



Nuclear Fusion

the way to new energy?

Ing. Sergio Ciattaglia
Esperto del Progetto ITER
Roma 27 Marzo 2014, ore 15

Temi trattati

- **La necessità di energia nel mondo**
- **Il plasma**
- **La Fusione Nucleare**
 - **Nel sole e nelle stelle**
 - **Sulla terra**
 - Inerziale
 - Magnetica
- **Il progetto ITER**
 - **Gli obiettivi**
 - **I sistemi principali**
 - **Le sfide scientifiche e tecnologiche ed organizzative**
 - **La scelta del sito**
 - **Il licensing e l'impatto ambientale**
 - **L'organizzazione del lavoro tra gli oltre 30 paesi partecipanti**
 - **Lo stato attuale della costruzione**
 - **Il successo di ITER oltre il valore scientifico**
 - **Le opportunità di lavoro**
- **Sommario**

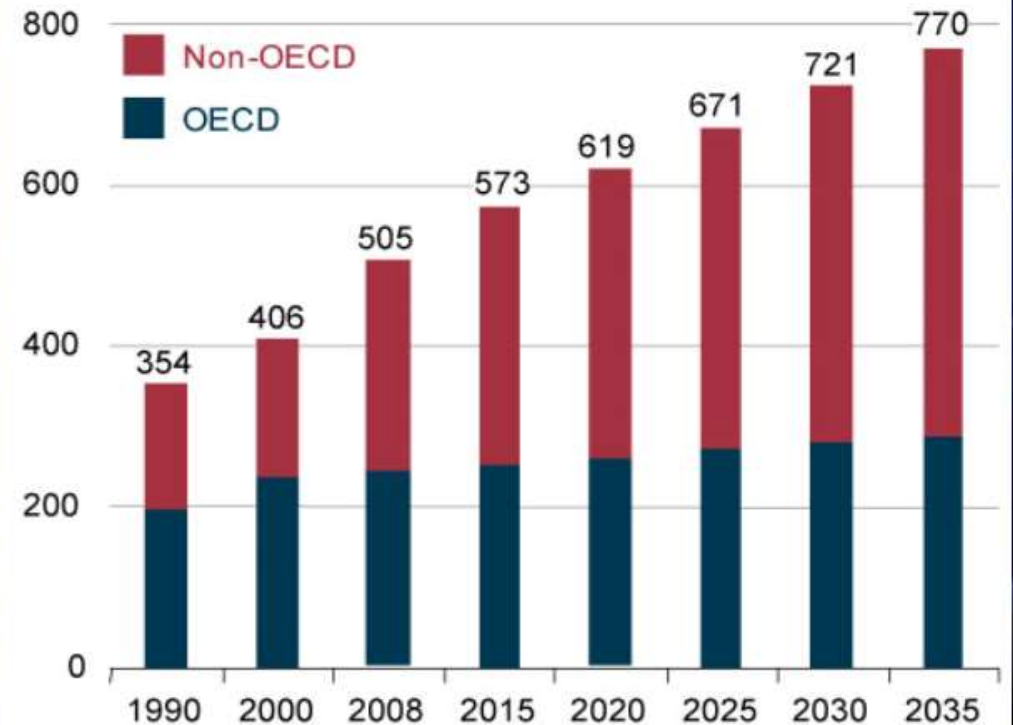
Previsioni di richiesta di energia

**Clean energy:
Humankind's challenge**

**World energy
consumption is
projected to double
in about 40 years**

**Source: US Energy
Information Agency**

Figure 1. World energy consumption, 1990-2035
(quadrillion Btu)



OECD = Organization for Economic Cooperation and Development

Come soddisfare il crescente bisogno energetico

- **Oggi:**

- *≈ 80% dei bisogni energetici provengono da combustibili fossili (petrolio, carbone, gas)*



- **Ma:**

- *Queste risorse non sono illimitate*
- *L'aumento di CO2 sta portando a cambiamenti climatici*
- *Il bisogno di energia è in continuo aumento +~ 50% entro il 2035*



- **Possibili opzioni:**

- *Energie rinnovabili: solare, eolica, idroelettrica, maree, etc.*
- *Fissione Nucleare: è una realtà matura. Gli incidenti di Chernobyl e Fukushima ne hanno frenato la crescita*
- *Fusione Nucleare: ancora a livello sperimentale*



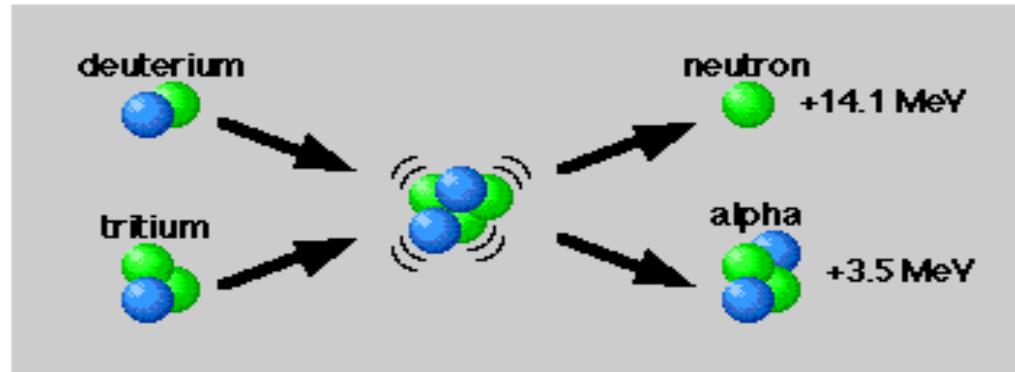
Risparmio energetico

- *Può attenuare il continuo aumento di energia*
- *Occorrono forti decisioni politiche all'interno dei singoli paesi ed a livello mondiale*
- *Vi sono immensi margini specie se si cambiano i modelli di sviluppo*



La Fusione Termonucleare

- E' la reazione nucleare che avviene nel sole e nelle altre stelle, con produzione di una enorme quantità di energia
- Nuclei di elementi leggeri, quali l'idrogeno ed i suoi isotopi il deuterio(D) e il trizio(T), a temperature e pressioni elevate, si fondono l'un l'altro formando nuclei di elementi più pesanti come l'elio
- Nella reazione si ha un difetto di massa che si trasforma in energia secondo il principio di equivalenza massa-energia $\Delta E = \Delta mc^2$
- L'energia liberata si distribuisce tra la particella alfa e il neutrone in rapporto inverso alle rispettive masse



- I due nuclei di D e T interagiscono solo a distanze molto piccole, equivalenti alle dimensioni del nucleo (10^{-13}cm^{-3}); le forze nucleari sono predominanti sulle forze di repulsione elettrostatica dovute alla carica positiva dei nuclei (forze inversamente proporzionali al quadrato della distanza)
- Perché due nuclei si avvicinino a distanze sufficientemente brevi è necessario che la velocità con cui si urtano sia molto alta; la loro energia cinetica deve essere molto elevata
- Per ottenere reazioni di fusione, è necessario portare una miscela di deuterio e trizio a temperature elevatissime (~100 milioni di gradi) per tempi di confinamento sufficientemente lunghi. In tal modo i nuclei hanno tempo di fare molte collisioni, aumentando la probabilità di reazioni di fusione

Il plasma e la reazione di fusione nel sole (e stelle)

Il plasma è un gas ionizzato costituito da elettroni e ioni globalmente neutro. In quanto tale, il plasma è considerato come il quarto stato della materia. Le cariche elettriche libere fanno sì che il plasma sia un buon conduttore e che risponda fortemente ai campi elettromagnetici.

- Il plasma, costituisce il 99% dell'Universo .
- Nel sole, che ha una temperatura interna di 14 milioni di gradi, la reazione di fusione di nuclei di idrogeno (reazione protone-protone) è responsabile di gran parte dell'energia che giunge fino a noi sotto forma di calore e di luce



Reazioni di Fusione Nucleare

- La reazione di riferimento per ITER ed il reattore a fusione (realizzata in alcuni esperimenti al JET)

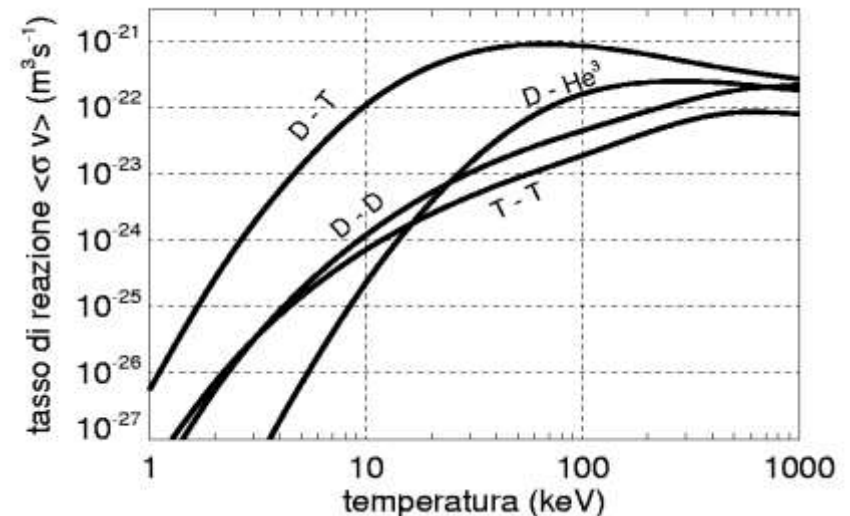
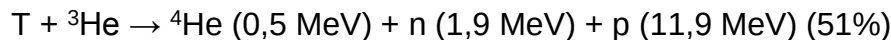
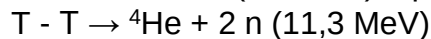
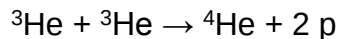


- L'He mantiene la temperature del plasma
- I neutroni vengono frenati nel mantello circostante il plasma riscaldando l'acqua che passa nella struttura (da qui si produce l'energia elettrica nei reattori)

Reazione negli impianti attuali (non si utilizza il trizio che pone dei problemi di sicurezza)

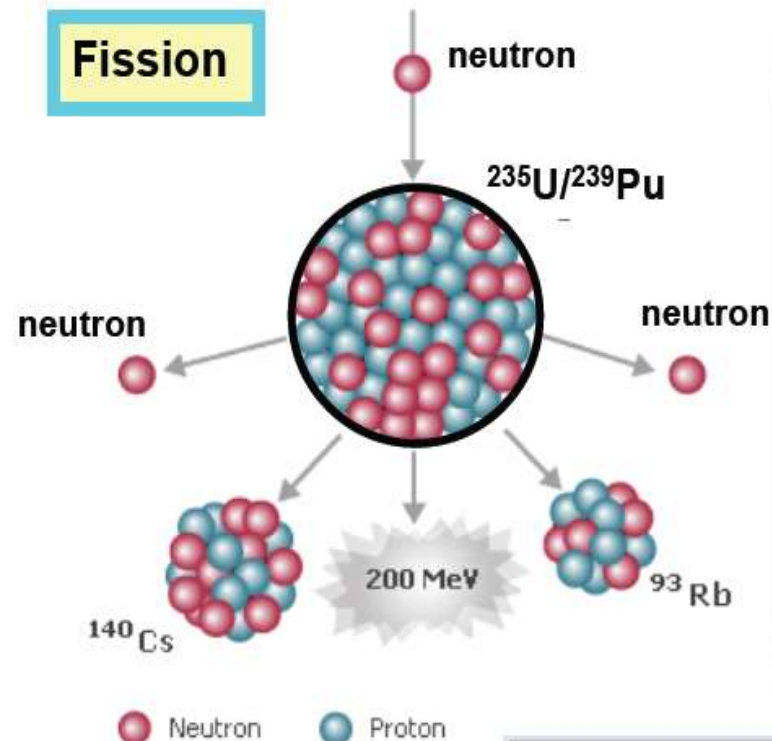


Altre reazioni per la maggior parte aneutroniche:



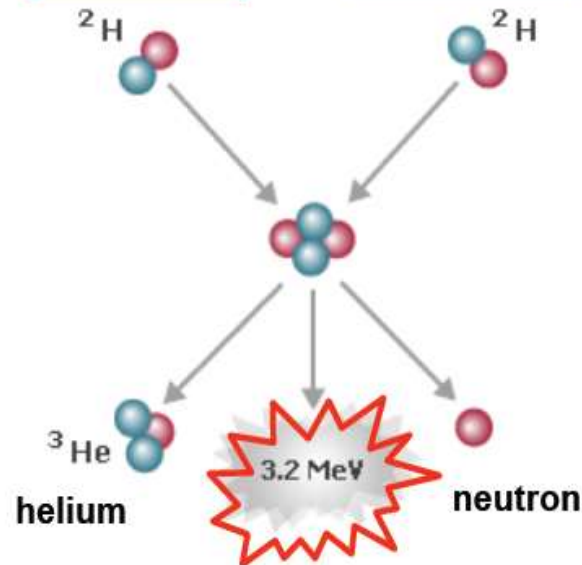
La reazioni di Fissione e Fusione liberano energia

Fission



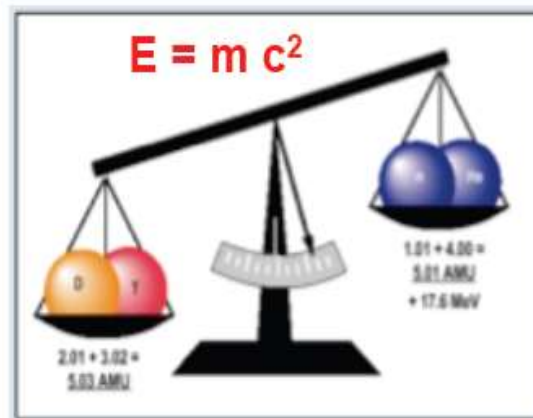
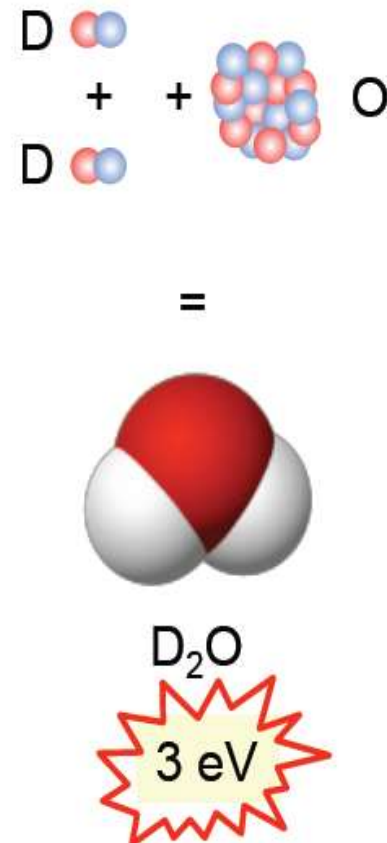
↑
~0.1% mass
converted to
energy

Fusion



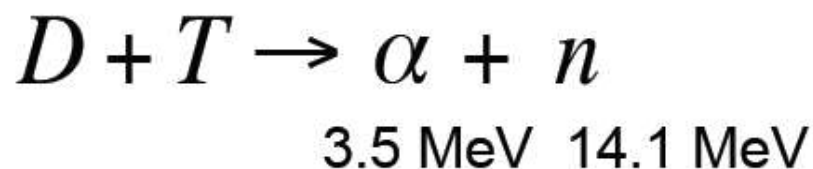
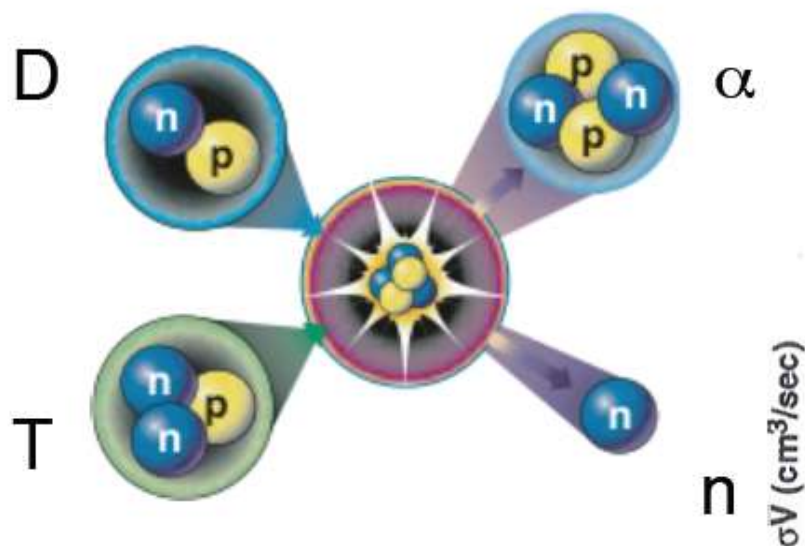
↑
~0.4% mass
converted to
energy

