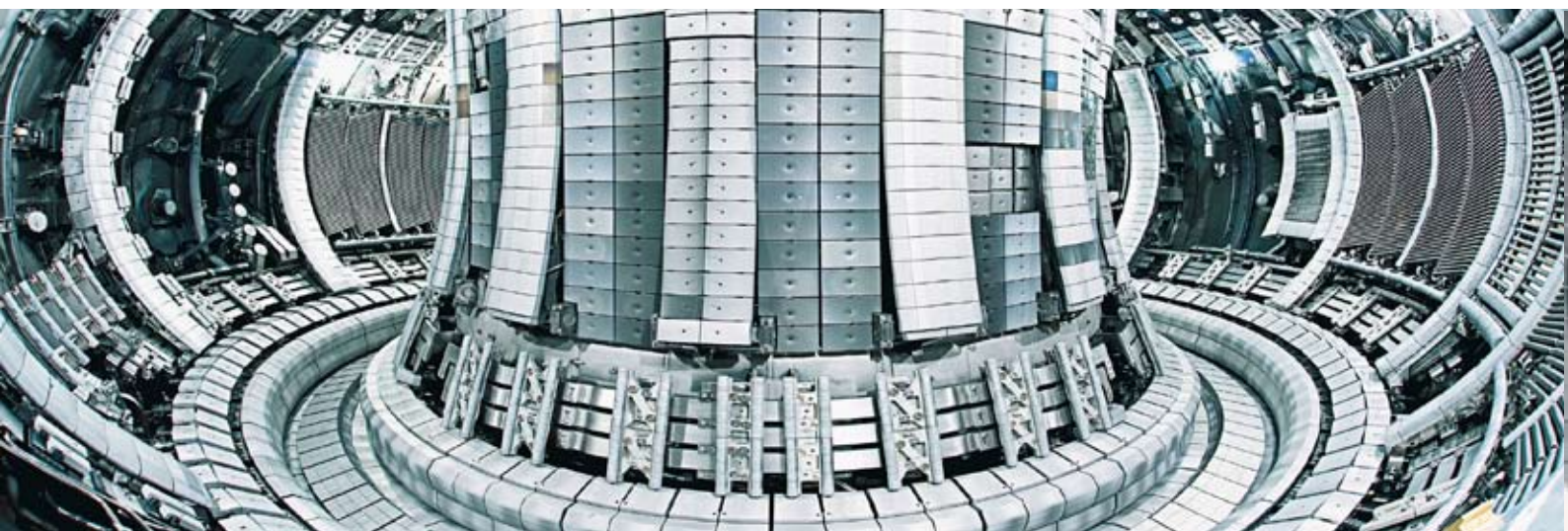
La sua costruzione è in corso a Cadarache, in Francia, con forniture assegnate ad aziende dei Paesi partner sulla base della progettazione degli scienziati che lavorano al progetto.

Con la sperimentazione su ITER, si metteranno a punto gli scenari operativi del futuro reattore.

A questo scopo, in parallelo, parte dell'attività di ricerca e sviluppo continuerà su grandi esperimenti satelliti come JET, ASDEX-UG e JT-60SA e su esperimenti di medie dimensioni affidati ai singoli laboratori.

In basso, la camera da vuoto dell'esperimento europeo Jet, in funzione ad Abingdon (UK).

In basso a destra, la camera da vuoto di Asdex Upgrade, in funzione a Garching (D)





In alto, i rappresentanti dei sette Partner di Iter, riuniti nell'Iter Council.

Al centro, il nucleo dell'esperimento Iter, in costruzione a Cadarache (Francia).



La macchina RFX

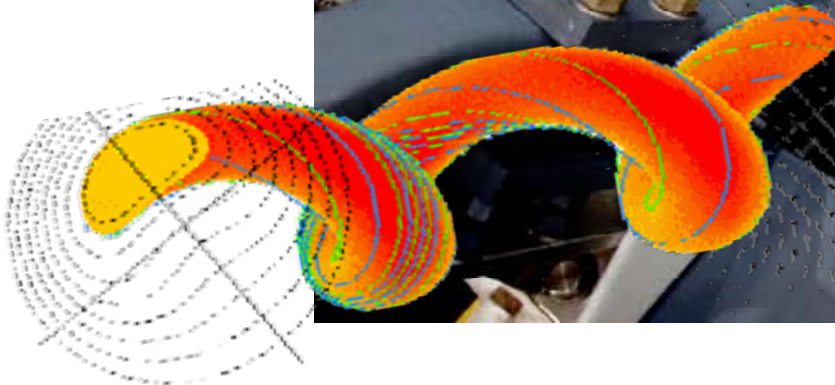
Numerosi e complessi sono i fenomeni che caratterizzano il comportamento dei plasmi da fusione, confinati tramite campi magnetici.

La macchina RFX è un esperimento da fusione a confinamento magnetico di medie dimensioni, realizzata per studiare tale comportamento e ridurre i meccanismi che destabilizzano il plasma. RFX può funzionare sia in configurazione Reversed Field Pinch che in configurazione Tokamak.

L'esperimento RFX è entrato in funzione nel 1992.

I risultati ottenuti hanno portato a nuove conoscenze e a continui miglioramenti dell'impianto che è stato profondamente modificato tra il 1999 e il 2004, in particolare con l'installazione di 576 sensori e un sistema di controllo attivo delle instabilità del plasma composto da 192 bobine e 192 amplificatori indipendenti..

La sperimentazione sulla macchina modificata (RFX-mod) è ripresa nel 2004. I risultati hanno confermato che la macchina modificata garantisce un miglior controllo della configurazione magnetica e, in ultima istanza, un aumento della temperatura e del confinamento del plasma.



