



SETTIMANA DELLA SOSTENIBILITÀ

25-28 MARZO 2025



**CONFINDUSTRIA
VENETO EST**

Area Metropolitana
Venezia Padova Rovigo Treviso

L'evoluzione del mix energetico e il contributo delle tecnologie nucleari presenti e future

La “lunga” strada della decarbonizzazione e della transizione energetica: siamo consapevoli delle conseguenti trasformazioni economico-sociali

Prof. Piergiorgio Sonato

28 marzo 2025



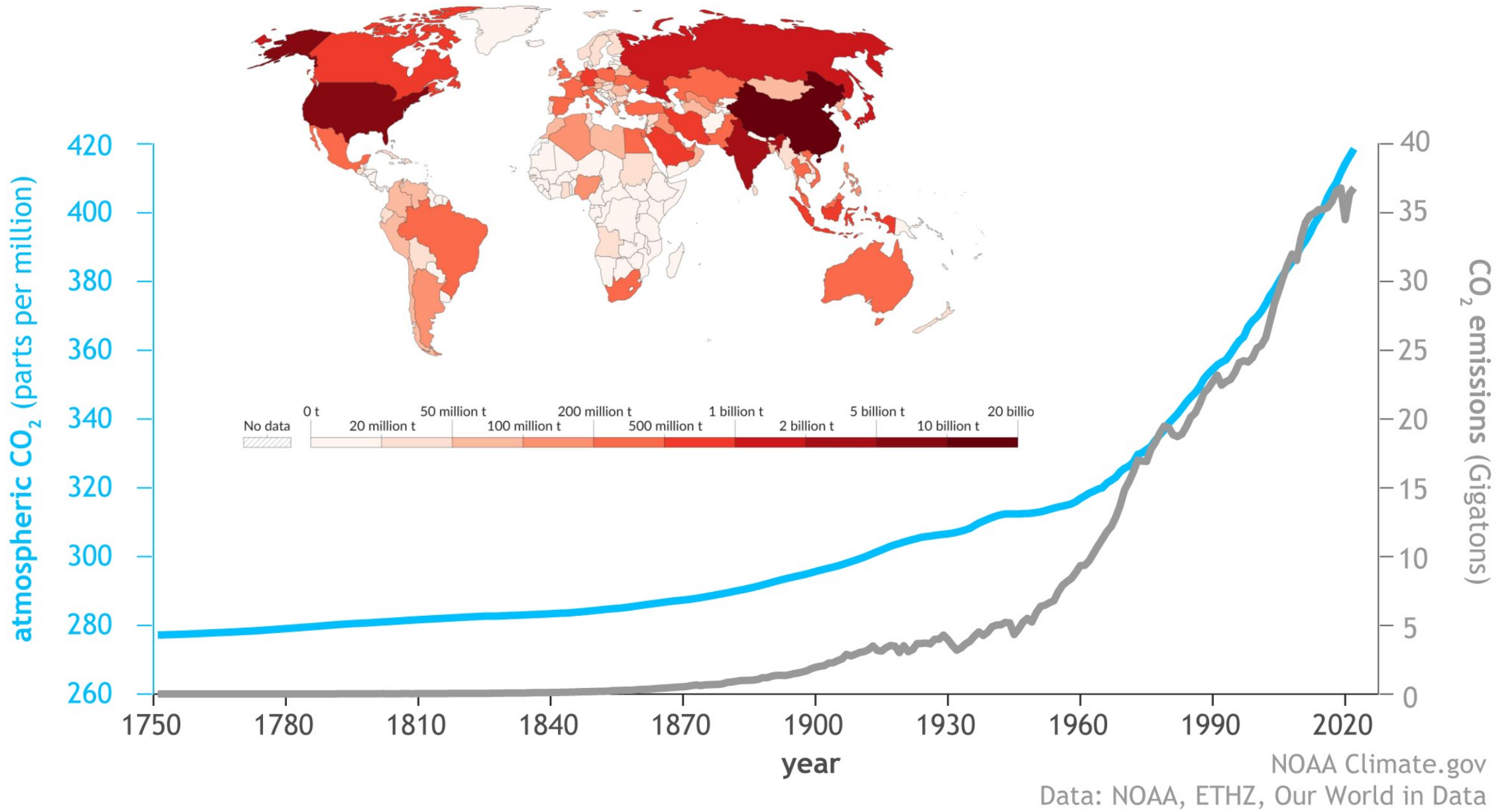
UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



Indice:

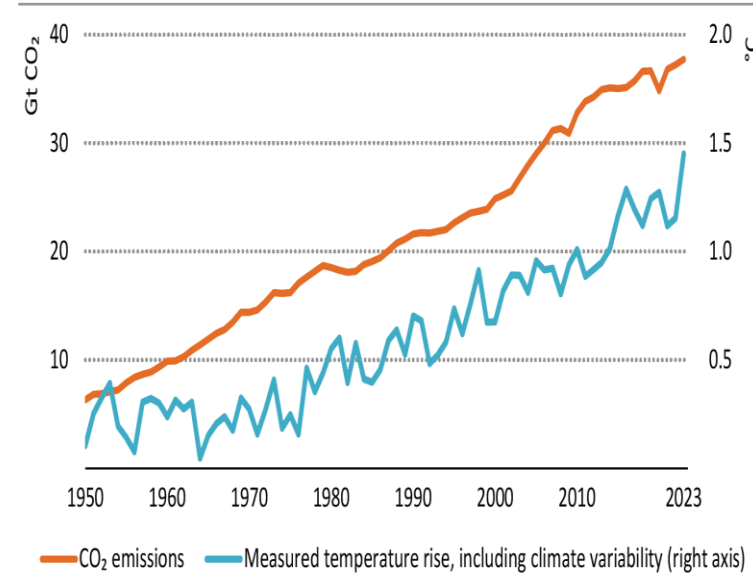
- 1. La decarbonizzazione delle fonti energetiche**
2. La ricerca sulla fusione nucleare
3. Le attività a Padova: il Consorzio RFX
4. La filiera industriale italiana sulla fusione
5. Stato dell'arte nella Fissione Nucleare

La concentrazione di Anidride Carbonica nell'atmosfera e le emissioni?



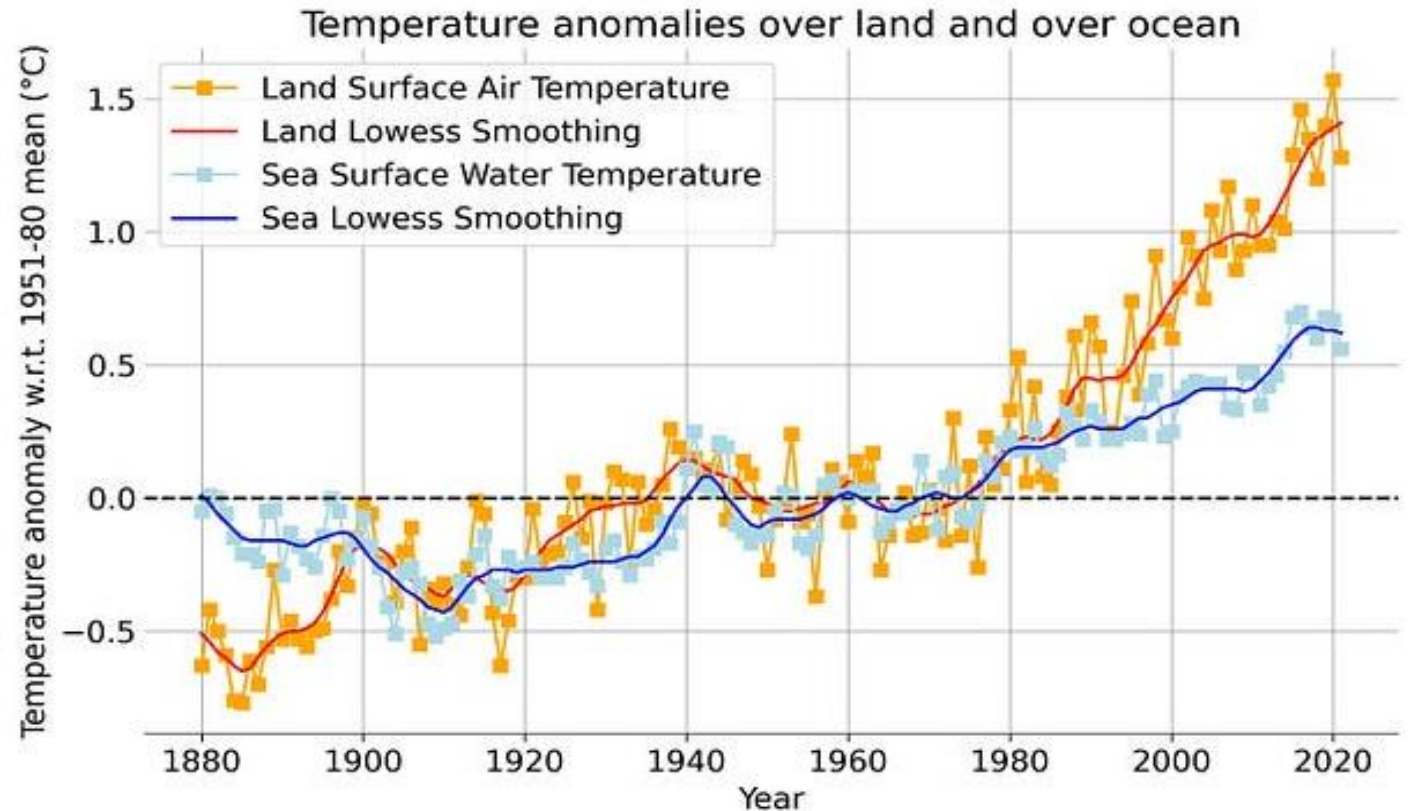
Quale prezzo paghiamo nell'uso delle fonti fossili ?