Chemical



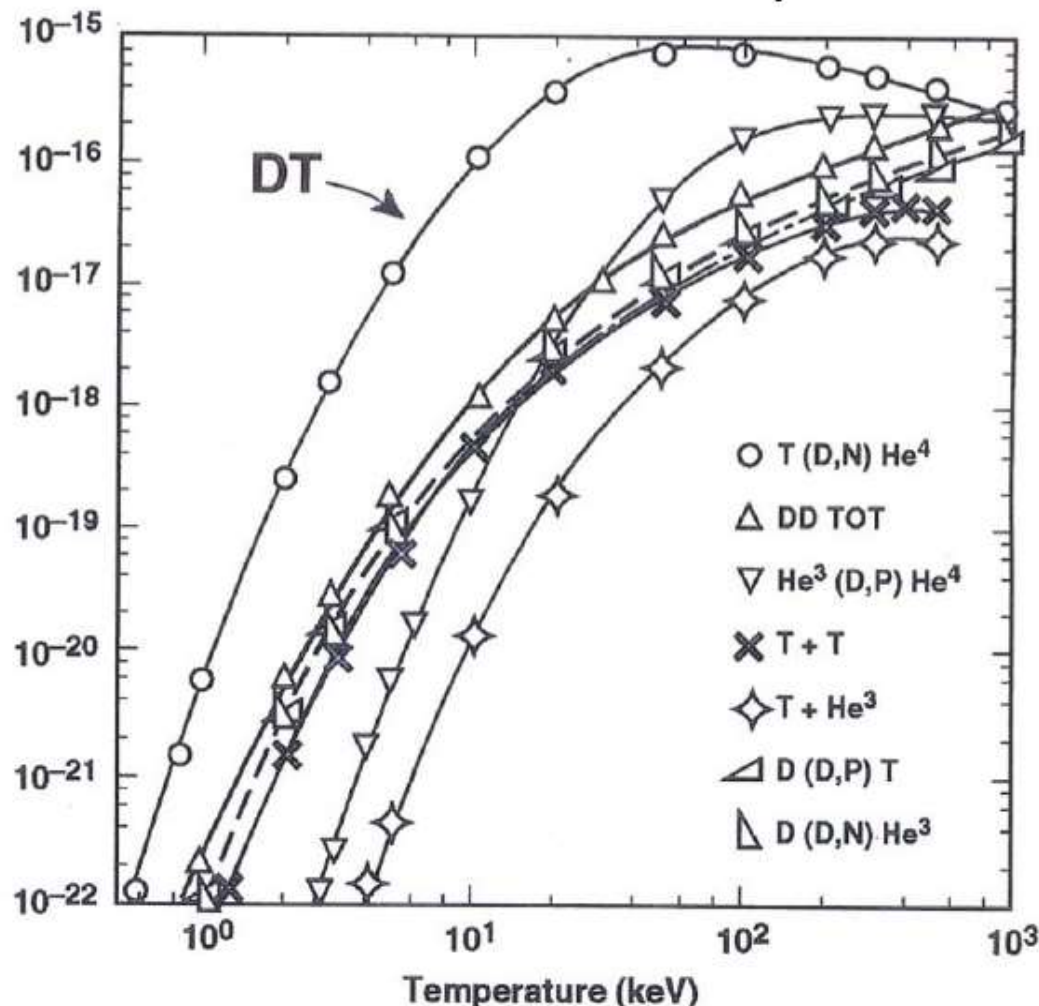
Fusione nucleare: la forza di repulsione Coulombiana richiede grande energia (temperatura) per essere vinta

1 keV = 10 milioni di gradi



$$Q_{\text{Fusion}} = 3.3 \cdot 10^{11} \text{ J / g}$$

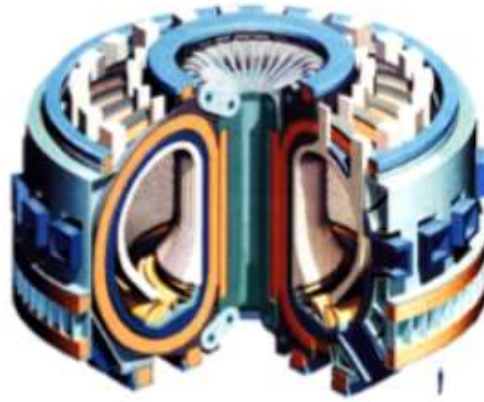
Fusion Rate vs DT Temperature



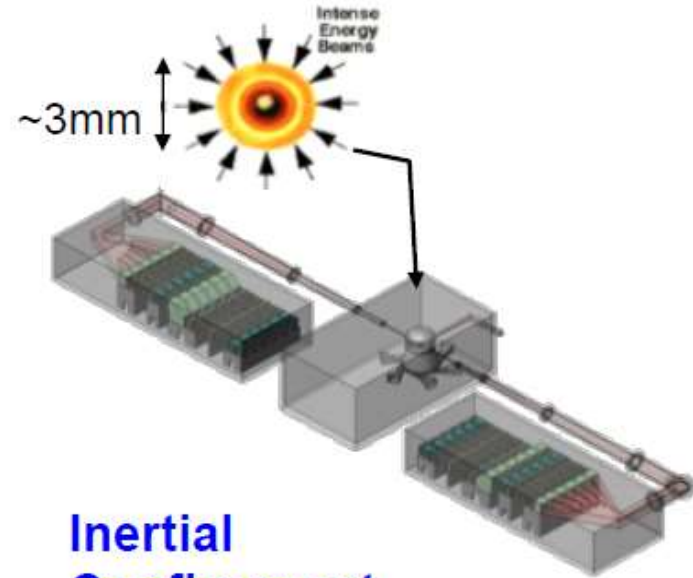
Le possibilità di Fusione Nucleare



Gravitational
Confinement

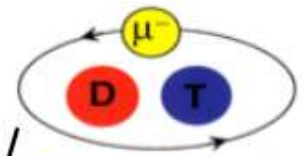


Magnetic
Confinement



Inertial
Confinement

		Density	Temperature	Confinement Time
“Thermo-nuclear”	Magnetic	solid/ 10^8	10keV	seconds
	Inertial	$10^3 \times$ solid	10keV (t=0)	10's picoseconds
	Gravitational	$10^4 \times$ solid	1keV	10^5 years
	Coulomb Barrier Reduction	solid	100's °C	Not applicable



Muon-catalyzed
fusion

Per realizzare la fusione nucleare occorre portare il combustibile (D e T) ad altissime temperature

- **Nel sole**, la reazione di fusione nucleare avviene a più di 10 milioni di gradi e la forza gravitazionale enorme gioca un ruolo fondamentale per la fusione dei nuclei
- **Sulla terra** occorre raggiungere/avere
 - Altissime temperature del plasma: 100 - 150 milioni di gradi
 - Bassa densità del plasma : 10^{-5} della densità dell'aria
 - Un buon confinamento dell'energia prodotta: 10 s
- In questo modo si rispetta **il criterio di Lawson** (la legge per ottenere la fusione nucleare)

$$n \cdot T \cdot \tau > 10^{21} \text{ KeV} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}$$

- I due metodi più promettenti sono
 - **La fusione a confinamento inerziale**
 - **La fusione a confinamento magnetico**

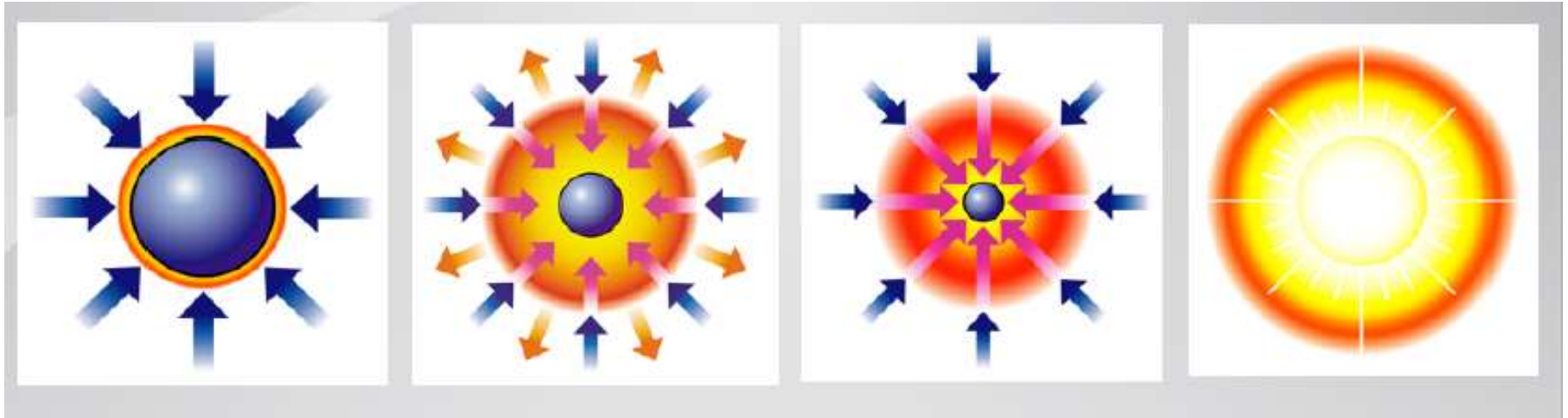
Fusione Inerziale (cenni)

Irraggiamento della
superficie
Formazione del plasma
Ablazione

Implosione
Compressione
Aumento di temperatura

Ignizione
Inerzia dei nuclei di D e T
consente un numero di
reazioni di fusione

Fusione
Bilancio energetico
positivo
La miscela DT si espande
e si diluisce



- Fasci di raggi laser di alta potenza o fasci di particelle accelerate focalizzati su una microsfera di alcuni millimetri di diametro contenente come combustibile una miscela di deuterio e trizio allo stato solido (criogenico)
- Quest'energia viene trasferita uniformemente alla superficie della sferetta che evapora e, secondo **il principio di azione e reazione**, il combustibile viene compresso e riscaldato.
- Si realizza così la condizione di altissima temperatura e relativa alta densità del plasma anche se per tempi di confinamento molto brevi.

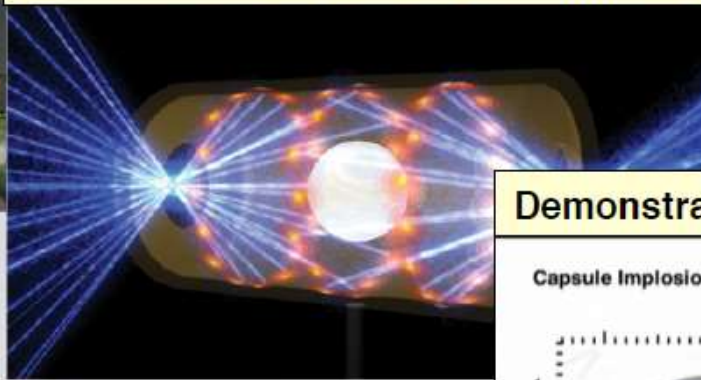
Ricerca soggetta in parte al segreto militare

Fusione Inerziale: National Ignition Facility (NIF) si sviluppa in 4 passi fondamentali

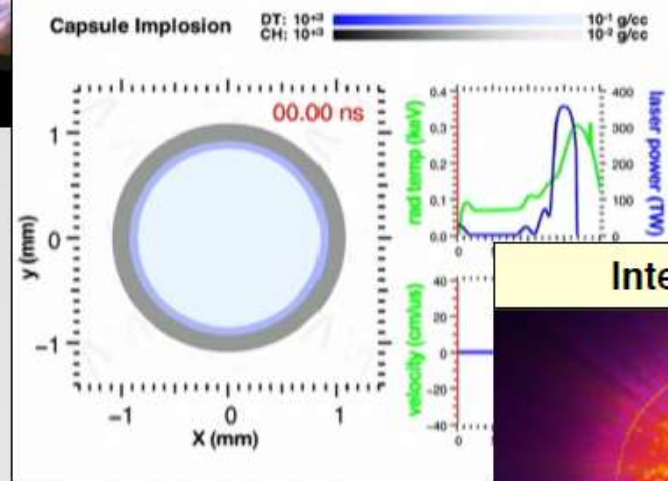
Demonstrate Laser Performance



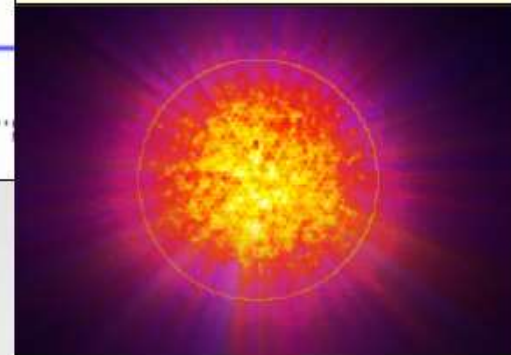
Demonstrate Hohlraum Performance



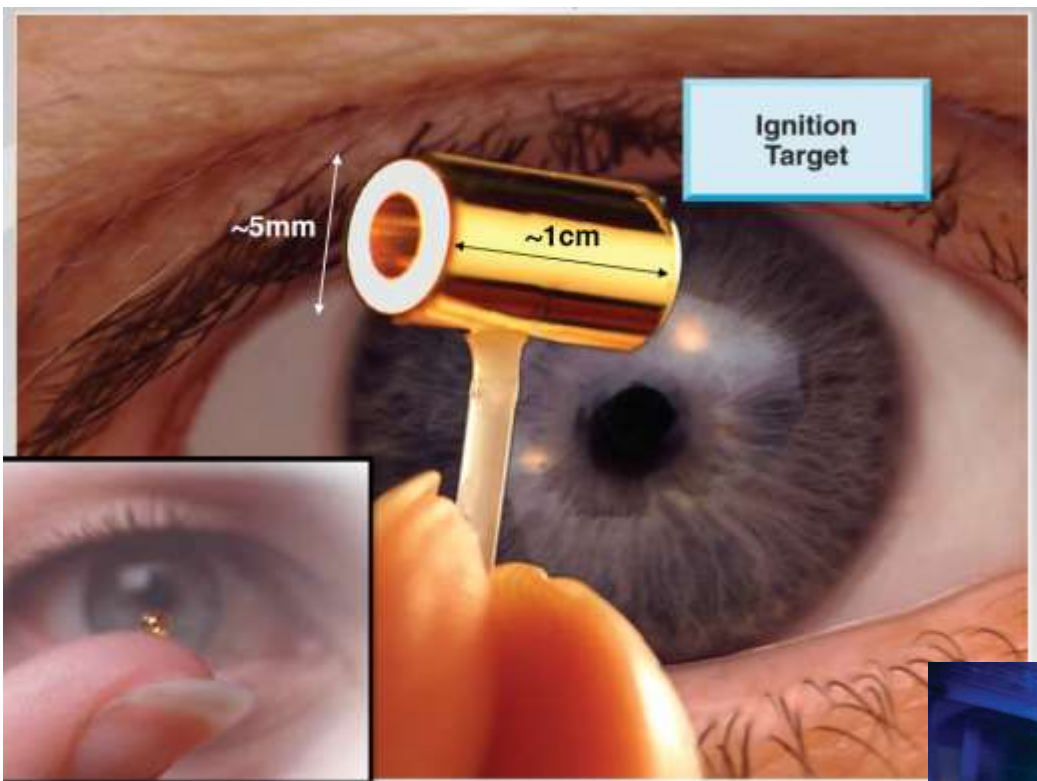
Demonstrate Capsule Performance



Integrated Test

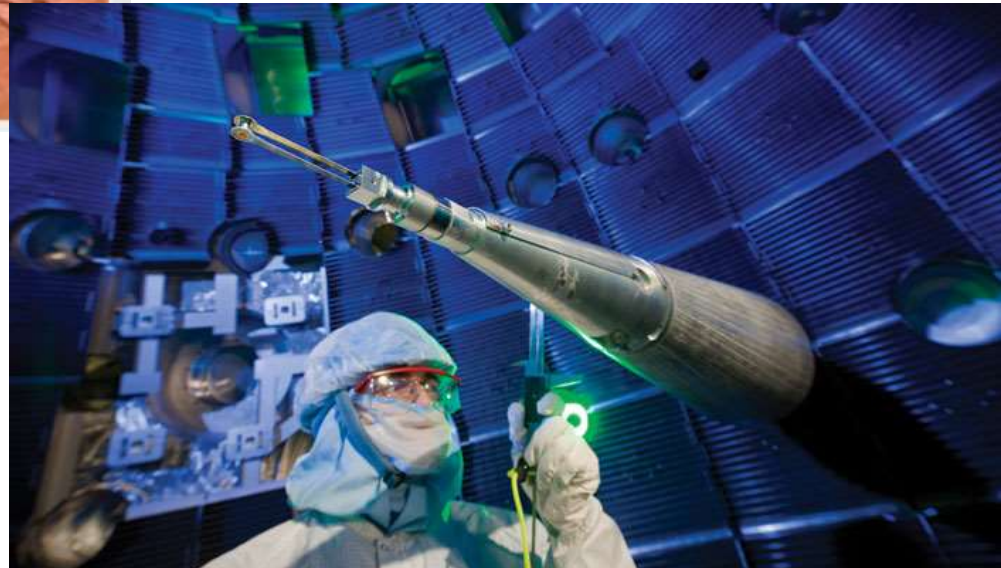
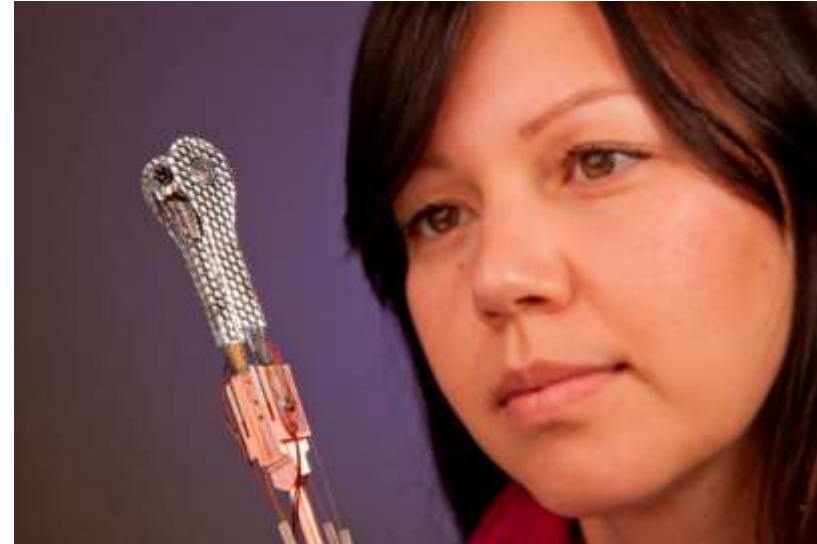