Principali parametri progettuali

Raggio maggiore	2 m
Raggio minore	0.5 m
Max corrente di plasma	2 MA
Durata dell'impulso	0,25 s
Temperatura elettronica	1 keV
Potenza installata	400 MVA

Parametri ottenuti

Max corrente di plasma	2 MA
Durata dell'impulso	>0.5 s
Temperatura elettronica	>1.2 keV

obiettivo migliorare il controllo delle instabilità di plasma in regimi ad elevata corrente

Ricerche in
corso sulla
macchina
RFX-mod

Obiiettivo principale della ricerca con l'esperimento RFX è migliorare il controllo delle instabilità di plasma in regimi ad elevata corrente.

Il miglioramento del confinamento, cioè della capacità del plasma di trattenere il calore prodotto dalla corrente, richiede la comprensione dei meccanismi che regolano il trasporto del calore e di materia.

Per questo RFX è equipaggiato con sistemi diagnostici per la misura delle proprietà del plasma, quali ad esempio il campo magnetico, la temperatura ionica ed elettronica, la densità, l'emissione di raggi X, la presenza di impurezze.

Gli esperimenti vengono svolti con plasmi di Idrogeno, Deuterio o Elio; la pressione iniziale è pari a 1 milionesimo di quella atmosferica (10^{-3} mbar pari a circa 1 mg di idrogeno in 8 metri cubi).

L'ottimizzazione dell'esperimento ha permesso di effettuare prove con corrente di plasma elevata, fino a 2 milioni di Ampere (2 MA) raggiungendo temperature elettroniche pari a 14 milioni di gradi (1.4 keV).

Gli esperimenti sono supportati da una intensa attività teorica, modellistica e interpretativa.

Al Consorzio RFX l'attività di ricerca di fisica è integrata con quella di ingegneria, per lo sviluppo della

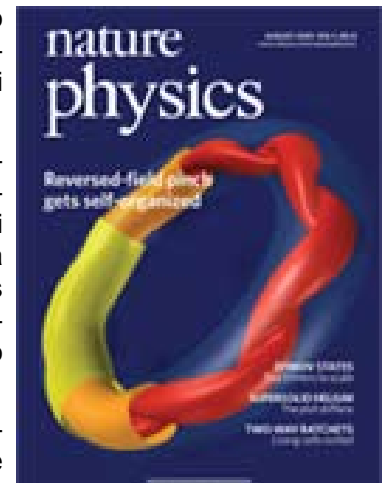
tecnologia elettrica e delle alimentazioni, dell'analisi e progettazione termomeccanica e strutturale, dei sistemi di controllo in tempo reale e, più in generale, della realizzazione e messa in funzione di grandi impianti sperimentali.

Tra i risultati più rilevanti ottenuti da RFX-mod, l'evidenza sperimentale di un nuovo stato di equilibrio elicoidale ha ottenuto la pubblicazione su Nature Physics e uno spazio speciale sulla copertina della rivista (N.8, Agosto 2009).

Il raggiungimento di questa configurazione è stato possibile grazie al sistema per il controllo delle instabilità magnetiche, che agisce sul plasma attraverso 192 (48x4) bobine controllate indipendentemente.

Questo sistema è stato il primo, ed è l'unico, a copertura totale operante su un esperimento per la fusione.

Le competenze sviluppate in questo settore hanno consentito, nell'ambito del Broader Approach, lo sviluppo di una collaborazione con il grande esperimento giapponese JT60-SA attualmente in fase di costruzione. Questa collaborazione include lo svolgimento di esperimenti su RFX-mod per lo sviluppo e test di algoritmi di controllo.