- Aumento della concentrazione dell'anidride carbonica (CO₂)
- Piogge acide prodotte dall'associata immissione nell'atmosfera di Zolfo
- Il completo utilizzo del solo carbone nei prossimi 250 anni porterebbe il contenuto di CO₂ nell'atmosfera a 2000 ppm



... e le conseguenze?

- **Aumento della temperatura sulla superficie terrestre e degli oceani**
- **Aumento delle precipitazioni**
- **Diminuzione dei ghiacciai**
- **Crescita del livello del mare**
 - Migrazione dalle aree costiere (la maggioranza della popolazione mondiale vive vicino alle coste)
- **Migrazione dalle aree inaridite**



Fabbisogno energetico odierno - 2023

- L'energia primaria proviene da diverse fonti:
 - combustibili fossili (carbone, idrocarburi liquidi, gas)
 - idraulica
 - nucleare da fissione
 - solare
 - eolica (inclusa l'energia associata al moto ondoso)
 - maree
 - biomasse
 - geotermica

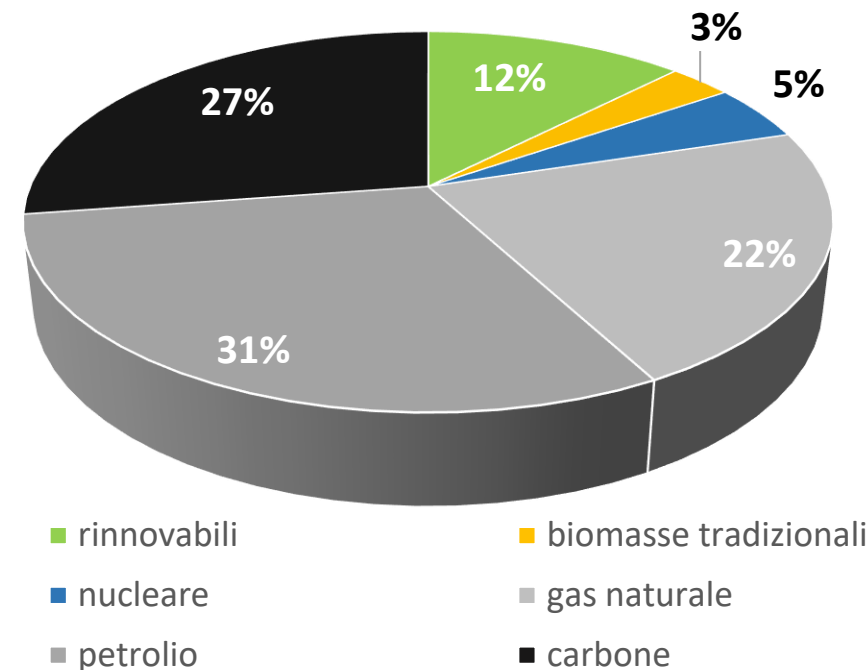
• **642 EJ**

• **Energia elettrica ~ 40 %**