Capsula di combustibile D-T

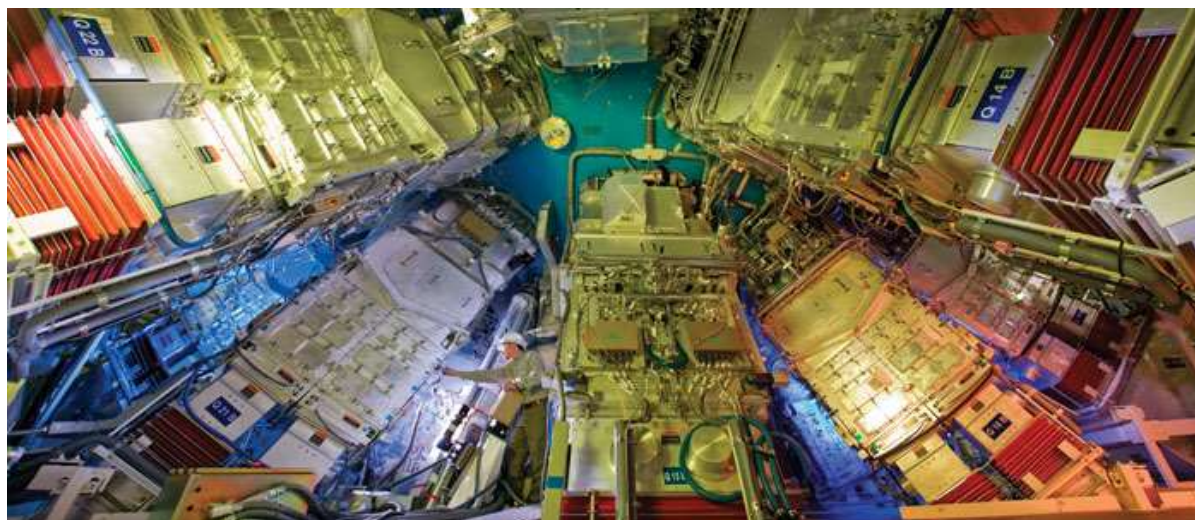
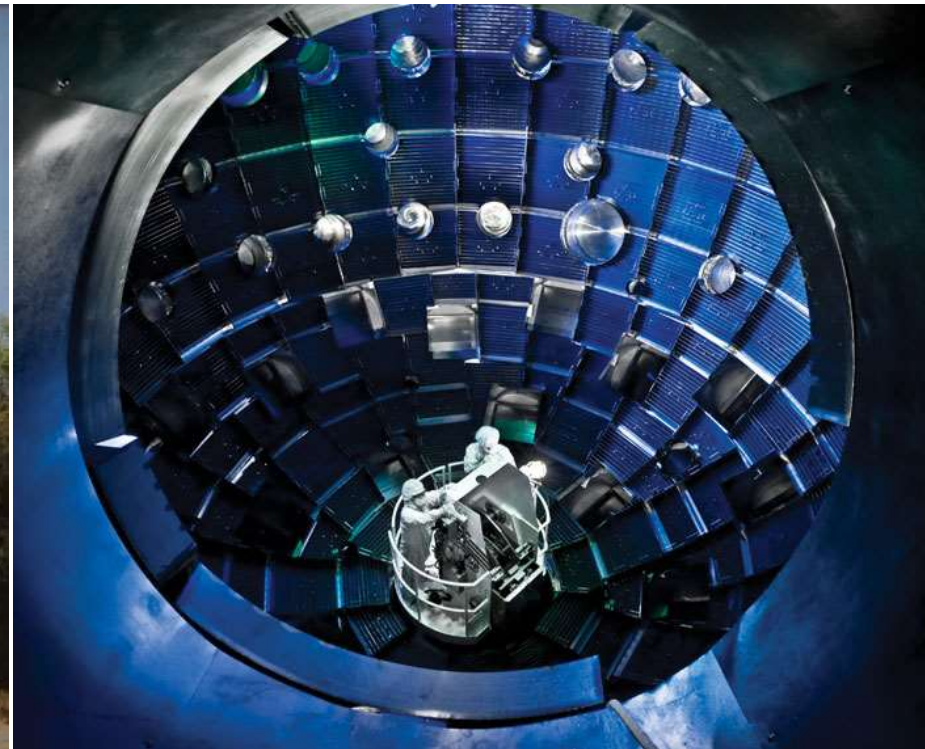
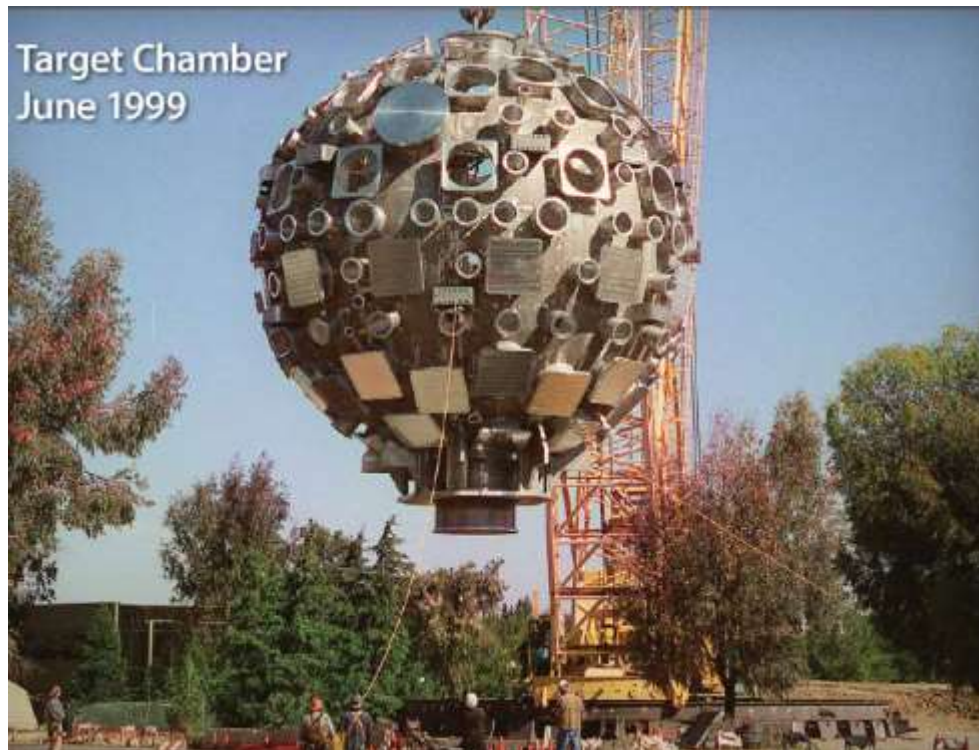


**Capsula di D-T criogenica (ghiacciolo)
dentro un contenitore**

Posizionamento della capsula nella
camera per l'allineamento con i laser
(precisione spessore di un capello)



La camera sperimentale del NIF



NIF : I lasers

NIF Laser Bay : each of NIF's two identical laser bays has two clusters of 48 beamlines, one on either side of the utility spine running down the middle of the bay.



NIF è situata presso il LLNL



La Fusione a Confinamento magnetico

E' il metodo più promettente per ottenere la fusione nucleare

- Forti ed opportuni **campi elettromagnetici** in grado di produrre, controllare e riscaldare il plasma (gas di deuterio e trizio) ad altissime temperature, utilizzando le leggi fondamentali dell'elettromagnetismo (Maxwell, Lorentz, Faraday-Newmann)

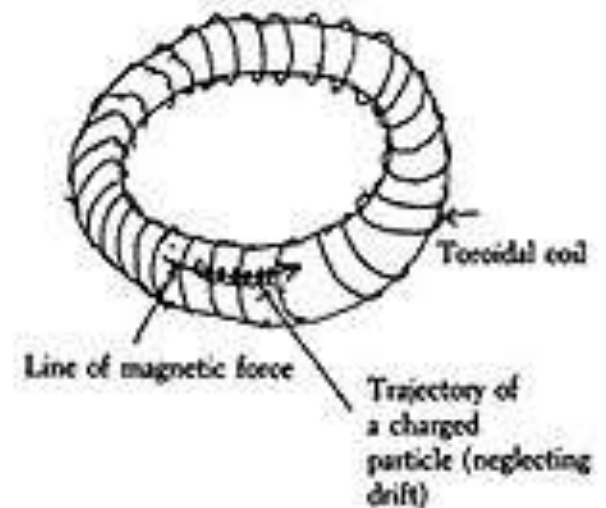
Es.: $\mathbf{F} = -e \cdot \mathbf{v} \times \mathbf{B}$

Due metodi principali sviluppati:

- Tokamaks** (acronimo russo per camera toroidale con bobina magnetica), da un'idea degli scienziati russi Sakharov e Tamm degli anni cinquanta
- Stellarator**, meno sviluppato come alternativa

Comunità scientifica aperta a tutto il mondo

- Nel 1956 i Russi resero pubblici questi esperimenti ad Harwell (UK)
- Fusione nucleare a confinamento magnetico costituita da una comunità scientifica aperta alla collaborazione con interscambio di scienziati e tecnologie tra laboratori di ricerca e università di tutti paesi
- Un mondo "ideale" di messa a comune delle proprie conoscenze per il bene dell'umanità



Disegno di Sakharov del tokamak

(1950)

Andrej Sakharov, padre della bomba H russa, grande scienziato, difensore dei diritti civili, premio Nobel per la pace 1979
Premio Sakharov 2013

- Nelson Mandela*
- Aung San Suu Kyi*
- Malala Yousafzai*



La Fusione a Confinamento magnetico: il Tokamak

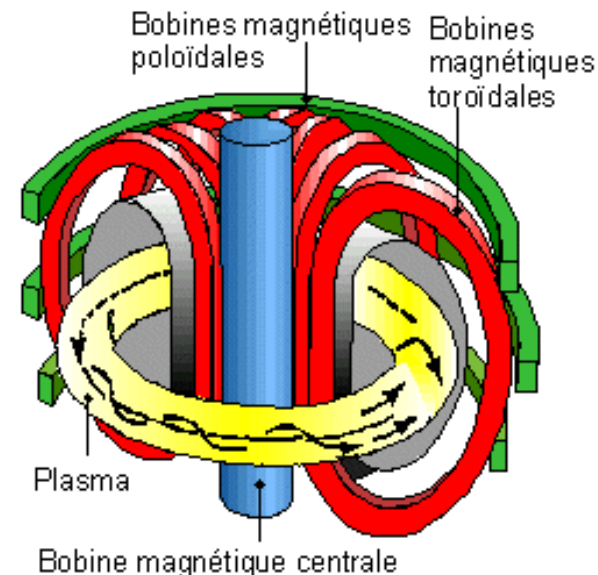
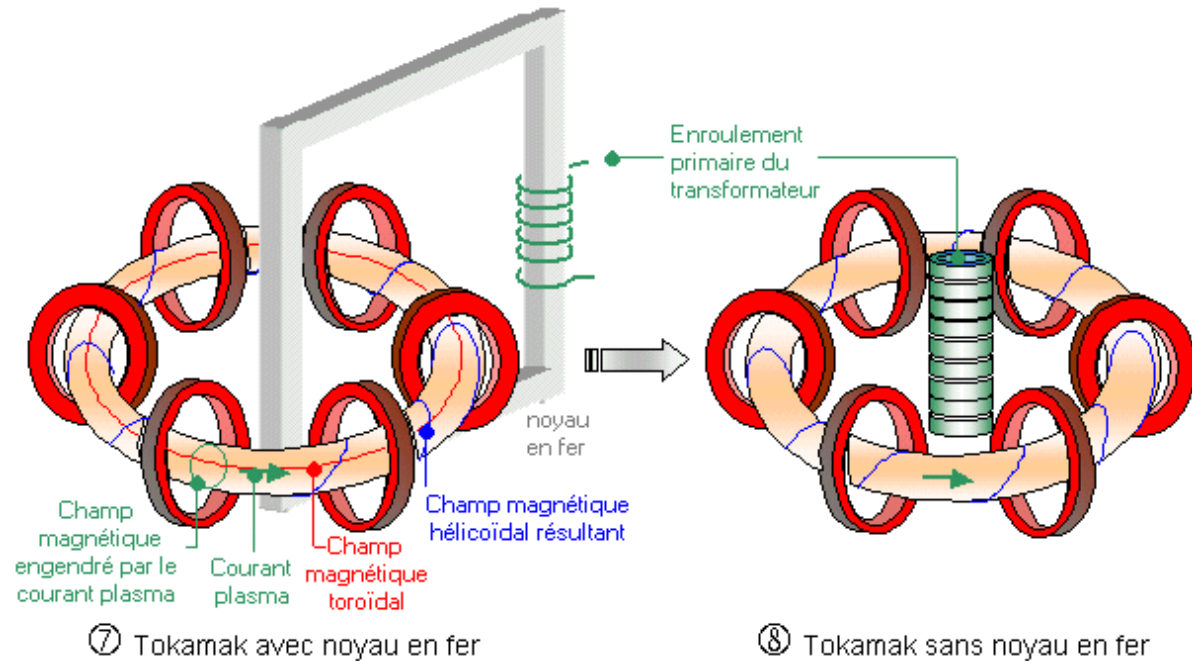
Generazione del plasma

- Il plasma è ~ il secondario del trasformatore: variando la corrente nel primario, nel secondario nasce una corrente indotta