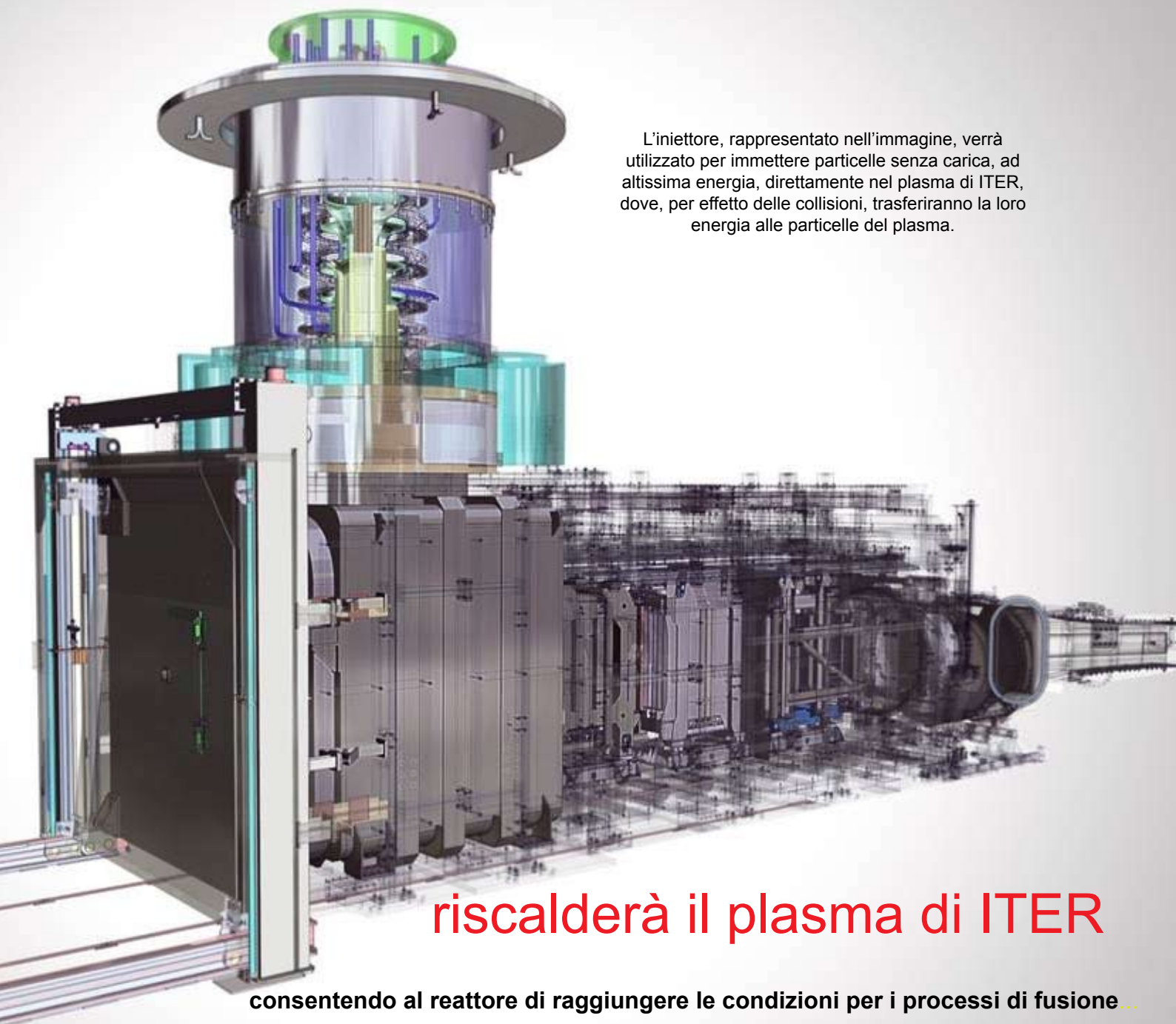


Copertina di
*Nature
Physics*
con in
evidenza
la struttura
elicoidale
del plasma
scoperta su
RFX-mod

A ttività per ITER

L'iniettore di fasci di neutri

L'iniettore, rappresentato nell'immagine, verrà utilizzato per immettere particelle senza carica, ad altissima energia, direttamente nel plasma di ITER, dove, per effetto delle collisioni, trasferiranno la loro energia alle particelle del plasma.



riscaldereà il plasma di ITER

consentendo al reattore di raggiungere le condizioni per i processi di fusione...

In ITER il plasma di deuterio e trizio, confinato da intensi campi magnetici, verrà riscaldato da sistemi a radiofrequenza e da fasci di atomi neutri raggiungendo così le condizioni ottimali per ottenere i processi da fusione. Il progetto ITER prevede che la potenza da fusione prodotta superi quella immessa nel sistema dall'esterno di un fattore 10.

Il riscaldamento mediante fasci di neutri sarà realizzato tramite 2 iniettori che dovranno fornire al plasma complessivamente fino a 33 MW di potenza.

Ciascun iniettore è composto da una sorgente di ioni negativi (deuterio), un acceleratore elettrostatico, un neutralizzatore, un separatore di ioni residui e infine un calorimetro.

L'acceleratore dovrà lavorare a 1 MV di tensione con una corrente alle griglie fino a 40 A (16 A di fascio) con impulsi di durata fino a un'ora.

Per sviluppare e provare gli iniettori da installare su ITER, è stata decisa la realizzazione a Padova di un laboratorio (Neutral Beam Test Facility - NBTF) idoneo a ospitare il prototipo e ad introdurre successivi perfezionamenti.

La costruzione di NBTF è iniziata a giugno 2013. Completata la realizzazione degli edifici, sono ora in corso le installazioni delle apparecchiature scientifiche.

La sperimentazione dovrà avvenire in linea con lo sviluppo del Progetto ITER, e fornire i risultati attesi prima dell'inizio della realizzazione degli iniettori di ITER.

Padova, con le competenze presenti presso il laboratorio del Consorzio RFX, l'Università e l'INFN di Legnaro, offre le competenze necessarie per ospitare l'impianto, realizzare, mettere in funzione e sperimentare l'iniettore, con la collaborazione dei laboratori europei di Culham (UK), di Garching (Germania), di Cadarache (Francia), e di quelli di Naka (Giappone) e di Bhat (India).

L'impianto NBTF a Padova

**65.000 m² area CNR,
compresi gli edifici di RFX**

**circa 24 M€ investimenti italiani;
circa 200 M€ investimenti europei,
giapponesi e indiani**

**dai 5 ai 6 anni per la
sua costruzione**

*La sperimentazione e ulteriori sviluppi
proseguiranno durante la vita di ITER
ed oltre*

Per l'innesco dei processi di fusione, ITER richiede un sistema di riscaldamento del plasma costituito da un iniettore di fasci di atomi neutri (idrogeno o deuterio) con energia 1 MeV.




SPIDER & MITICA

a che punto siamo?

A meno di tre anni dal primo palo di fondazione, le opere di costruzione degli edifici e infrastrutture NBTF sono state completate.

Sullo sfondo il particolare del lato Sud, con vista sulle sale controllo degli esperimenti SPIDER e MITICA.


Dei due esperimenti, SPIDER, la sorgente di ioni, sarà il prototipo che per primo entrerà in funzione. L'avvio della sperimentazione è previsto nel 2017.



Particolare della linea elettrica di trasmissione a 100 kV di SPIDER.

SPIDER

il prototipo della sorgente di ioni



In basso a destra, SPIDER all'interno del suo alloggiamento in calcestruzzo, mentre sono in corso i test di tenuta della camera da vuoto.

MITICA

l'acceleratore di particelle per il riscaldamento del plasma di ITER

Completato l'edificio che ospiterà l'impianto, è in corso la realizzazione della schermatura biologica di MITICA che conterrà l'acceleratore.