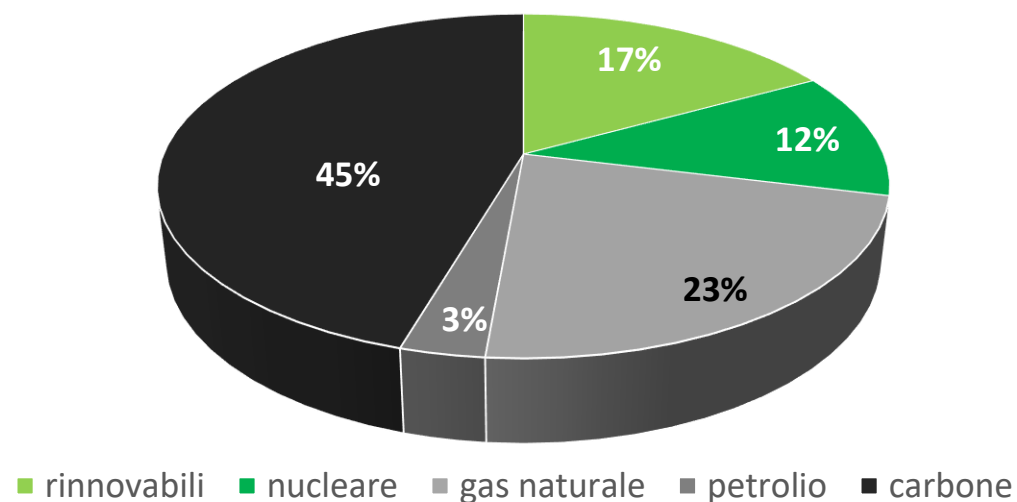
- dell'energia primaria totale

• **255 EJ**

total energy supply



electrical energy supply



Scenari Energetici e l'aumento delle temperature

• NZE-Net Zero Emissions – Zero Emission al 2050

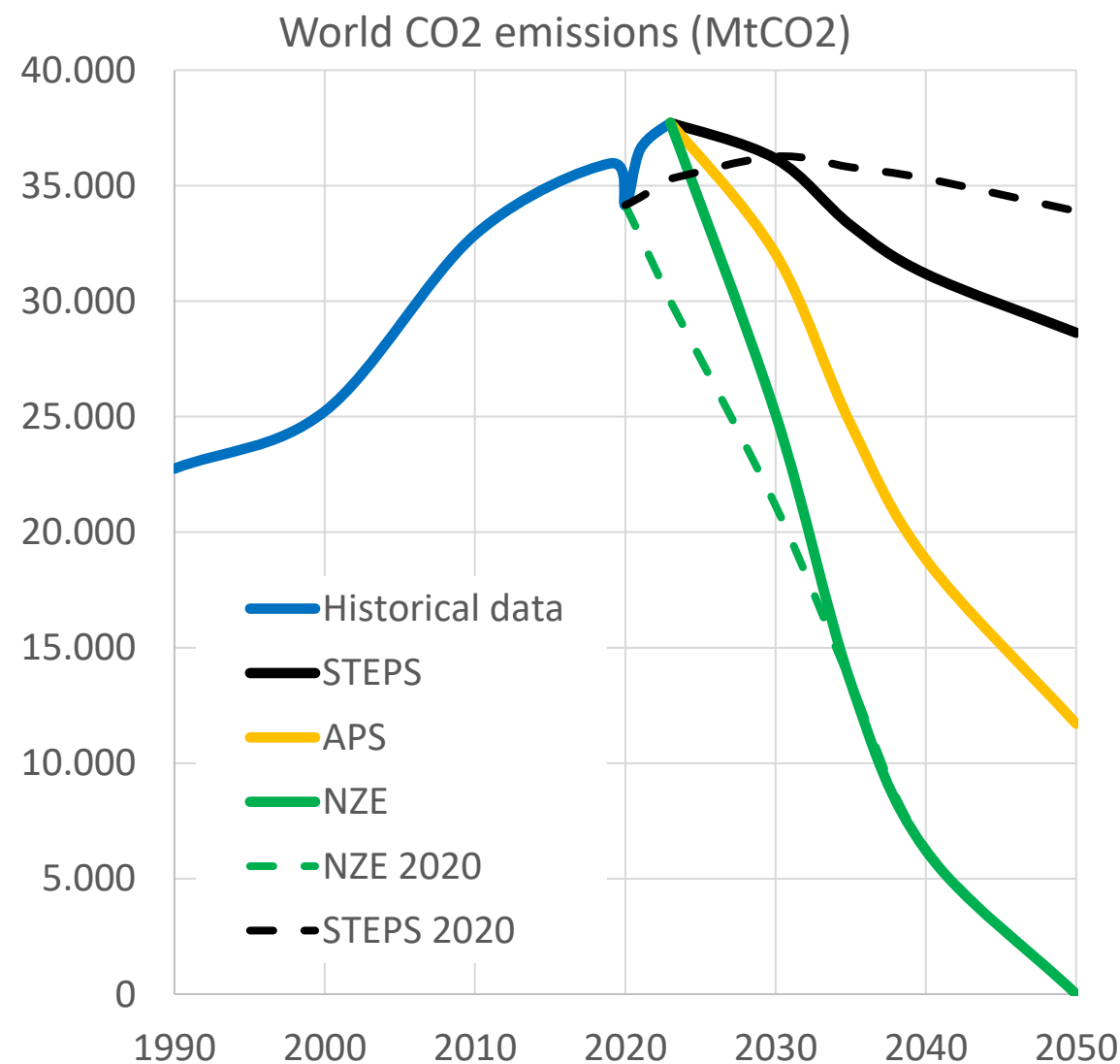
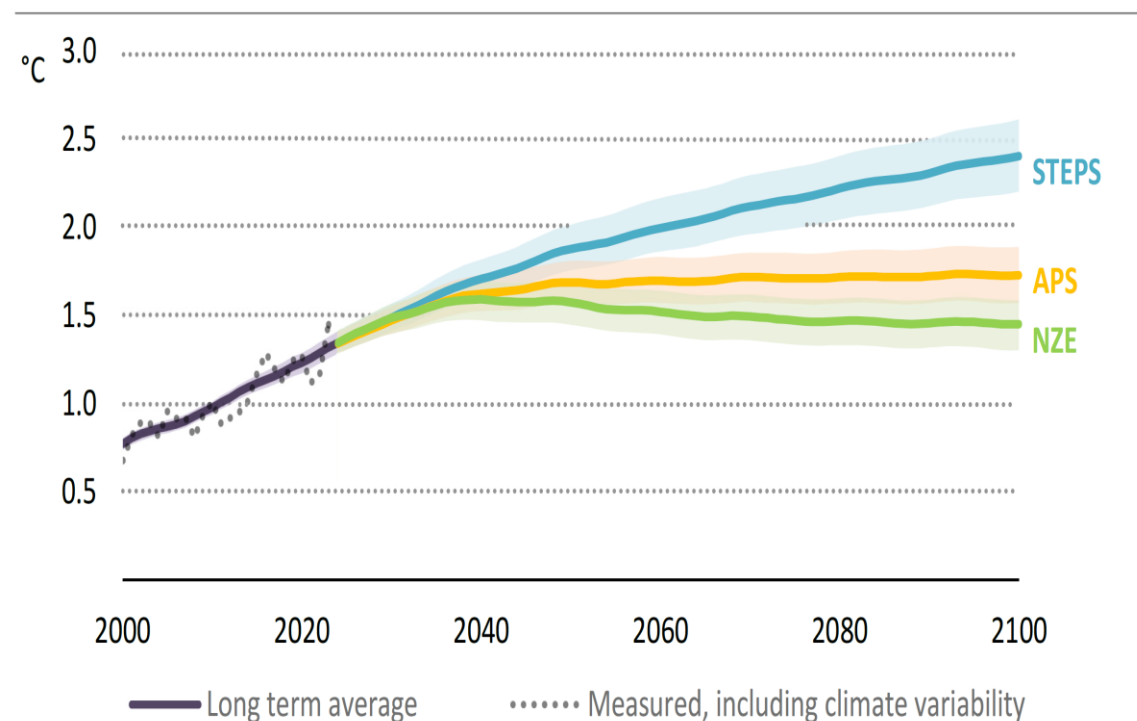
- Raggiungimento dell'obiettivo entro il 2050 in cui le economie avanzate raggiungono l'obiettivo prima delle altre
- E' in accordo con gli SDGs dell'ONU e con il limite di 1.5 °C di incremento