Stabilizzazione-controllo del plasma

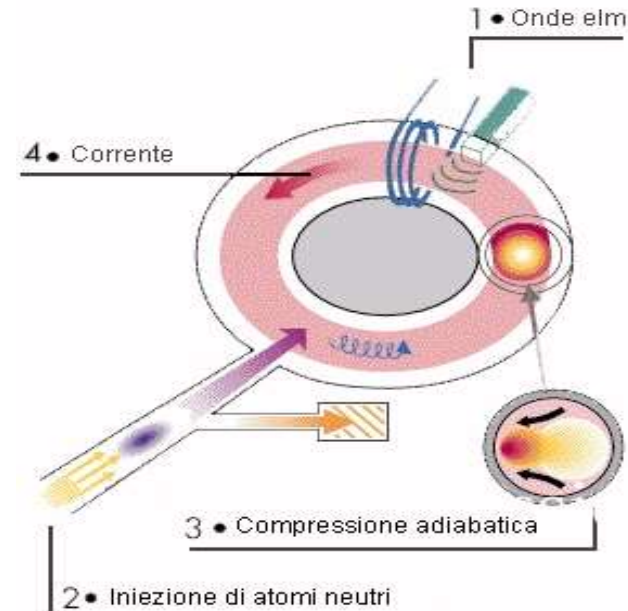
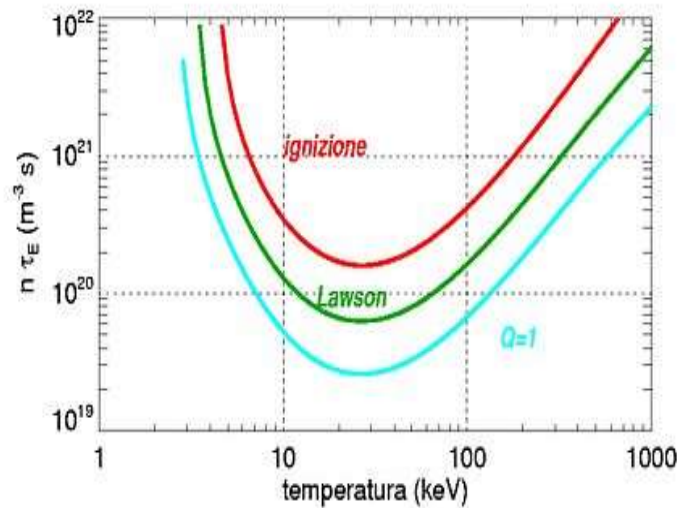
- Le bobine toroidali, che avvolgono la camera da vuoto, producono un campo magnetico toroidale sulle cui linee si avvolgono le particelle del plasma
- Le bobine poloidali che producono un campo in grado di controllare forma e posizione del plasma

Il risultato è la creazione di superfici magnetiche interne alla camera da vuoto che confinano il plasma e forze stabilizzanti che controllano le instabilità del plasma



Riscaldamento del plasma essenziale per ottenere la fusione

- **Riscaldamento Ohmico o resistivo:** il plasma è una corrente elettrica indotta come nel secondario di un trasformatore: pertanto (come una stufa elettrica) si riscalda per effetto Joule (circa 10 milioni di gradi)
- **Riscaldamento a Radiofrequenza:** delle antenne trasmettono al plasma delle onde elettromagnetiche alla frequenza di risonanza degli ioni o degli elettroni aumentandone in modo consistente la temperatura
- **Riscaldamento per iniezione di neutri:** fasci di ioni creati ed accelerati, dopo la neutralizzazione entrano nella camera da vuoto e trasmettono energia agli ioni del plasma collidendoli
- **Per compressione adiabatica del plasma,** ottenuta spostando il plasma verso regioni a campo magnetico più forte, con conseguente riscaldamento.

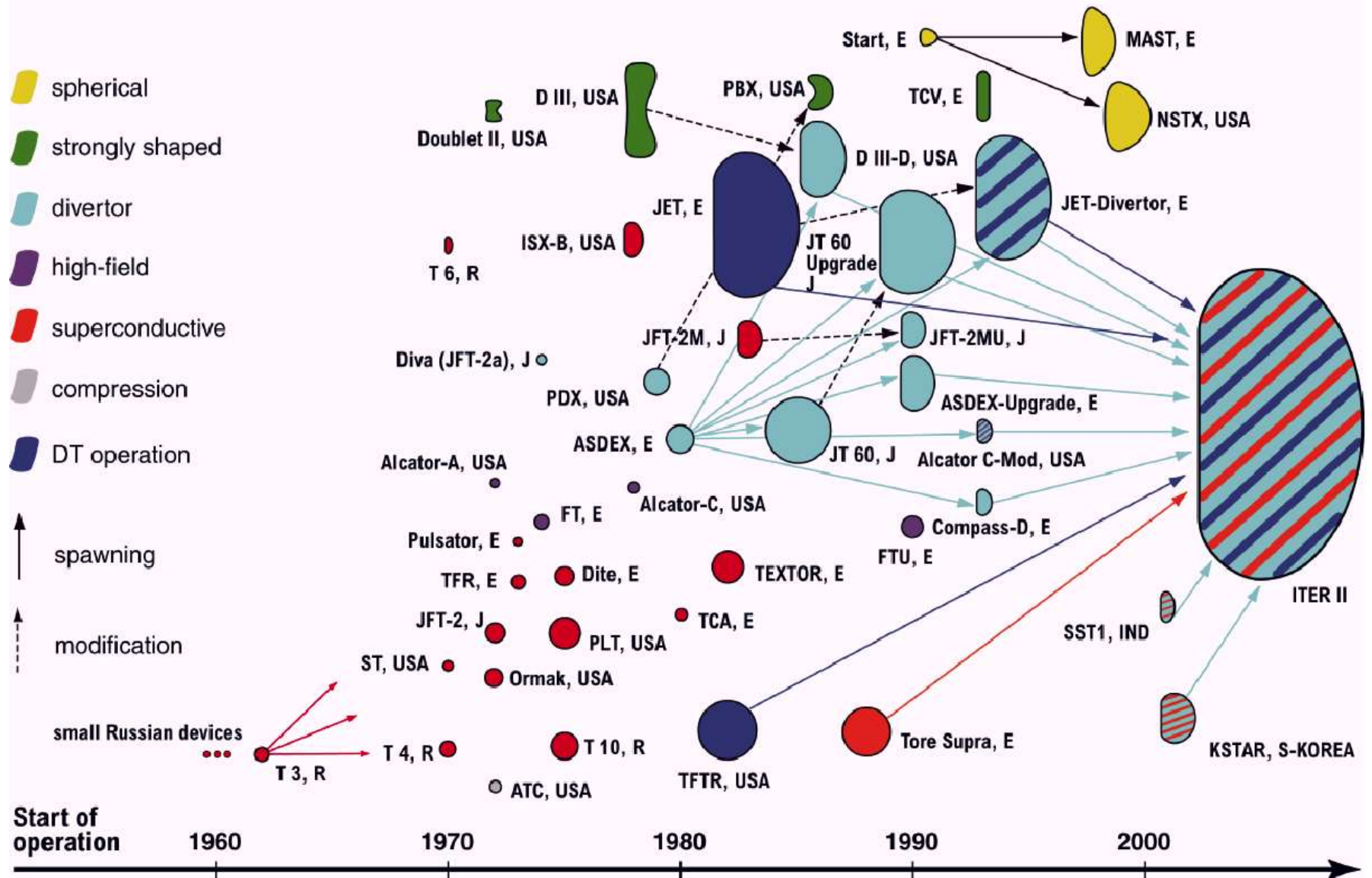


Quando l'energia prodotta nel plasma compensa l'energia perduta si dice che si è
raggiunta l'ignizione

- [Video funzionamento tokamak](#)
- [Video Plasma Tore Supra.MPG](#)

Lo sforzo della ricerca: impianti a fusione sempre più grandi

Mayor Tokamak Facilities



JET (Joint European Torus): Il tokamak più grande in funzione

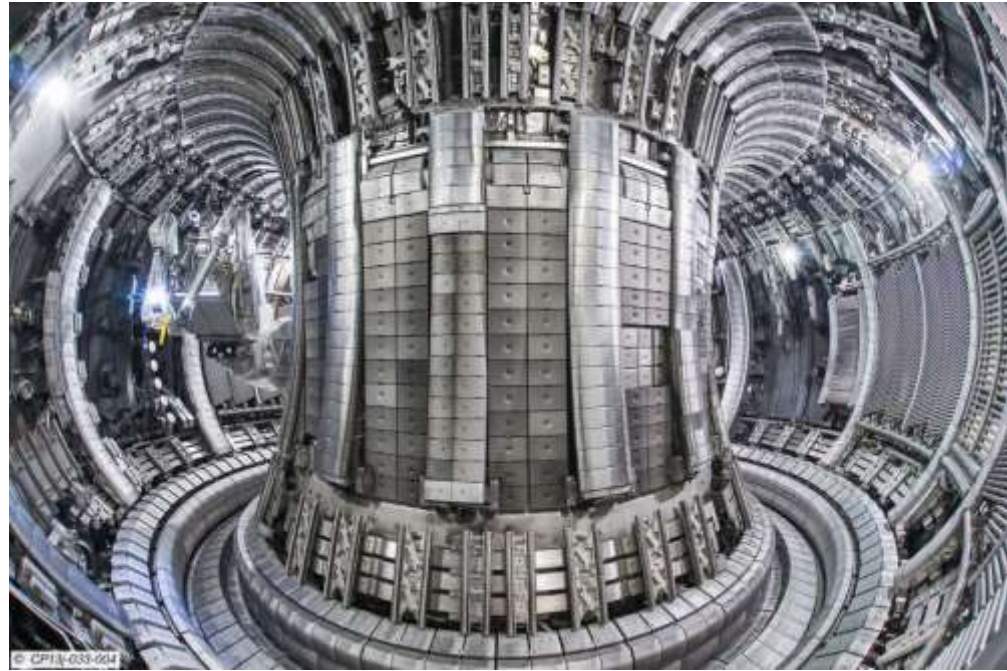
1973 – Inizio del progetto

1977 – 1983 Costruzione a Culham (15 km da Oxford)

1997 - JET produce **16 megawatts di energia da fusione nucleare**

1998 – Introdotta la piena teleoperazione (Remote Handling) per i lavori (manutenzione-ispezione) dentro la camera da vuoto

2009-2011 Installazione di ITER-Like Wall



<https://www.youtube.com/watch?v=HPfRlc4acHI>

RH

<https://www.youtube.com/watch?v=1JST9filsbA>

A walkthrough JET VV

<https://www.youtube.com/watch?v=rnU6TqnCUUc>

JET and Fusion

<https://www.youtube.com/watch?v=3C5hFQeZCT4>

pulse at JET

Il progetto ITER – la sua Storia

Un segno di fine della guerra fredda....

“...per il bene dell’Umanità”



1985: al summit di Ginevra **lanciata** l’idea di costruire ITER dai presidenti Gorbachev e Reagan come uno sforzo internazionale comune per sviluppare la fusione nucleare

.... “come una sorgente di energia inesauribile per il bene dell’umanità”

1990-2005 Progettazione supportata da ricerche ed esperimenti da tre gruppi di lavoro a San Diego, Naka (vicino a Tokyo) e Monaco.

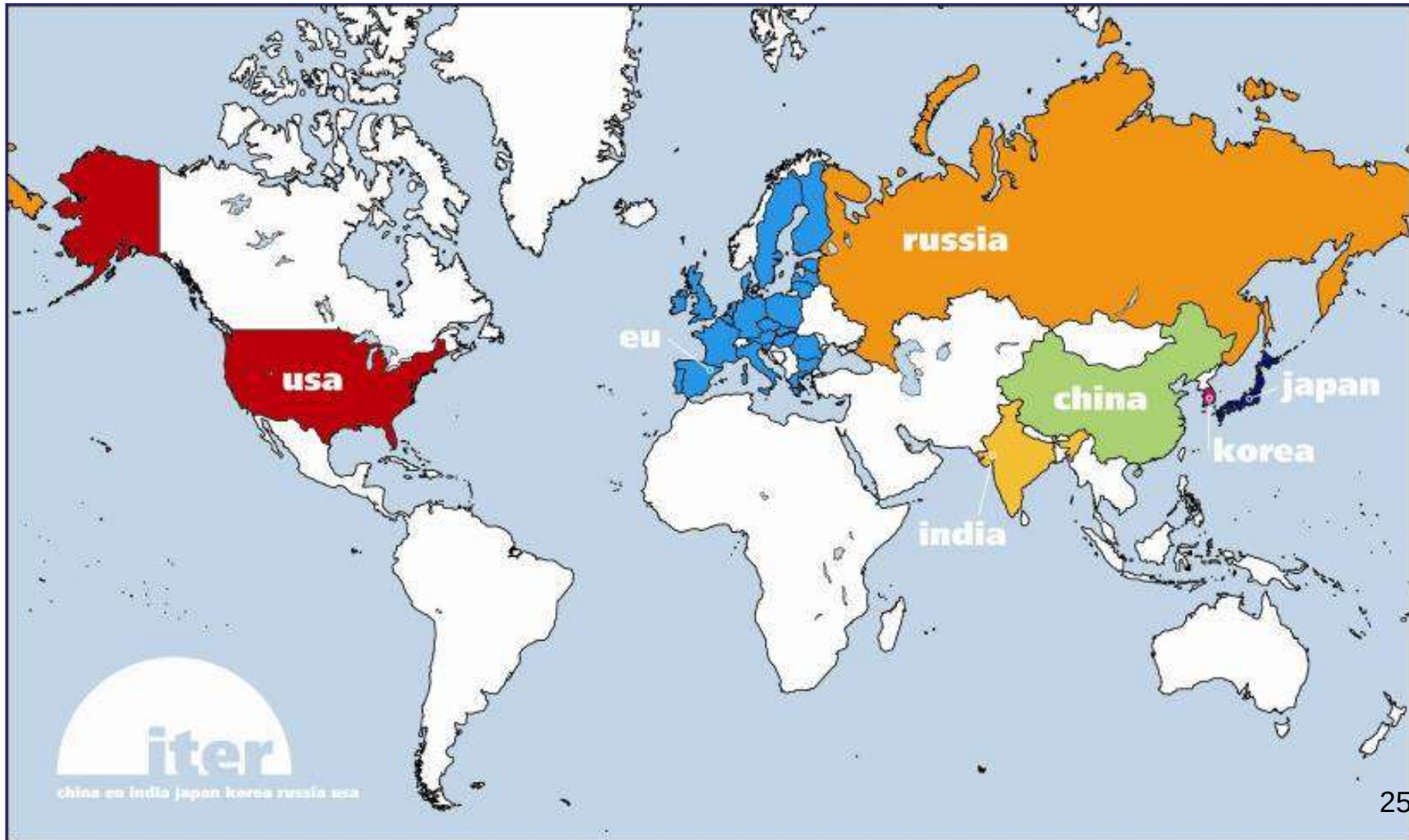


21 Nov 2006 Cina, Europa, India, Giappone, Corea del Sud, Federazione Russa e Stati Uniti d’America **firmano l’accordo** su ITER all’Eliseo (Parigi)

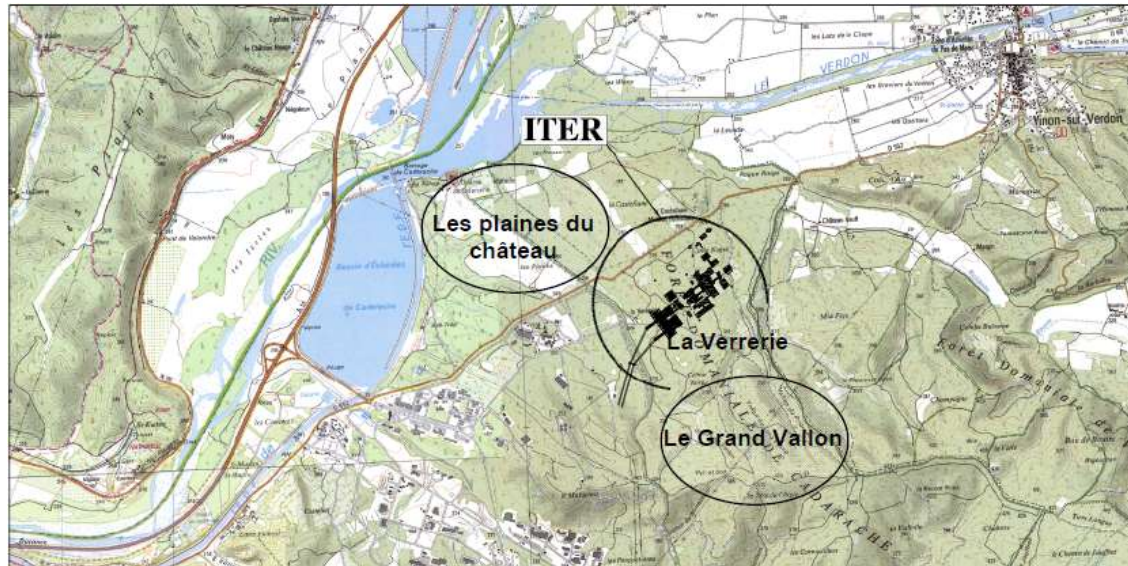
2007 inizia la costruzione vera e propria di ITER a Cadarache, 70 km da Marsiglia a fianco un grande centro di ricerca nucleare ed ambientale francese (CEA-Cadarache)

ITER – una collaborazione a livello mondiale

Sette grandi nazioni e unione di stati (con una popolazione superiore al 50% di quella mondiale) coinvolte nella costruzione ed esercizio di ITER