A sinistra, i lavori di installazione e montaggio della schermatura in calcestruzzo di MITICA.

In parallelo, sono in corso le installazioni del sistema di alimentazione a 1 MV.

Nella pagina a destra, in alto, lo schema complessivo del sistema di alimentazione di MITICA.

Al centro, 2 dei 5 trasformatori in alta tensione forniti dal Giappone, già installati in sito.

In basso al centro, la linea di trasmissione all'interno della sala di alta tensione e l'interno della linea di trasmissione con, in primo piano, i conduttori a 1 milione di Volt.

**Grandi
infrastrutture
di ricerca**

Il sistema di alimentazione



100 m



Trasformatori in alta tensione (1 MV) realizzati dal Giappone, in corso di installazione a Padova



Installazione della linea di trasmissione a 1 MV di MITICA



La linea di trasmissione a 1 MV di MITICA all'interno dell'edificio alta tensione

Attività di Broader Approach di accompagnamento a ITER

Nell'ambito del progetto ITER, l'Unione Europea e il Giappone hanno siglato un accordo denominato "Broader Approach". Esso riguarda la cooperazione Europa-Giappone su tre grandi progetti di ricerca: Satellite Tokamak Programme, IFMIF e IFERC.



L'Italia partecipa a due dei tre progetti.

Il Satellite Tokamak Programme (STP), è un programma per la costruzione e operazione di un tokamak superconduttore di grandi dimensioni, satellite di ITER (JT-60SA). Il CNR tramite il Consorzio RFX, partecipa alla realizzazione di due sistemi delle alimentazioni elettriche: il sistema di protezione dei magneti superconduttori e il sistema di alimentazioni per il controllo veloce della configurazione magnetica.

L'investimento previsto è pari a circa 15 M€.

Un secondo programma prevede il completamento del progetto ingegneristico e lo sviluppo e prova dei componenti principali dell'**impianto IFMIF** (International Fusion Material Irradiation Facility).

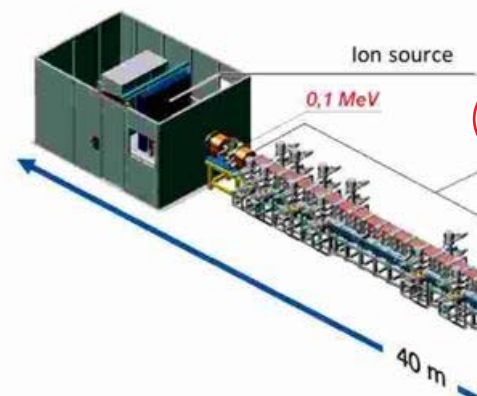
I laboratori dell'INFN di Legnaro (Padova) saranno impegnati nella realizzazione dell'acceleratore quadrupolo a radio frequenza, uno dei componenti tecnologici più avanzati, grazie alle loro competenze in questo settore.

L'investimento previsto è pari a circa 25 M€.

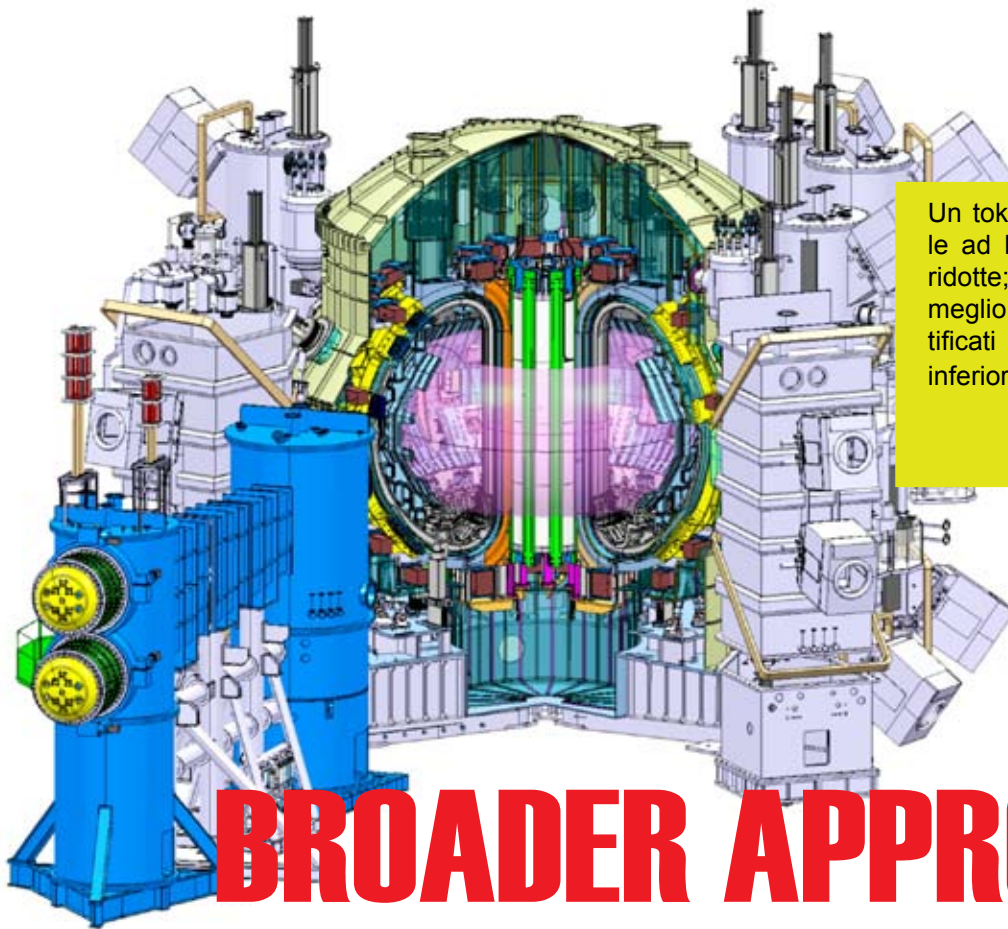
Nelle centrali a fusione servono materiali idonei a consentire un'adeguata durata dell'impianto e con decadimento della radioattività in tempi minori di 100 anni.