• APS-Announced Pledges - Promesse Annunciate

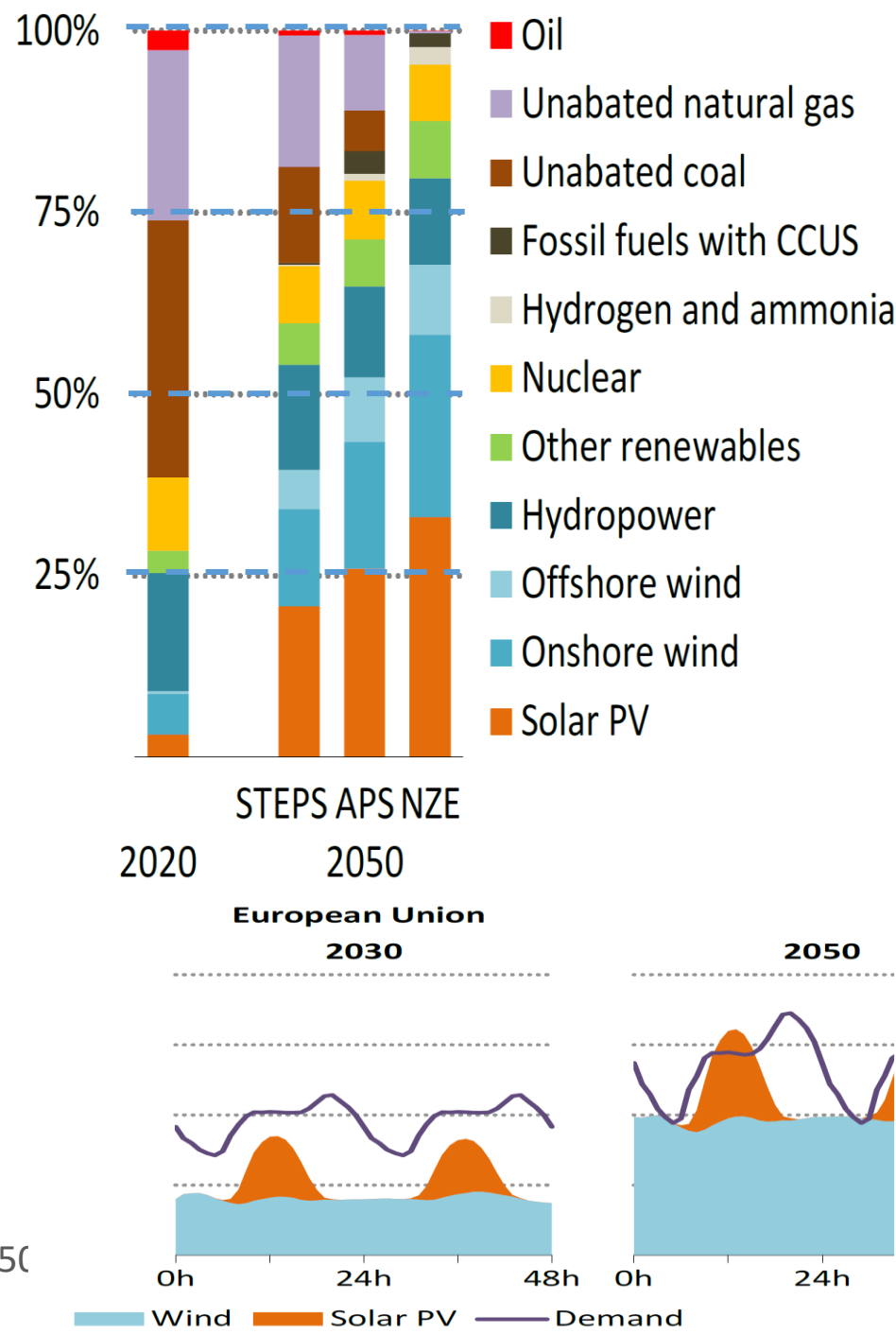
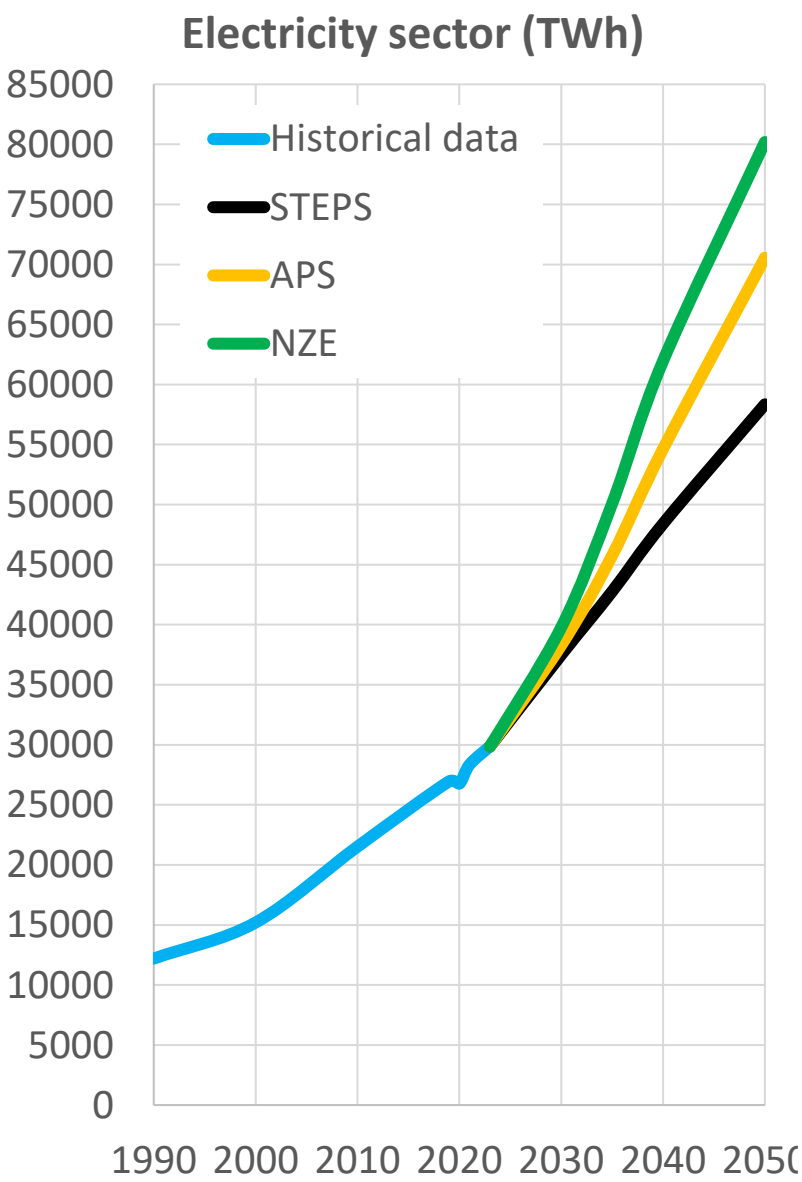