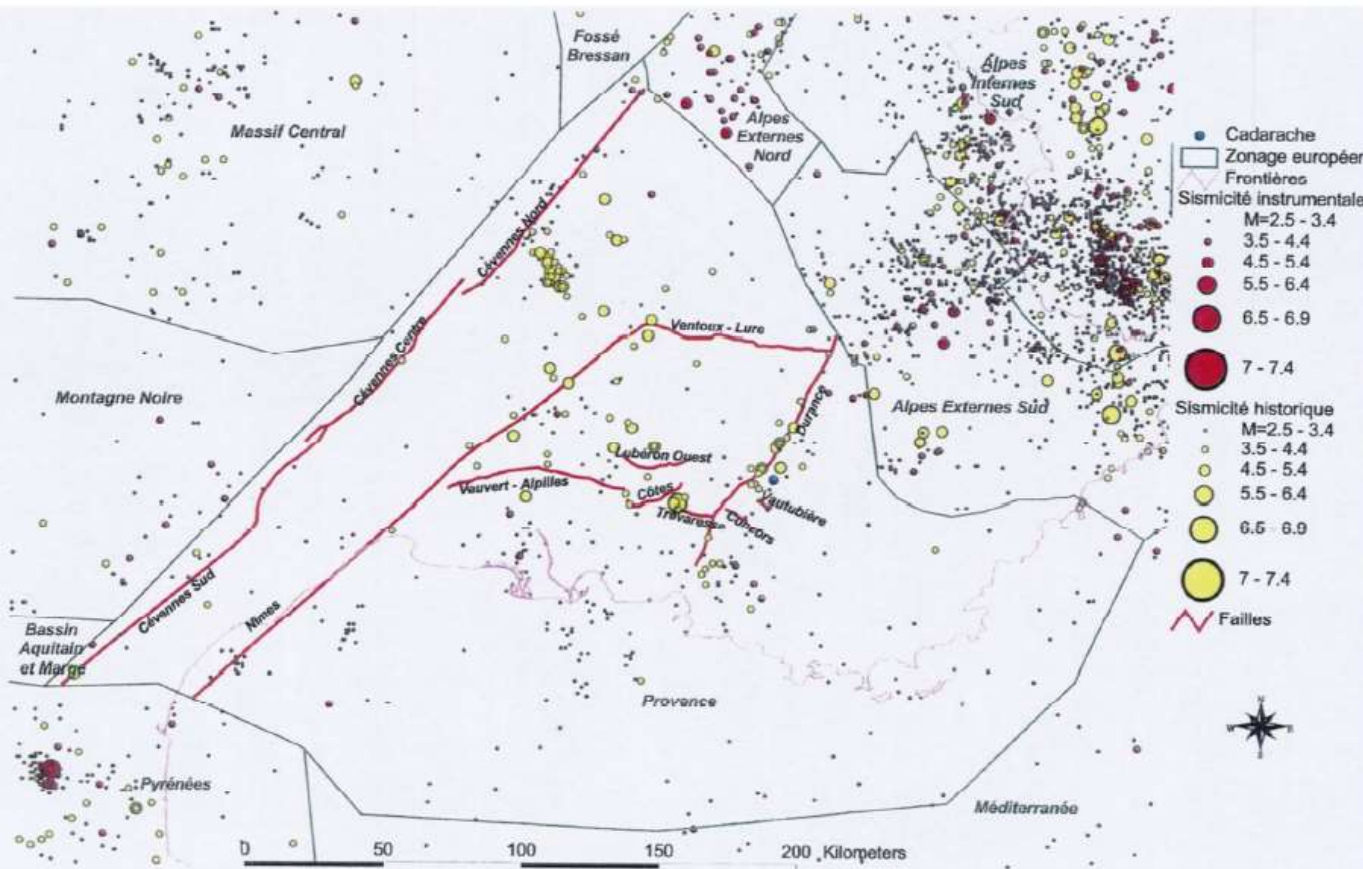
La selezione del sito di ITER



Esigenze

Grande superficie disponibile: 180 ettari (1,8 km ²)	Edifici e sistemi di grandi dimensioni, (≥ 60 ettari)
Qualità-resistenza del terreno : roccioso ≥ 100 t/m ²	Componenti ed edifici molto pesanti: camera da vuoto pesa 8000 tonnellate
Vicinanza di autostrade e porti : a 2 e 70 km rispettivamente	I componenti dai paesi partner trasportati per nave e quindi per strada
Energia elettrica di grande potenza ed affidabilità: 2 grandi linee a 400 kV dalla rete francese ed europea	Per il suo funzionamento ed in particolare per il riscaldamento del plasma ITER richiede grandi quantità di energia
Disponibilità di molta acqua : canale della Provenza	Occorre refrigerare componenti, grandi quantità di fluidi criogenici, etc.
Ambiente con background scientifico sulla fusione, ricerca e sicurezza nucleare: adiacente al grande centro di ricerca CEA	ITER ha delle caratteristiche di impianto nucleare e di un grande laboratorio di ricerca; non può svilupparsi in un “deserto”
Ambiente ricettivo dal punto di vista sociale ed economico	Oltre 1000 persone lavorano su ITER (con punte previste anche di 3-4000): scuole, case, servizi medici, attività culturali, etc...

Selezione del sito



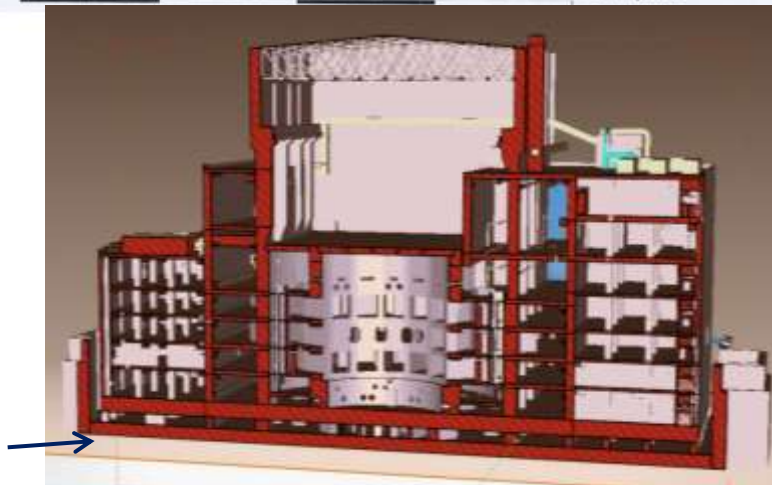
Aspetti Sismici

Il progetto considera il massimo sisma storico aumentato di un fattore di sicurezza

Alluvioni

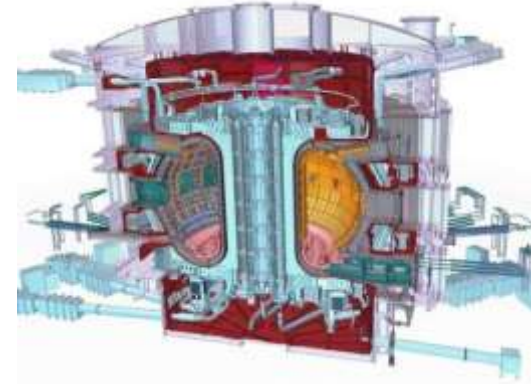
Gli edifici resistono all'alluvione derivante dal fiume 'La Durance' e dalla rottura di una diga a monte

Anti-seismic bearings

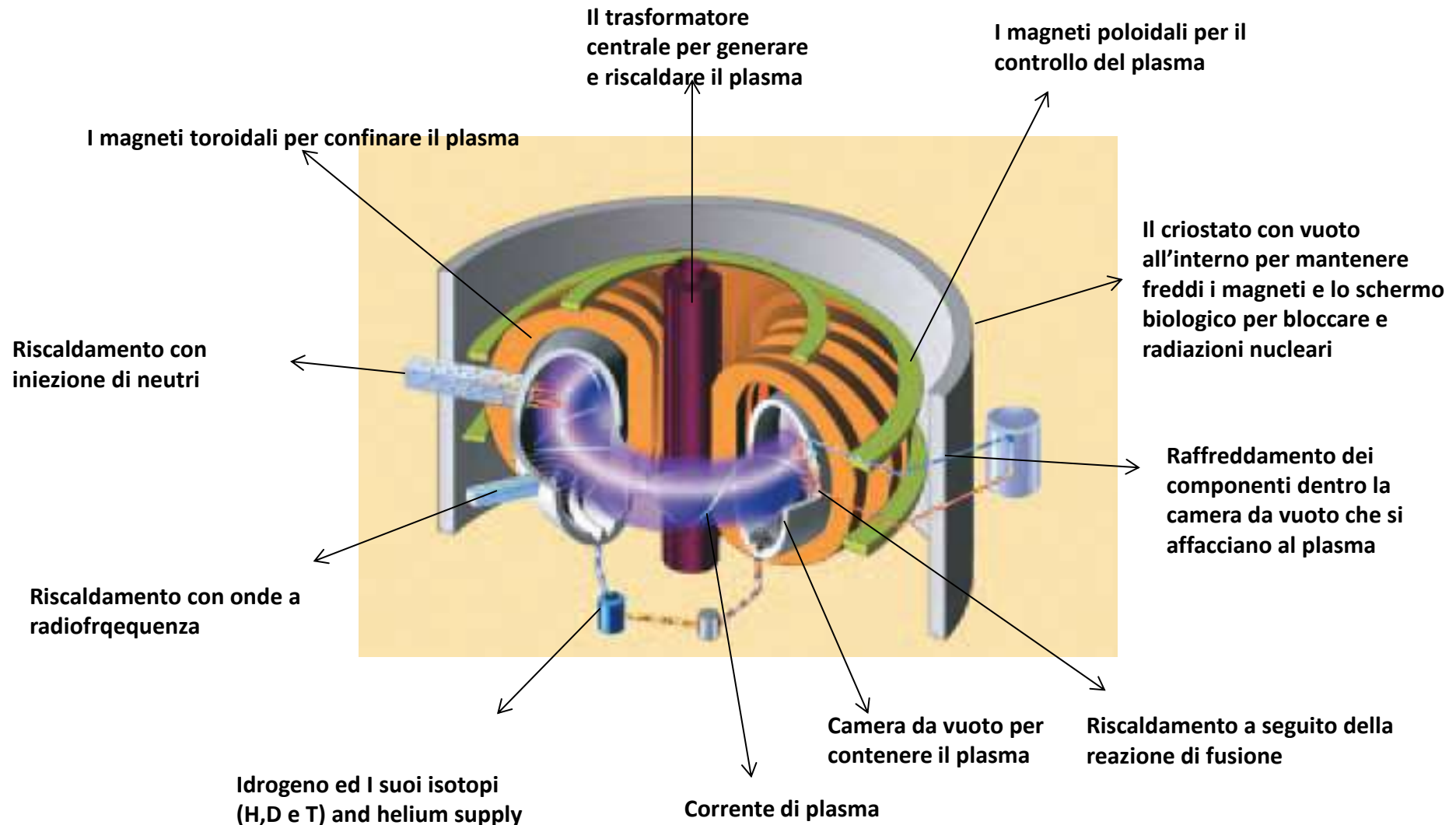


Obiettivi di ITER

- **Consolidare la conoscenza della fisica della fusione termonucleare**
 - Fisica del plasma: scenari stabili, ripetitivi, validazione delle teorie del plasma, etc...
 - Controllo del plasma per la continuità degli esperimenti ed evitare il danneggiamento dei materiali circostanti
- **Dimostrare la fattibilità tecnologica della fusione termonucleare**
 - Tecniche di costruzione e montaggio di componenti nuovi a grande scala e complessi
 - Operazione affidabile di nuovi componenti in ambiente ostile (campo magnetico, radiazioni, temperature, etc..)
 - Remote Handling molto complesso di tutti i componenti dentro la camera da vuoto
- **Dimostrare la sicurezza e la licenziabilità di un impianto a fusione**
 - Impatto ambientale trascurabile ed accettato dall'autorità di sicurezza francese
 - Sistemi di sicurezza robusti, passivi per quanto possibile e qualificabili nelle condizioni ambientali di ITER
- **Ottenere la fusione nucleare con un guadagno significativo di energia**
 - $Q > 10$ $\rightarrow$ *Input power 50 MW* *output power 500 MW*



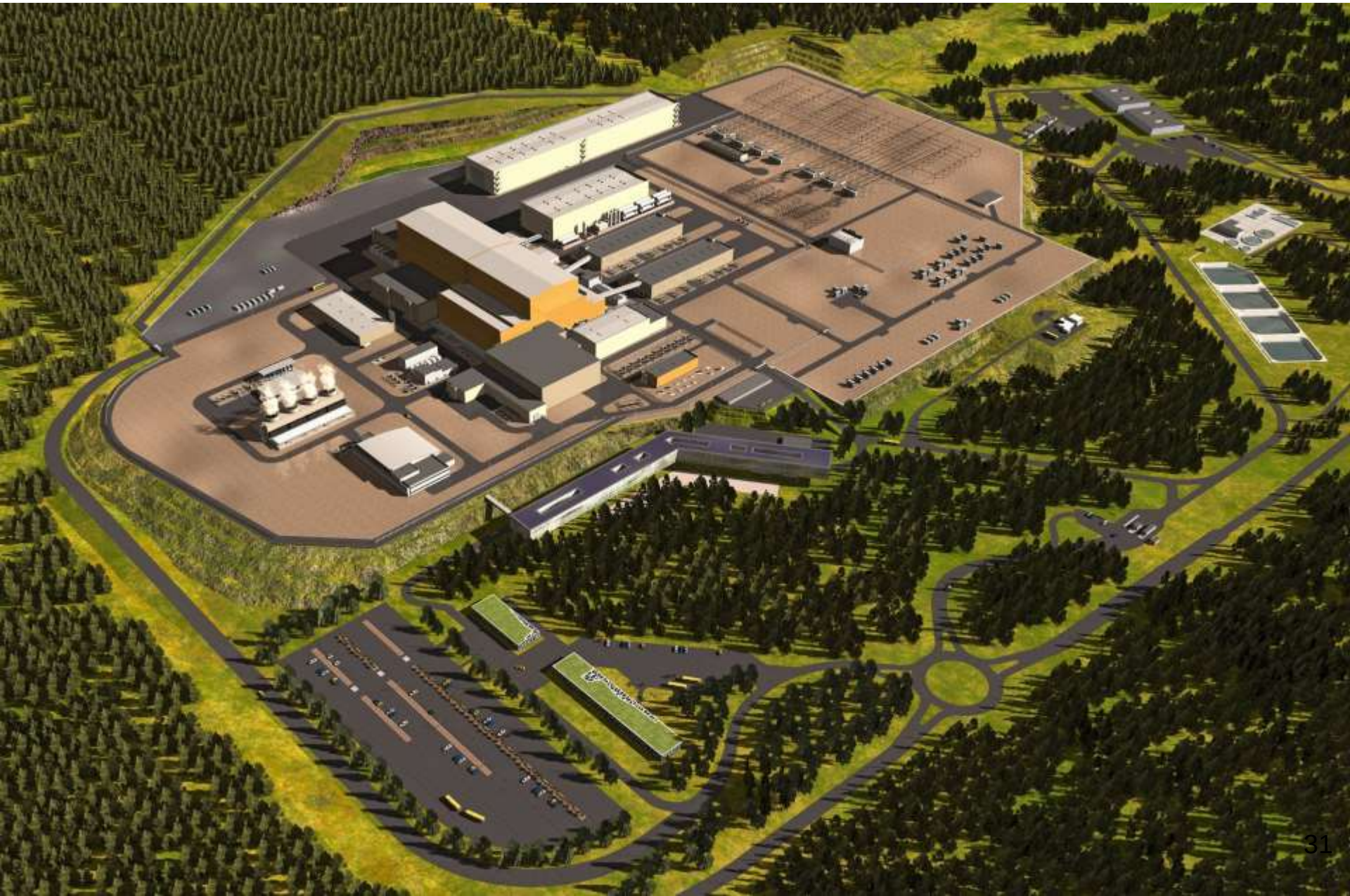
I componenti fondamentali del cuore di ITER (schematizzati)



I sistemi necessari ad ITER (ed al reattore a fusione nucleare)