IFMIF è progettato per eseguire prove di resistenza al flusso neutronico sui materiali che verranno utilizzati nella fusione e selezionare così quelli più idonei per i diversi componenti della centrale.

IFMIF produrrà un duraturo flusso di neutroni con spettro di energia simile a quello delle reazioni di fusione.



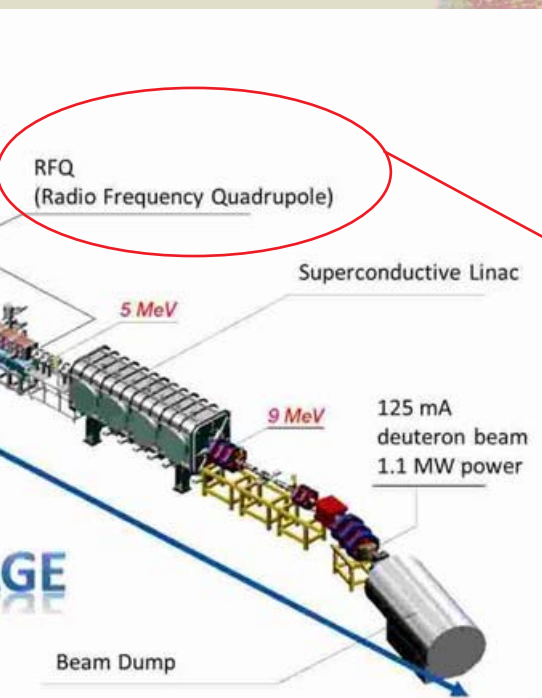
IFMIF- EVEDA STAB



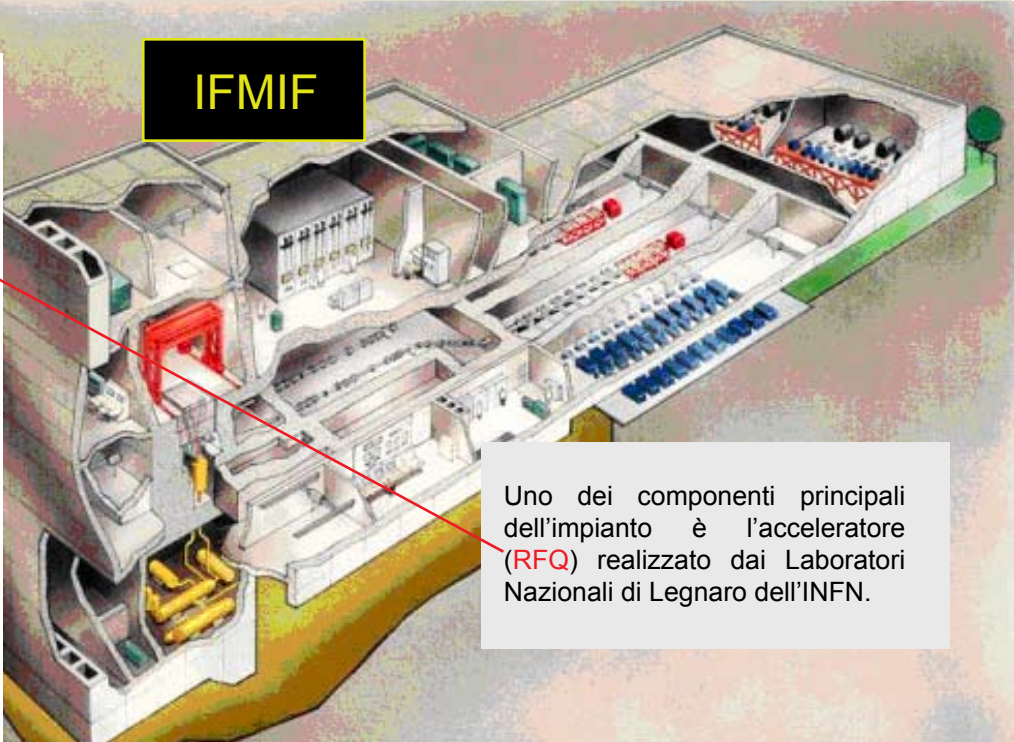
JT-60SA

Un tokamak superconduttore simile ad ITER, ma di dimensioni più ridotte; verrà utilizzato per definire meglio gli scenari operativi già identificati in altri esperimenti di taglia inferiore.