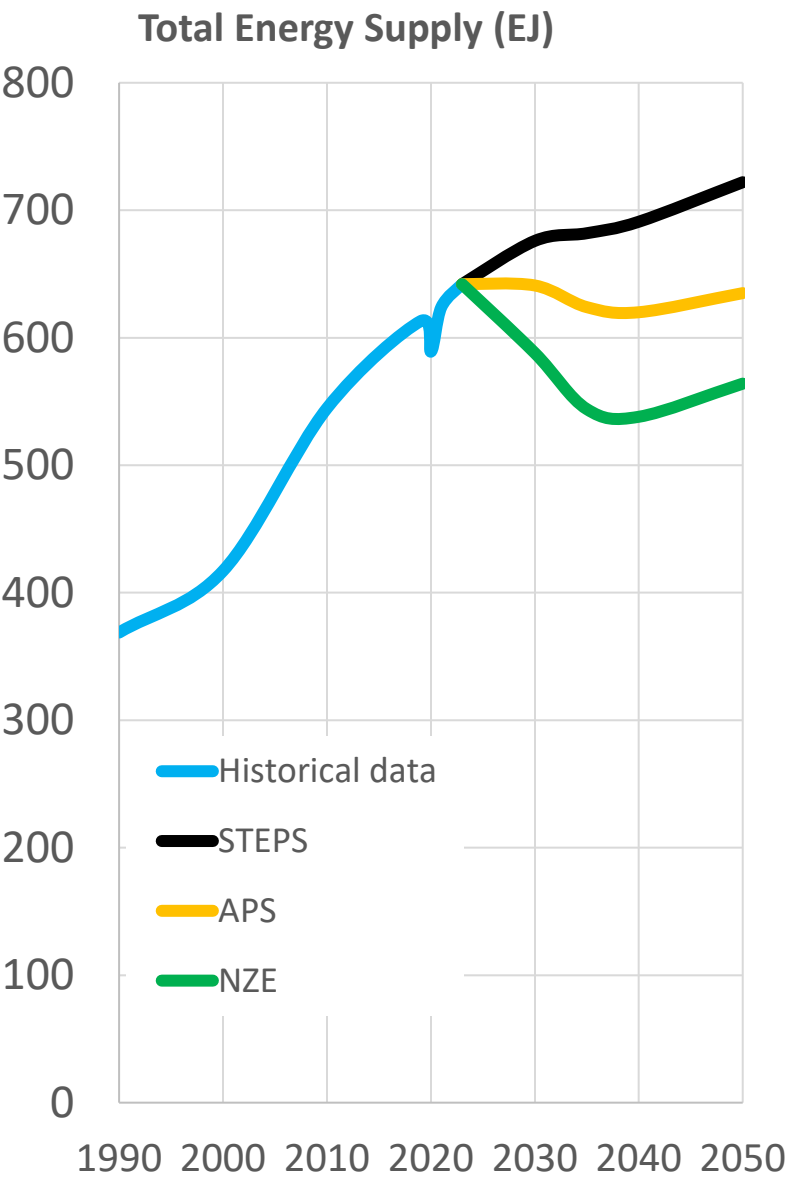
- Promesse annunciate da diversi paesi nel 2021 per limitare i cambiamenti climatici