- **Camera da vuoto** ed i materiali che si affacciano al plasma (prima parete, blanket, divertore) e il sistema di refrigerazione ad acqua
- **Sistema da vuoto** che fa il vuoto nella camera e laddove necessario
- **Sistema Magneti** (alimentazione elettrica e criogenica, criostato)
- **Sistema di iniezione e processamento del Combustibile** per generare il plasma (H, D, T) e di recupero del combustibile non bruciato nella reazione di fusione
- **Sistemi di riscaldamento aggiuntivo**: radiofrequenza, iniettori di neutri
- **Sistemi di diagnostica** del plasma e di acquisizione dati
- **Sistemi di alimentazione elettrica** dalla rete elettrica francese e dai generatori elettrici di emergenza e batterie di ITER per portare in sicurezza l'impianto
- **Sistema criogenico** per le grandi quantità di He a 4K per i magneti superconduttori
- **Sistemi ausiliari** (aria compressa, fluidi particolari, ventilazione e condizionamento)
- **Sistema di controllo** e coordinamento
- **Sistema di Remote Handling**
- **Celle calde** per la manutenzione (remotizzata) dei componenti radioattivi vicino al plasma
- Sistema per il trattamento e conservazione dei **rifiuti radioattivi**
- **Schermo biologico**
- **Sistemi di sicurezza**: confinamento dei materiali radioattivi, monitoraggio di condizioni anomale dei sistemi, di rilascio di materiali attivati negli edifici e nell'ambiente e messa in sicurezza automatica. Controllo degli accessi a zone con rischio per il personale
- **Gli Edifici**

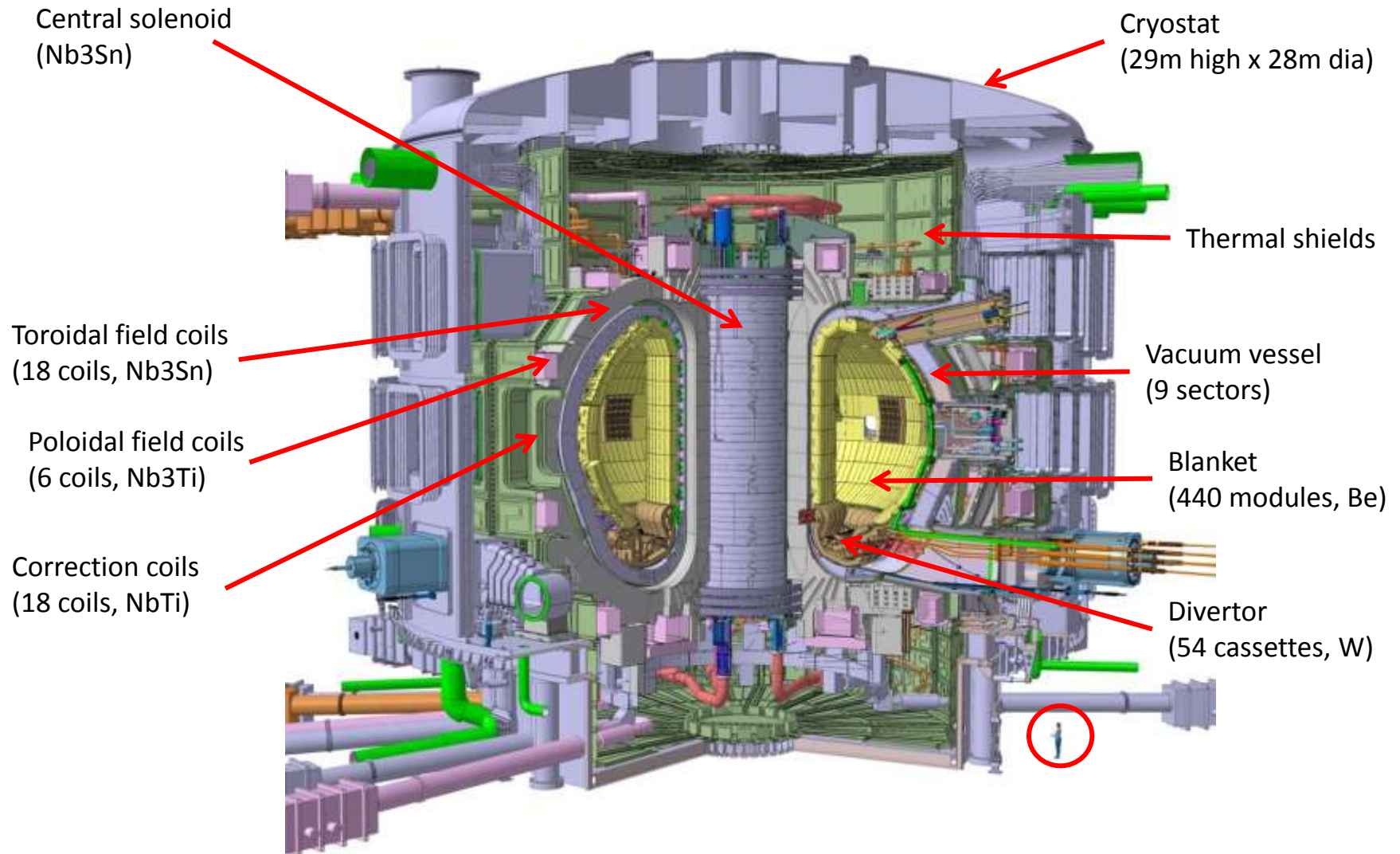
Dove saranno ubicati questi sistemi?



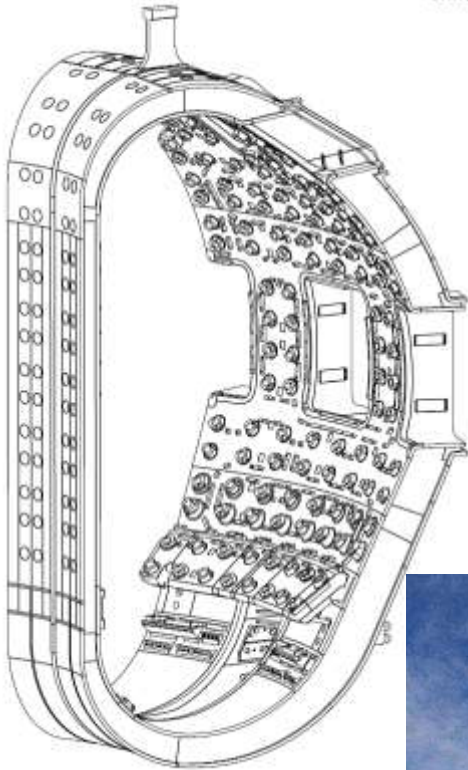
Come apparirà ITER?



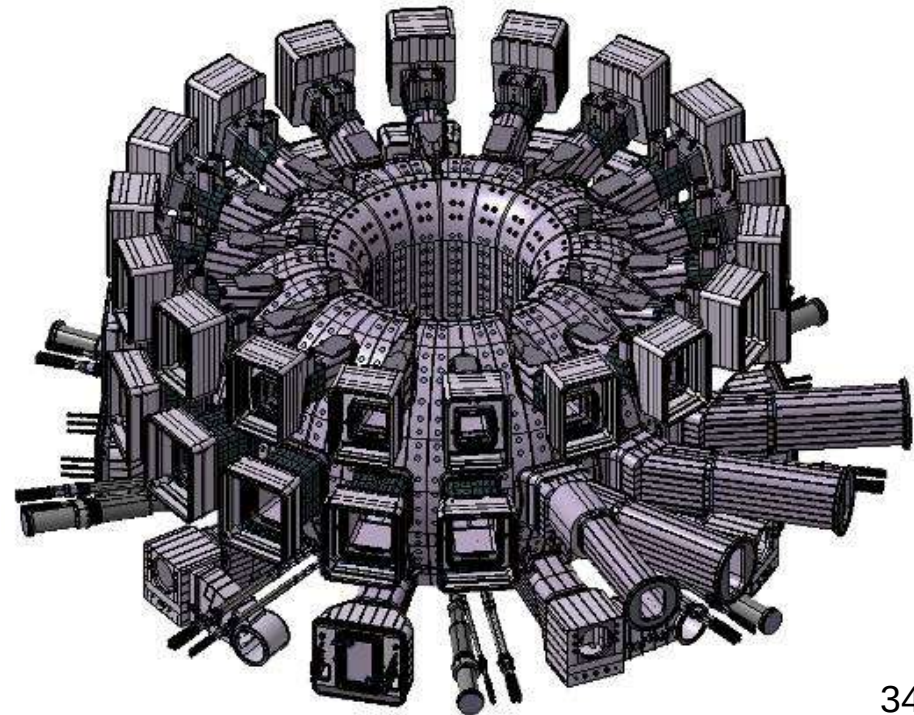
I componenti di ITER (il 'cuore')



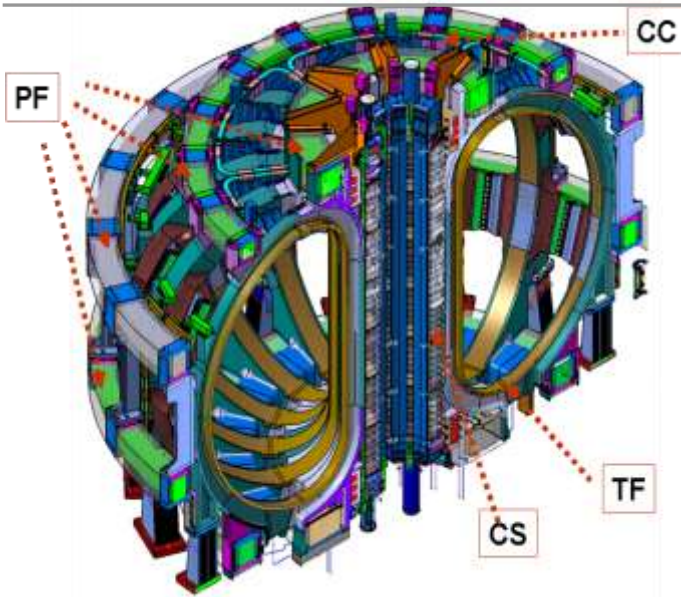
I sistemi principali: la camera da vuoto



- Viene prodotto il vuoto prima di generare il plasma
- Ha anche l'importante funzione di sicurezza di contenere i prodotti radioattivi che si producono a seguito della reazione di fusione

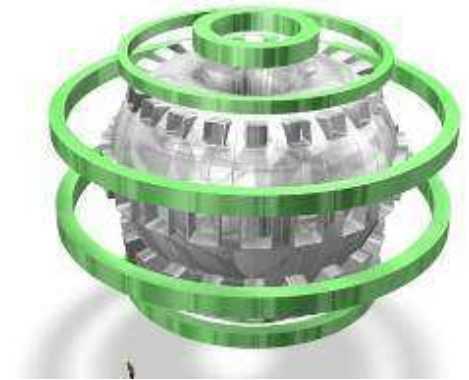


I sistemi principali: i Magneti

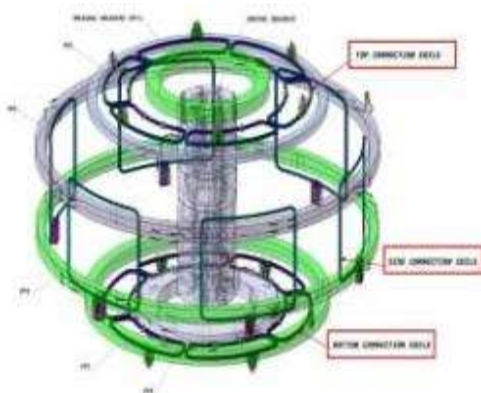


**18 Magneti toroidali
(EU & JP)**

48 magneti superconduttori
- ~ 9800 ton
- ~ 187 km di conduttore
11.8 T (max. campo TF)
68 kA : la corrente in TF
51 GJ: l'energia magnetica



6 bobine poloidali (EU&RF)



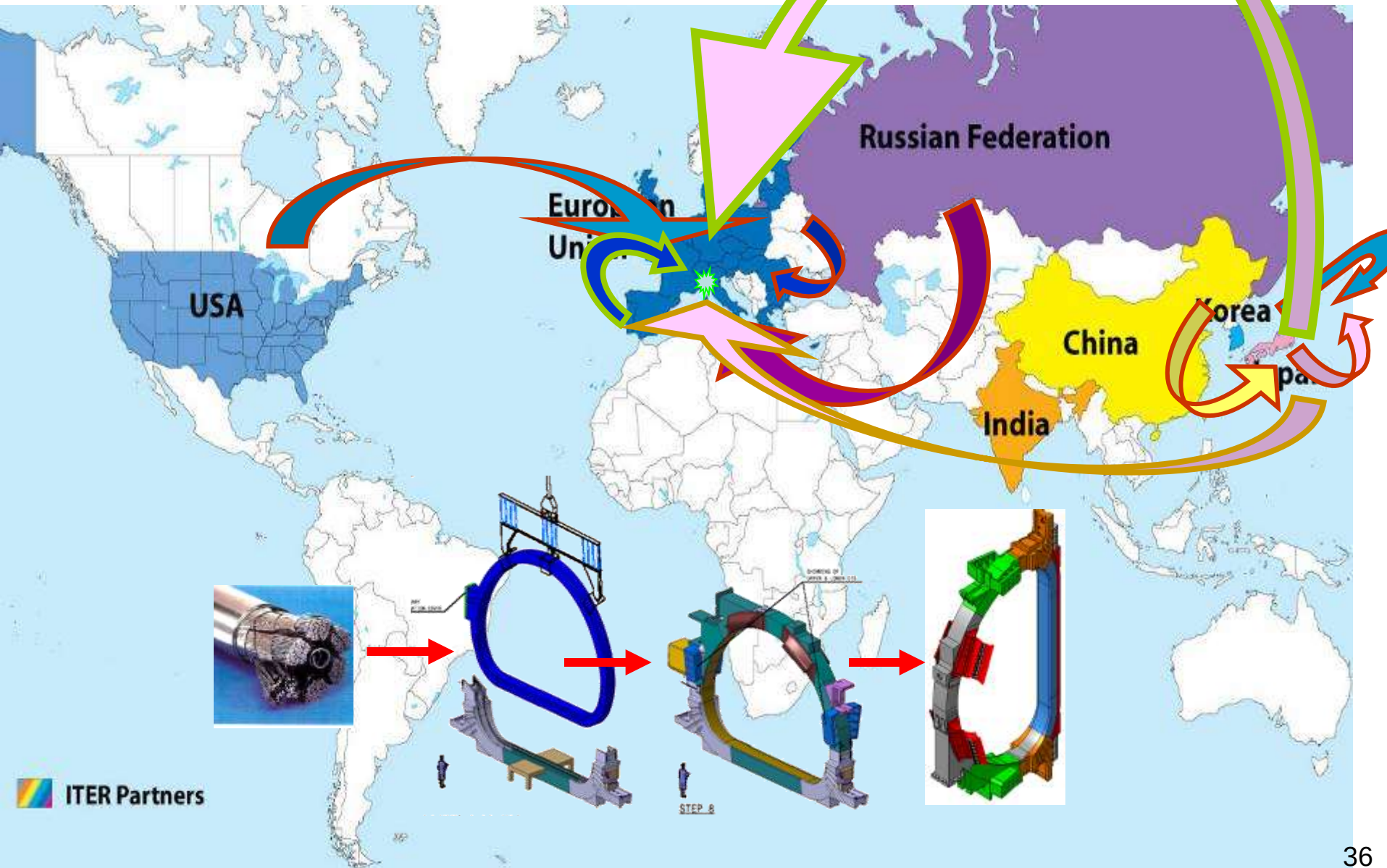
9 coppie di bobine correttive (CN)



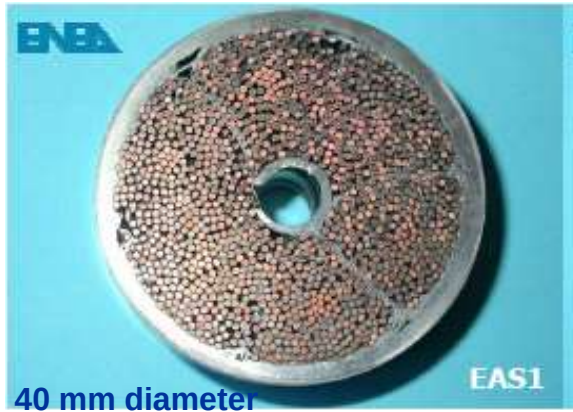
31 Feeders (CN)

Trasformatore centrale (US)

Magneti: una collaborazione internazionale



Materiali superconduttori (a 4 K)