BROADER APPROACH

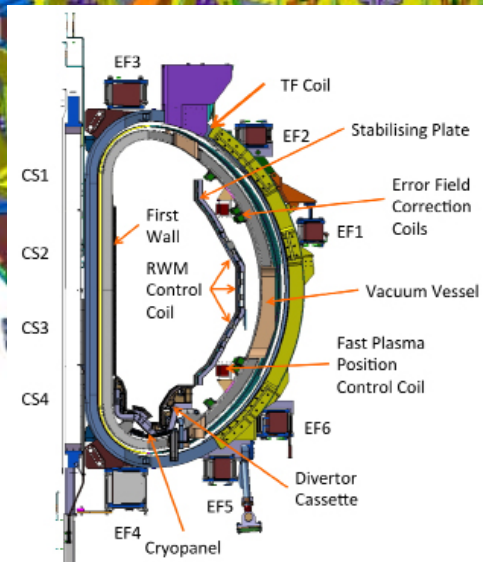
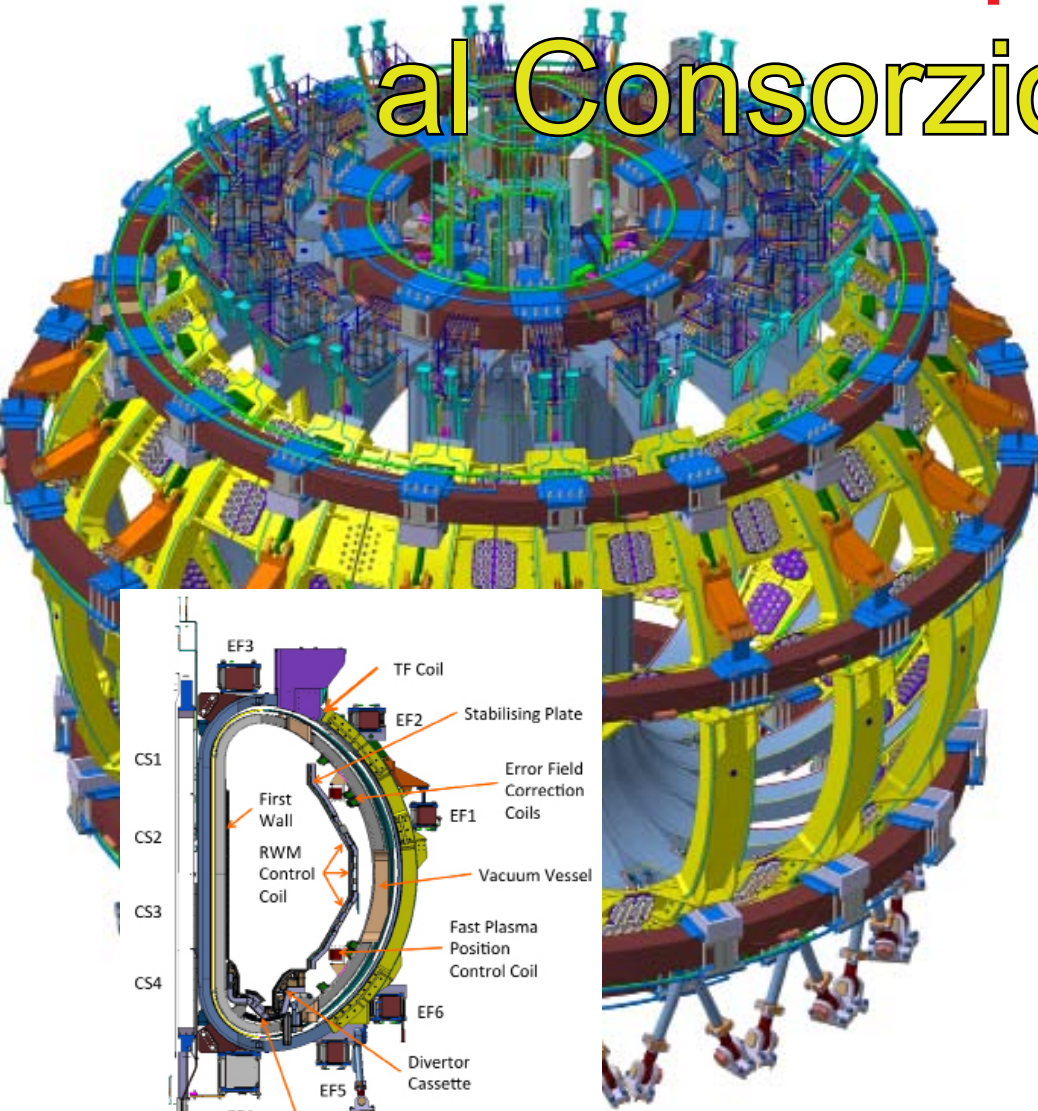


IFMIF



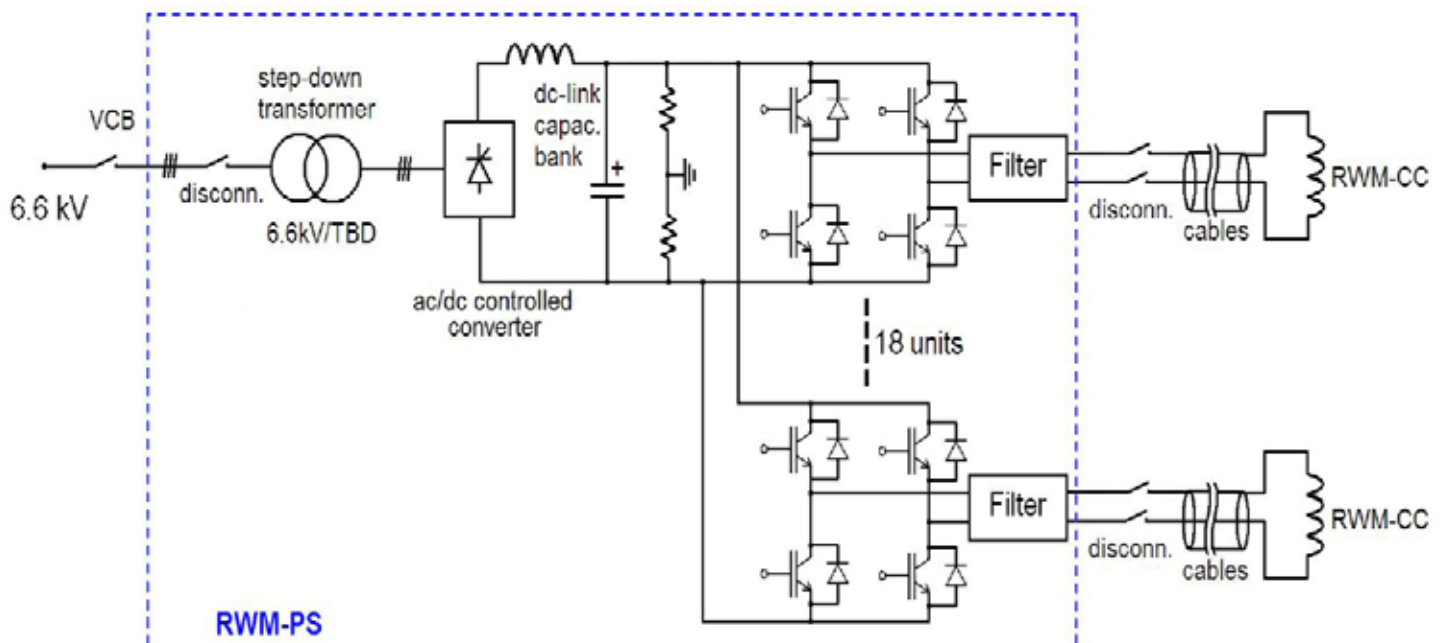
Uno dei componenti principali dell'impianto è l'acceleratore (RFQ) realizzato dai Laboratori Nazionali di Legnaro dell'INFN.

Il Broader Approach al Consorzio RFX



Nel quadro del contributo italiano al progetto JT-60SA, il Ministero della Ricerca ha incaricato il CNR della fornitura del sistema di protezione dei magneti superconduttori e del sistema di alimentazione per il controllo delle instabilità del plasma di JT-60SA.

Il CNR ha affidato le realizzazioni al Consorzio RFX.



Consegnati nei tempi e costi previsti

Le installazioni del sistema su JT-60SA in Giappone sono iniziate a fine novembre 2014 e sono state completate a febbraio 2015

Sullo sfondo, il sistema di protezione dei magneti realizzato dal Consorzio RFX. Esso garantirà la scarica veloce dell'energia immagazzinata negli avvolgimenti superconduttori di JT-60SA, in caso di guasto. Il sistema è composto di 13 unità che sono già state installate su JT-60SA.

In basso a sinistra, il progetto del sistema di alimentazione, in corso di realizzazione a cura del Consorzio RFX.

Il sistema consentirà il controllo su JT-60SA di particolari instabilità di plasma denominate Resistive Wall Mode (RWM).

Innovation



80%
commesse NBTF
all'Italia

Per la realizzazione di componenti così complessi serve un'industria che sappia innovarsi.

Le commesse NBTF e Broader Approach promuovono l'innovazione industriale.

*Rendering dei
componenti interni
della sorgente di ioni
SPIDER*

tecnologie innovative

Ricadute industriali

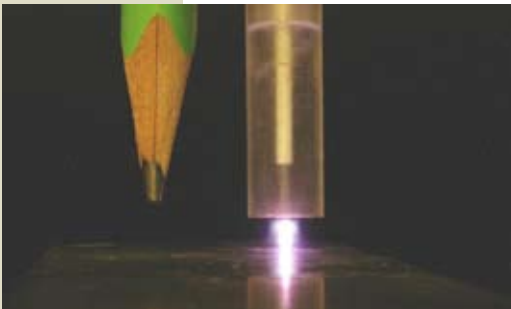
Conversione di potenza

Alimentazioni elettriche



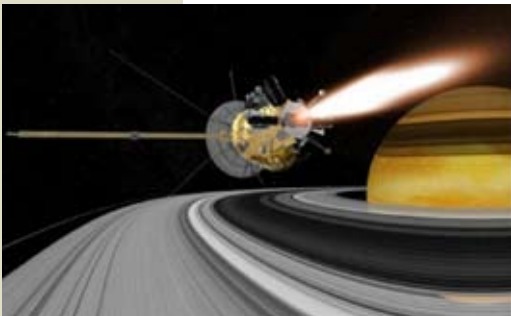
Applicazioni biologiche, biomediche e trattamento fine di superfici

*Ago al plasma a bassa potenza,
a pressione atmosferica*



Propulsione spaziale

*Propulsore magnetoplasmadinamico
(MPD) ad elevata spinta
per la propulsione spaziale*



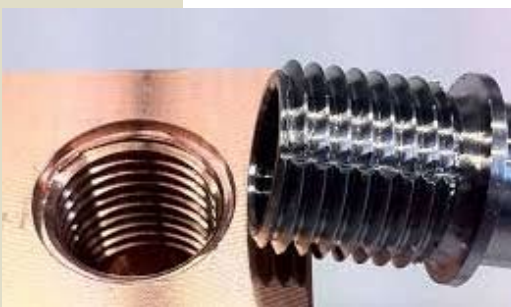
Deposizione industriale di pellicole e trattamento di superfici

*Il sistema di Magnetron sputtering
per processi industriali con il plasma*



Saldature meccaniche

*Brevetto sulla giunzione meccanica
a freddo, con tenuta in alto vuoto*



F ormazione

Ricercatori del Consorzio e degli enti consorziati si dedicano alle attività di formazione, in collaborazione con l'Università.

Presso il Consorzio, vengono seguiti laureandi in Ingegneria e Fisica per la preparazione della loro tesi.

Ricercatori del Consorzio, da molti anni, svolgono attività di docenza per corsi inerenti la Fisica e l'Ingegneria dei Plasmi e la Tecnologia della Fusione.

Dal 2008, è attivo il primo Dottorato Europeo congiunto in Scienza e Ingegneria della Fusione, coordinato dall'Università di Padova con la partecipazione del Lisbon Instituto Superior Tecnico (Portogallo) e dell'Università Federico II di Napoli.