Technological challenge: the biggest Nb₃Sn conductor procurement in history

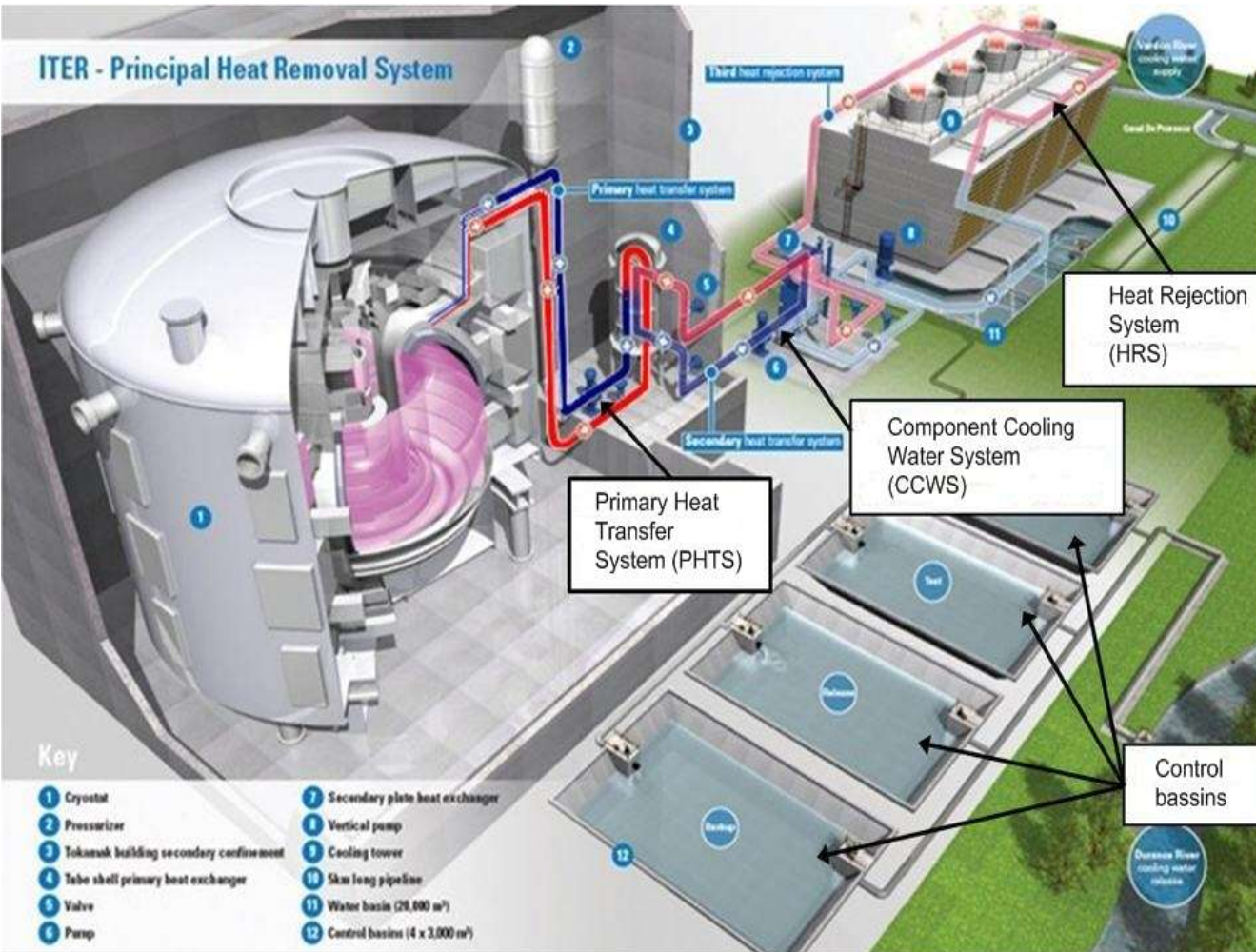
- ~90 km / 400 t of conductive Nb₃Sn
- ~150000 km of strand (15 x around Earth)
- 11.8 Tesla (peak TF field)
- 68 kA (peak TF current)

**ITER Toroidal
conductive**



- Manufactured in Europe, Japan, Russia, China, South Korea and USA

I sistemi principali: il sistema di raffreddamento ad acqua



Before being released in the Durance, the temperature of the industrial effluents is controlled in the control basins.

Cadarache site limit temperature for releases: 30°C

Impact study has shown:

- In summer, temperature increase = 0.1°C

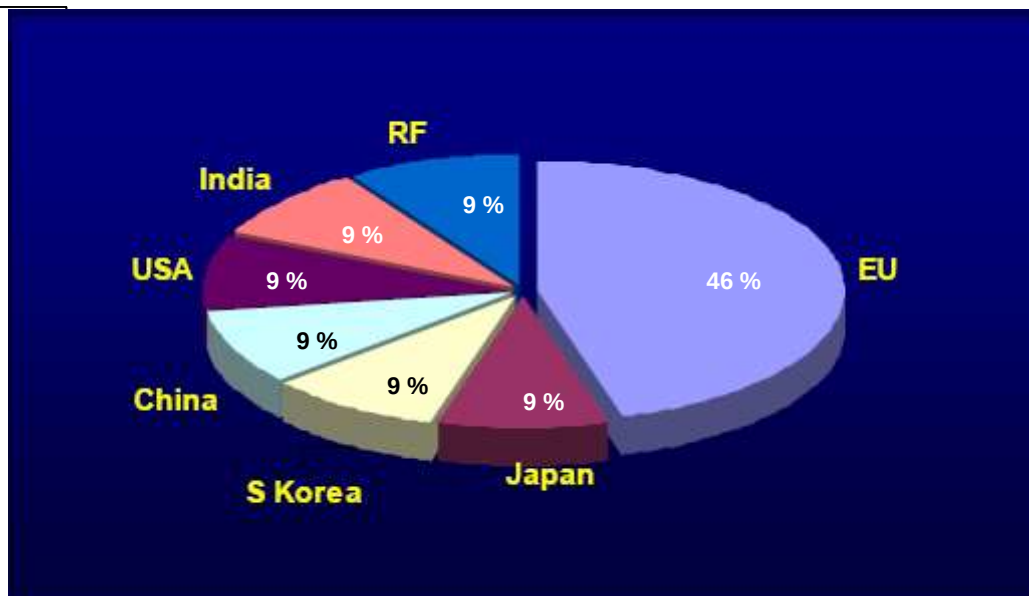
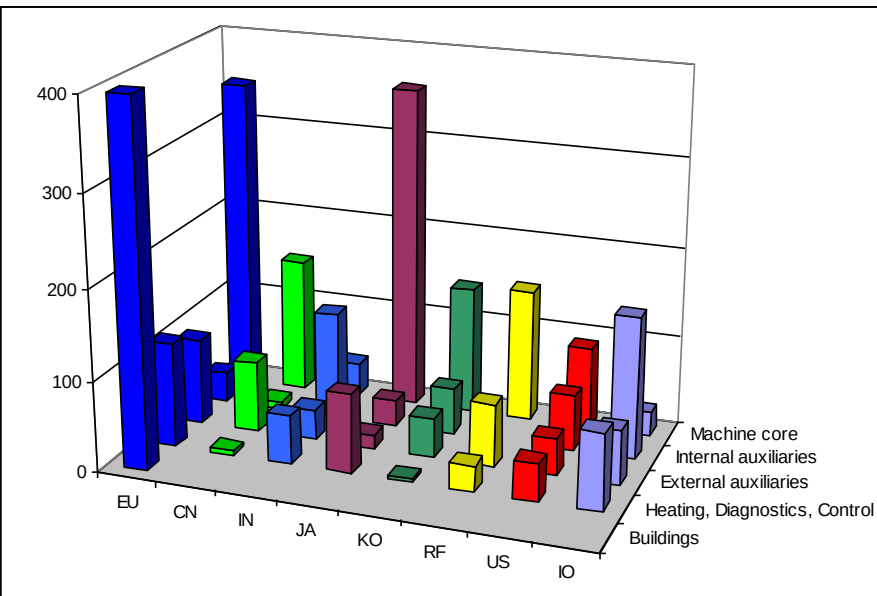
- In winter, temperature increase = 0.65°C

- Same order of magnitude as day/night changes and seasonal changes

L'organizzazione di ITER

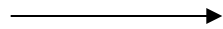
- **A project in line with long term and strategic objectives**
Develop a new source of energy, abundant and respectful to the environment
- **ITER Organization is an international organization**
 - ITER Organization has the same characteristics as an international organization: It defines its own rules (staff, contracts...)
 - **Except** for safety : ITER Organization decided to apply French law on basic nuclear installations
- All the results obtained during ITER experimentations will be shared...

I sette paesi membri forniscono i componenti dell'impianto al 90% ("in kind contribution project")



Il Progetto ITER: i tre livelli di organizzazione

International level



ITER Organization

- ITER council
 - Management (DG)
- Finalization of the project baseline, design review, procurement arrangements, tokamak assembly, scientific operation*

Les 7 pays membres

7 domestic agencies, in charge of creating and providing the ITER components to the ITER Organization
Including the European Domestic Agency F4E
located in Barcelona and an antenna in Cadarache

Host country:
France

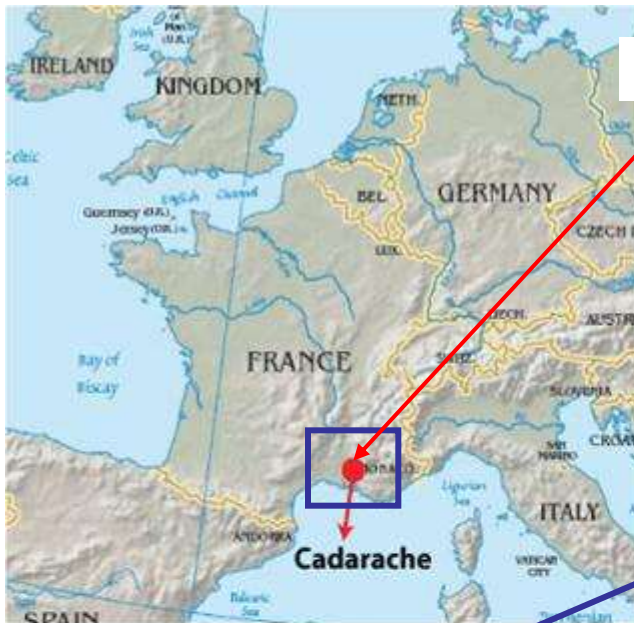


Two levels of participation to the project:
Through Europe and directly through specific commitments

- HRFI: governmental coordination
- C2I: industrial committee
- AIF/CEA: site preparation, welcoming the ITER staff
- Scientific committee; relations with the universities

Trasporto dei componenti verso il sito di ITER

Strade migliorate, allargate, test effettuati con camion 'giganti'



ITER site

— = Itinerary dedicated to the transportation of ITER components



Accordi ITER-paesi membri per l'approvvigionamento dei sistemi

60% of investments
already placed!

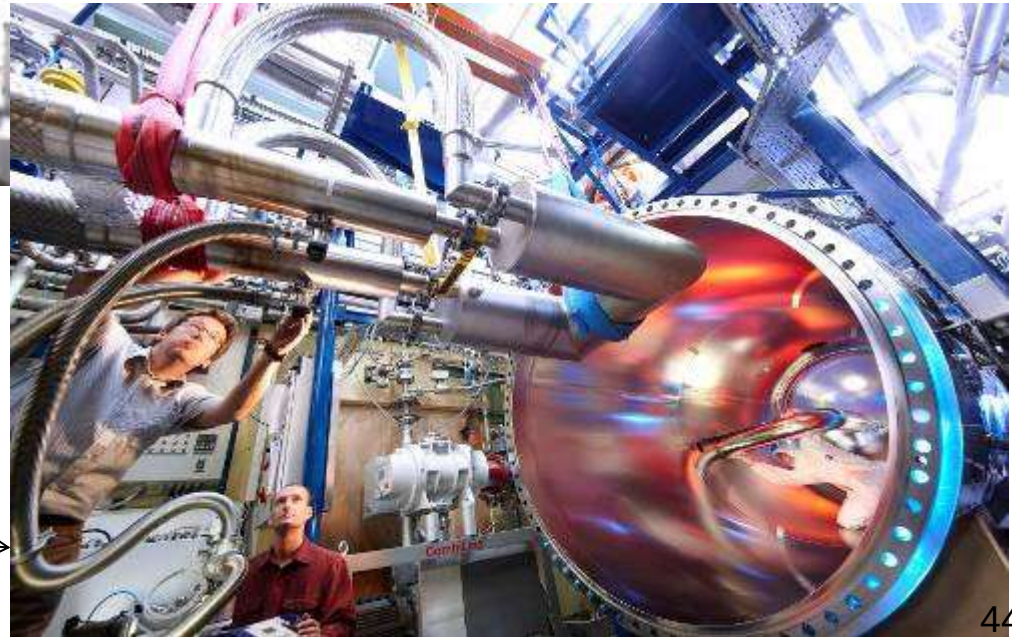


Progetto esecutivo e costruzione dei componenti e sistemi ongoing nei sette paesi membri



The manufacturing of the components of the ITER tokamak started worldwide. On the left, canning process of superconductives cables in Hefei, in China...

...on the right, the pump developed in Karlsruhe (Germany)...



I lavori sul sito di ITER

The site in 2005



Il sito nel 2009

40 ha platform with a bearing capacity of **25t/m²**.
Good quality limestone in the tokamak building area
(bearing capacity of at least 100t/m²)



Il sito nel 2010

39 edifici ed aree tecniche



Credits video: Altivue/Iter Organization

Iter Headquarters

AIF/ Part french commitments

Dimensions : 200 m long, 4 floors, 460 people capacity
Planning : 2010-2012
Architects : Rudy Ricciotti, Laurent Bonhomme

Excavation of the Tokamak Complex

F4E Building owner

Dimensions : 120 m x 80 m x 22 m
Planning : 2010-2011
Quantities : ~300.000 m³ of soils extracted
Support structure implementation
50.000 m³ of concrete

Poloidal Fields coild building

F4E Building owner

Dimensions : 253 m x 45 m x 20 m
Planning : 2010-2011

ITER HEADQUARTERS

- | | |
|----------------------|-------------------------|
| • Planning : | August 2010- May 2012 |
| • Contractor: | Léon Grosse
Provence |



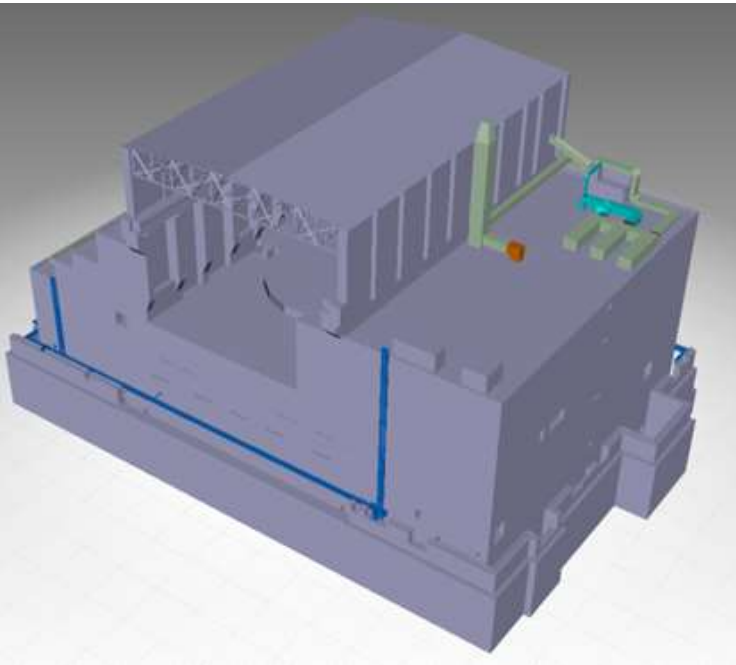
Dimensions

- Length: 180 m
- Width: 20 m
- Height: 20 m

Credits video: Altivue/Iter Organization

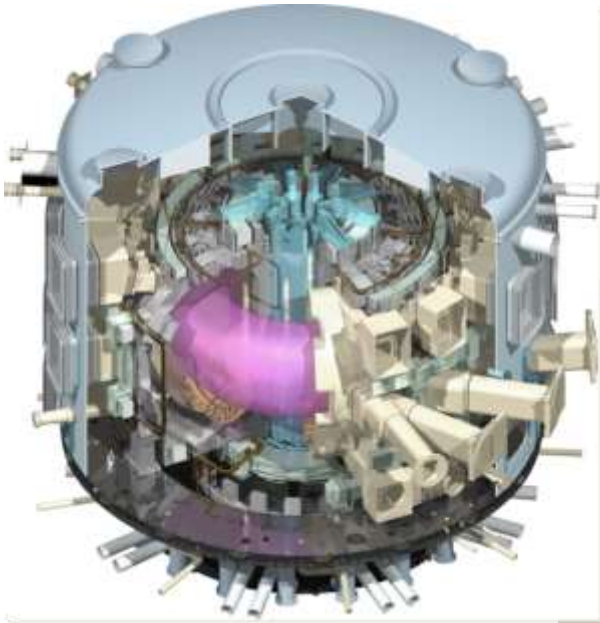
TOKAMAK COMPLEX

- | | |
|----------------------|------------------|
| • Planning : | August 2010-2021 |
| • Contractor: | GTM SUD |