Parallelamente è attivo anche il "Network europeo congiunto a livello di dottorato in Scienza e Ingegneria della Fusione", sempre coordinato da Padova, con la partecipazione aggiuntiva della Ludwig Maximilian University di Monaco di Baviera (Germania) e dell'Università di Tampere (Finlandia).

Ogni anno sono presenti al Consorzio RFX circa 30 studenti tra laureandi e dottorandi.

Per informazioni: <http://www.igi.cnr.it>.

Le competenze del gruppo di Padova al servizio del Paese

Fisica dei plasmi da fusione
in regimi con corrente elevata

Teoria e modellizzazione
ei plasmi RFP e tokamak

Controllo dei modi
magnetoidrodinamici

Diagnostiche per plasmi
termonucleari

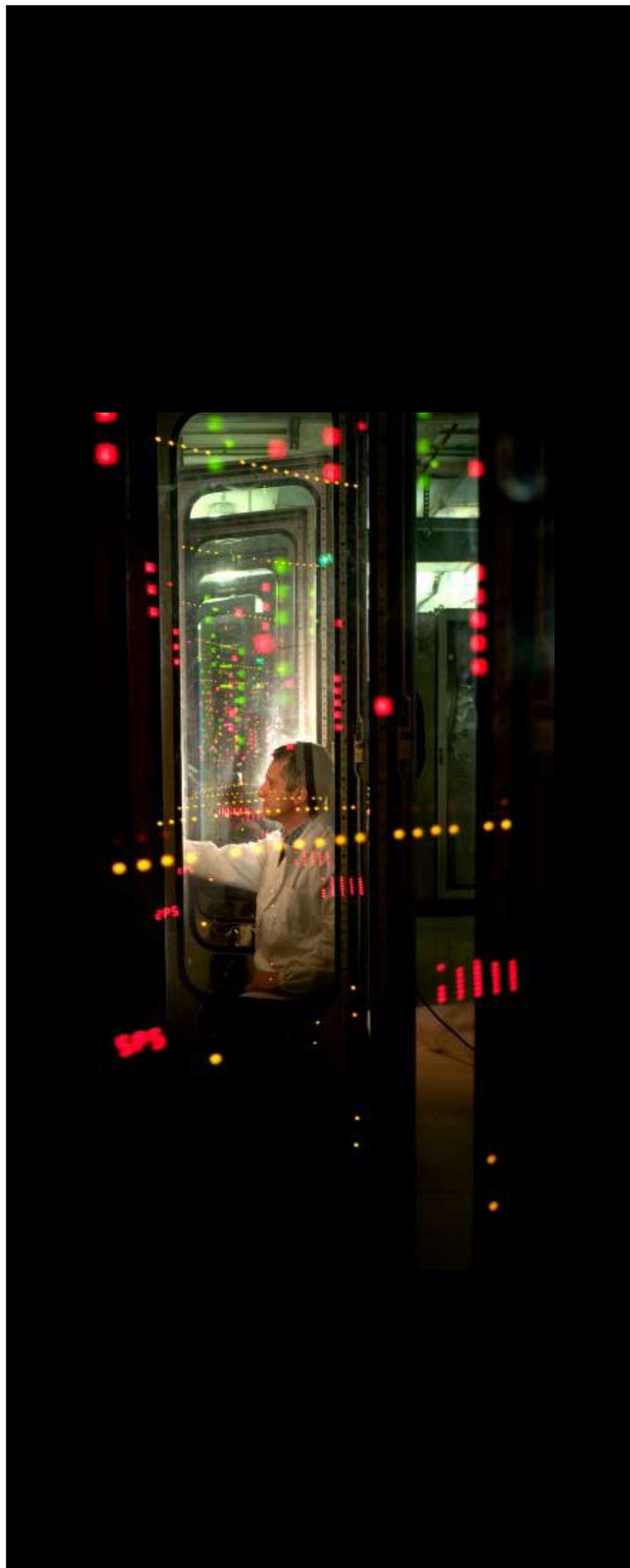
Iniettori di neutri per il
riscaldamento del plasma

Tecnologie elettriche e
alimentazioni per esperimenti
di fusione

Controllo in tempo reale

Realizzazione e operazione
di impianti sperimentali di
grandi dimensioni

Analisi e progettazione
strutturale e termomeccanica



Il Gruppo di Padova, con il Consorzio RFX, contribuisce al programma fusione europeo, nel quadro delle attività EUROFUSION, con un proprio laboratorio per ricerca e sviluppo sulla fisica e tecnologia della fusione e con l'esperimento RFX-mod.

Partecipa al Progetto ITER, in particolare, con la realizzazione a Padova dell'impianto per lo sviluppo e prova del sistema di iniezione di fasci di neutri (Neutral Beam Test Facility) e con le attività di Broader Approach, attraverso l'agenzia europea FUSION FOR ENERGY..

Svolge un'intensa attività di formazione nel campo della fisica e ingegneria della fusione.



Il Consorzio RFX ha sede in Area della Ricerca CNR di Padova, in Corso Stati Uniti, 4

Per informazioni

Direzione - email: direzione.rfx@igi.cnr.it - Tel 049 829 5052

Ufficio Relazioni Esterne del Consorzio RFX - Tel 049 829 5990

**Il Consorzio RFX
è costituito da
ENEA, CNR, INFN,
Università di Padova,
Acciaierie Venete SpA**

Riuniti nel Consorzio RFX, gli Enti hanno creato una struttura dinamica in grado di svolgere un ruolo di primo piano nell'attività internazionale di ricerca sulla fusione.