Credits video: Altivue/Iter Organization

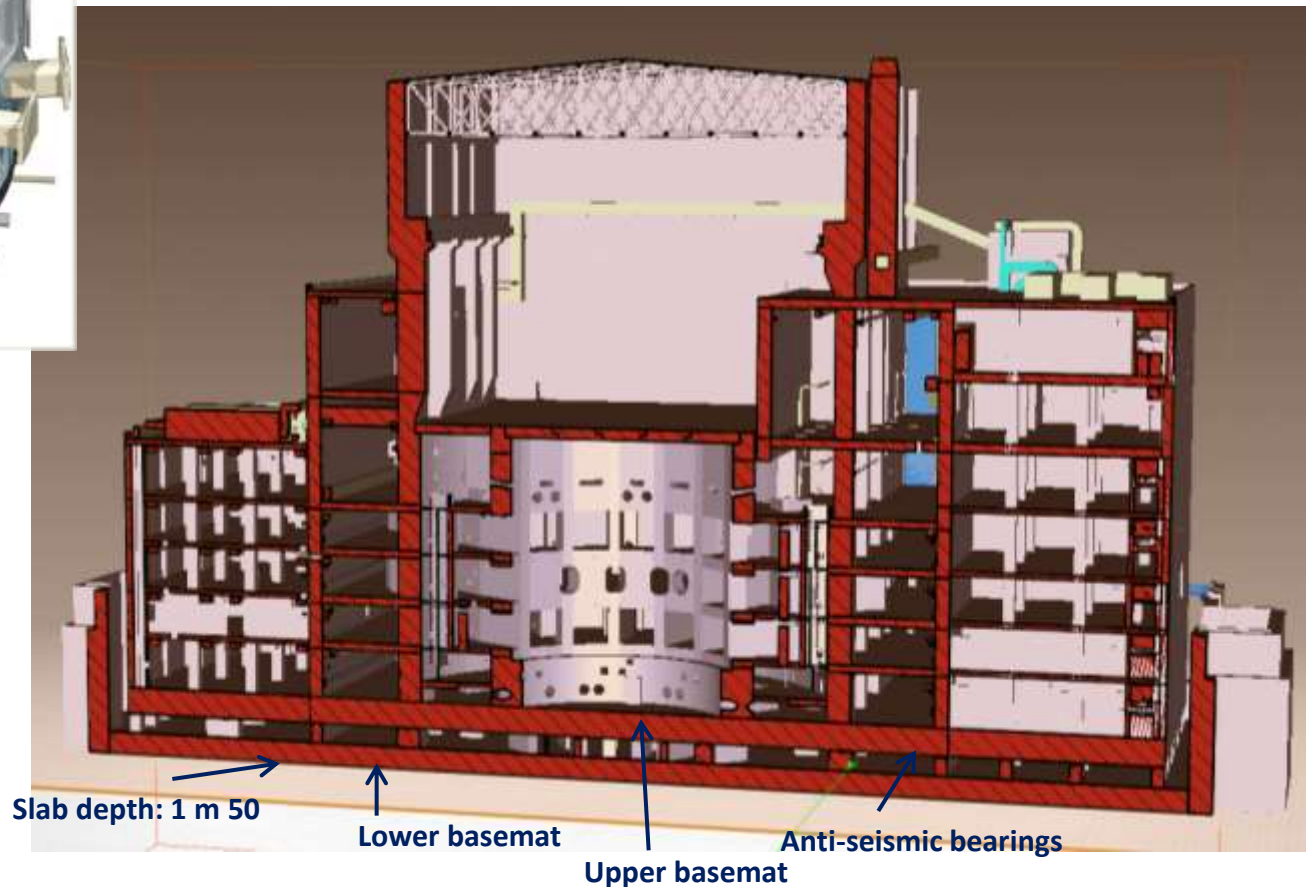
TOKAMAK COMPLEX



Tokamak Building

- Length: 115 m
- Width: 80 m
- Height: 80 m

Concrete volume	~150 000 m ³
Building mass	~ 400 000 tons
Building mass with Iter	~ 423 000 tons

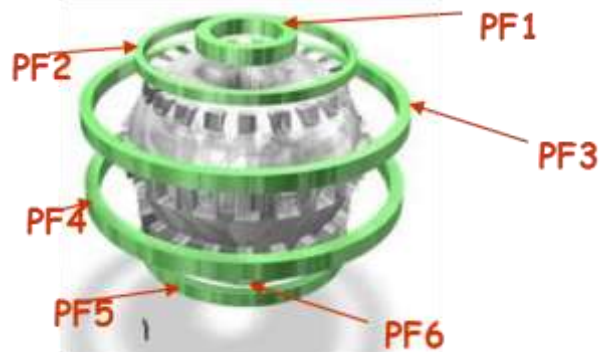


POLOIDAL FIELD COILS BUILDING

- | | |
|----------------------|--------------------------------------|
| • Planning : | August 2010-December 2011 |
| • Contractor: | Spie Batignolles-Omega Concept-Setec |

Dimensions

- **Length: 257 m**
- **Width: 49 m**
- **Height: 17 m**

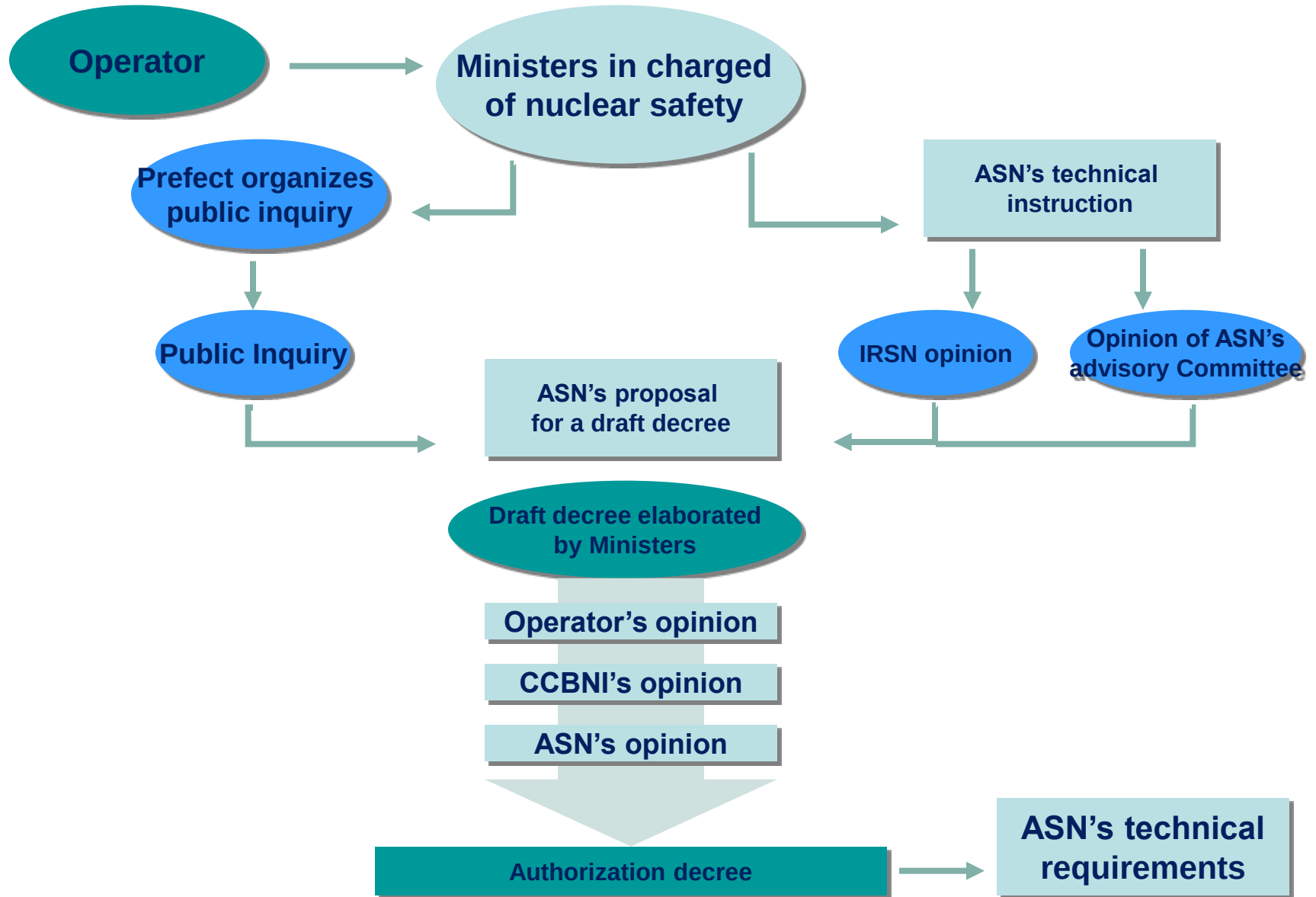


Licenza di costruzione (ed esercizio)

- ITER per essere costruito deve avere una **licenza dal governo francese** come un impianto nucleare sperimentale (INB Installation Nucléaire de Base) in accordo alla legge nucleare sulla trasparenza e la sicurezza
- ITER ha effettuato delle **analisi di sicurezza sistematiche** dell'impianto e sull'impatto ambientale sul sito circostante (aria, acque, terreni) riassunte nei dossier del rapporto preliminare di sicurezza e degli studi di impatto ambientale
- Ha risposto alle domande dell'ente di sicurezza francese e della popolazione
- Nel 2010 ha ottenuto la licenza di costruzione ed ha iniziato a costruire gli edifici nucleari ed i componenti nei vari paesi fondatori di ITER
- L'ente di controllo francese controlla ed ispeziona il progresso del progetto e della costruzione



La procedura di Licensing



Costi e programma di ITER

- 15 miliardi di Euro per la costruzione
- 2020: Fine della costruzione dei sistemi principali e primi esperimenti con il plasma per il test dei sistemi
- 2022-2024 completamento dei sistemi
- 2024 – 2026 esperimenti di plasma senza trizio
- 2027: esperimenti completi
- Personale: 700-3000 persone

Accoglienza per le famiglie di ITER provenienti da tutto il mondo

Molte iniziative culturali e sociali per facilitare l'ambientamento delle persone di lingue, tradizioni, culture così differenti

The international school in Manosque, a project within the project

- There are more than 400 children, from nursery to high school, since the start of school in 2010
- 54% of ITER staff children are expected; 450 are expected by the end 2010
- -Education programme 50% in french and 50% in one of the 6 following languages (English, German, Italian, Chinese, Japanese, Spanish) + Korean, Russian and Hindi lessons.
- - 40 children registered in the european programme (teaching programme 80% in English).



- Creation and building of an international school, including a boarding school with a capacity to host 50 students
- The co-education of ITER children/ children for the region has a key role



Istruzione – Formazione presso ITER

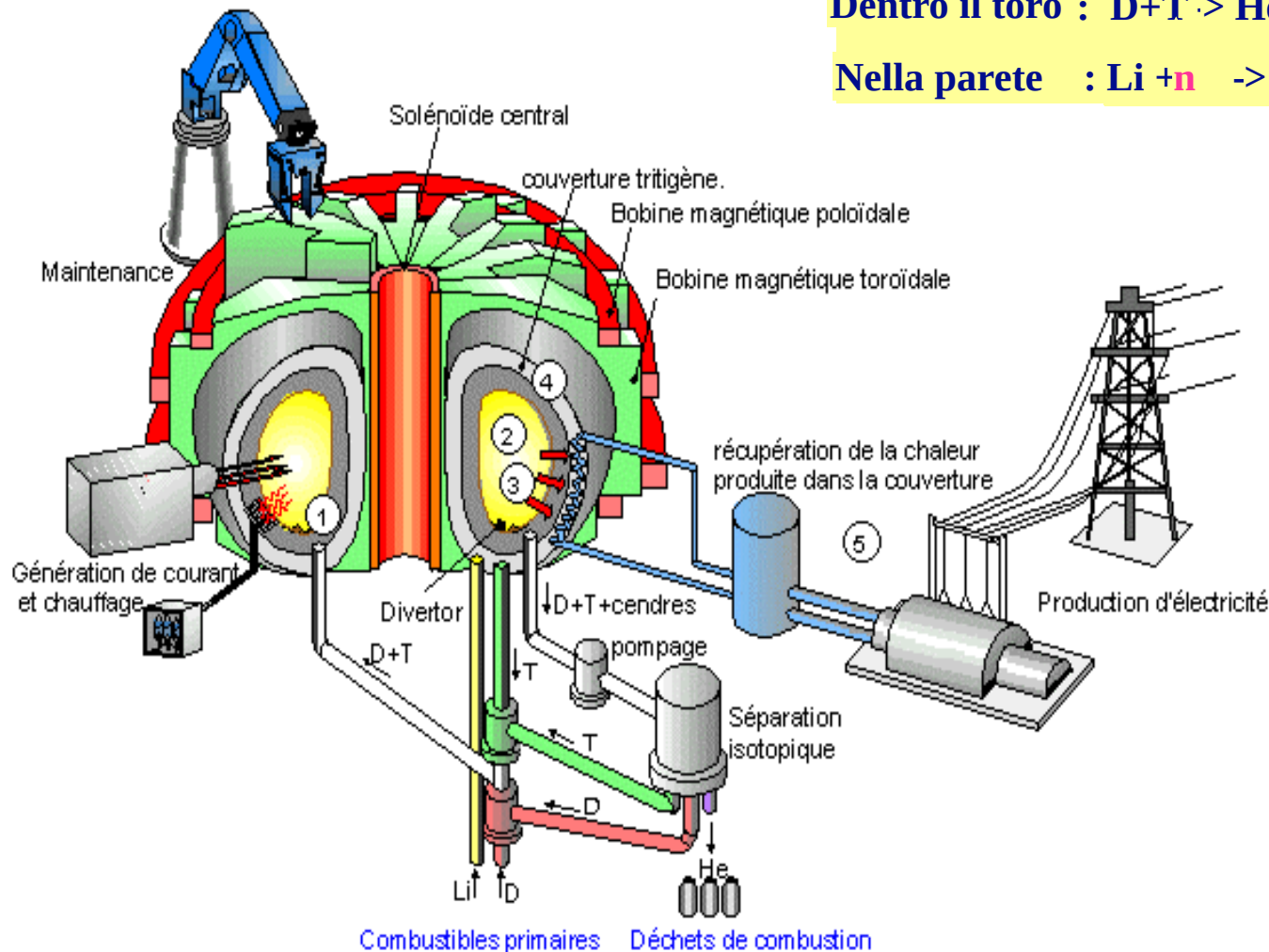
- **Promote Fusion and contribute to the training of a new generation of scientists and high technologies specialists**
- ⇒ **Post-doctoral fellowships** financed by Monaco : 5 on site, 5 to be selected
- ⇒ ITER International Summer School (IISS) created by the University of Provence and IO
- ⇒ **Fusion Masters**
- ⇒ **A three level internships policy**
- ⇒ **PHD**

Reattore a fusione nucleare: produzione di elettricità

Studi in corso in tutto il mondo,
in particolare in EU tramite F4E-EFDA (ora EUROFusion)

Dentro il toro : $D+T \rightarrow He+n$

Nella parete : $Li + n \rightarrow T + He$



Sommario

- ITER è il più grande impianto sperimentale al mondo (uno dei più grandi in assoluto) per lo studio della fusione termonucleare controllata
- Obiettivi di ITER: piena dimostrazione della fisica della fusione nucleare, della complessa tecnologia necessaria e della sicurezza
- ITER non produrrà energia elettrica
- ITER è un'organizzazione internazionale di 7 grandi paesi
- ITER team definisce i sistemi e componenti di ITER
- I paesi membri fanno il progetto esecutivo e costruiscono i componenti che trasportano sul sito di Cadarache
- I risultati saranno aperti a tutto il mondo
- ITER inizierà i primi esperimenti nel 2020 per proseguire fino al 2045
- ITER avrà bisogno anche a regime di almeno 1000 persone
- Università, laboratori di ricerca e industrie italiane sono di già coinvolte in ITER
- ITER rappresenta anche un 'esperimento' importante di collaborazione internazionale, di messa a comune delle migliori energie dei vari paesi per risolvere problemi comuni dell'umanità

Grazie!

Link utili

www.iter.org

<http://www.aip.org/history/sakharov/index-text.htm>

<https://www.euro-fusion.org/>

<http://www.fusione.enea.it>