• STEPS-Stated Policies – Politiche Dichiarate

- Senza l'adozione di misure politiche addizionali

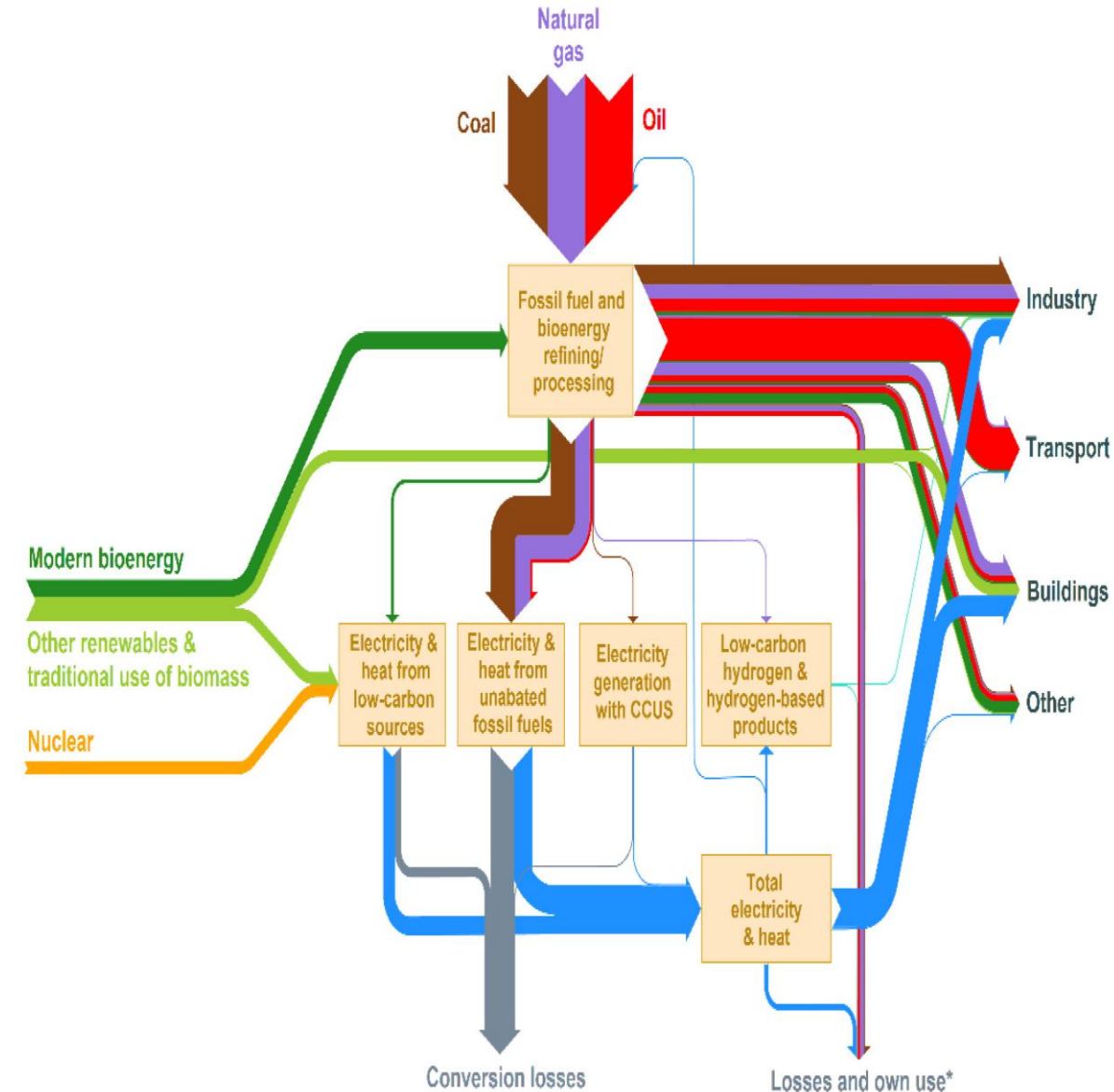


Gli scenari di fornitura dell' energia

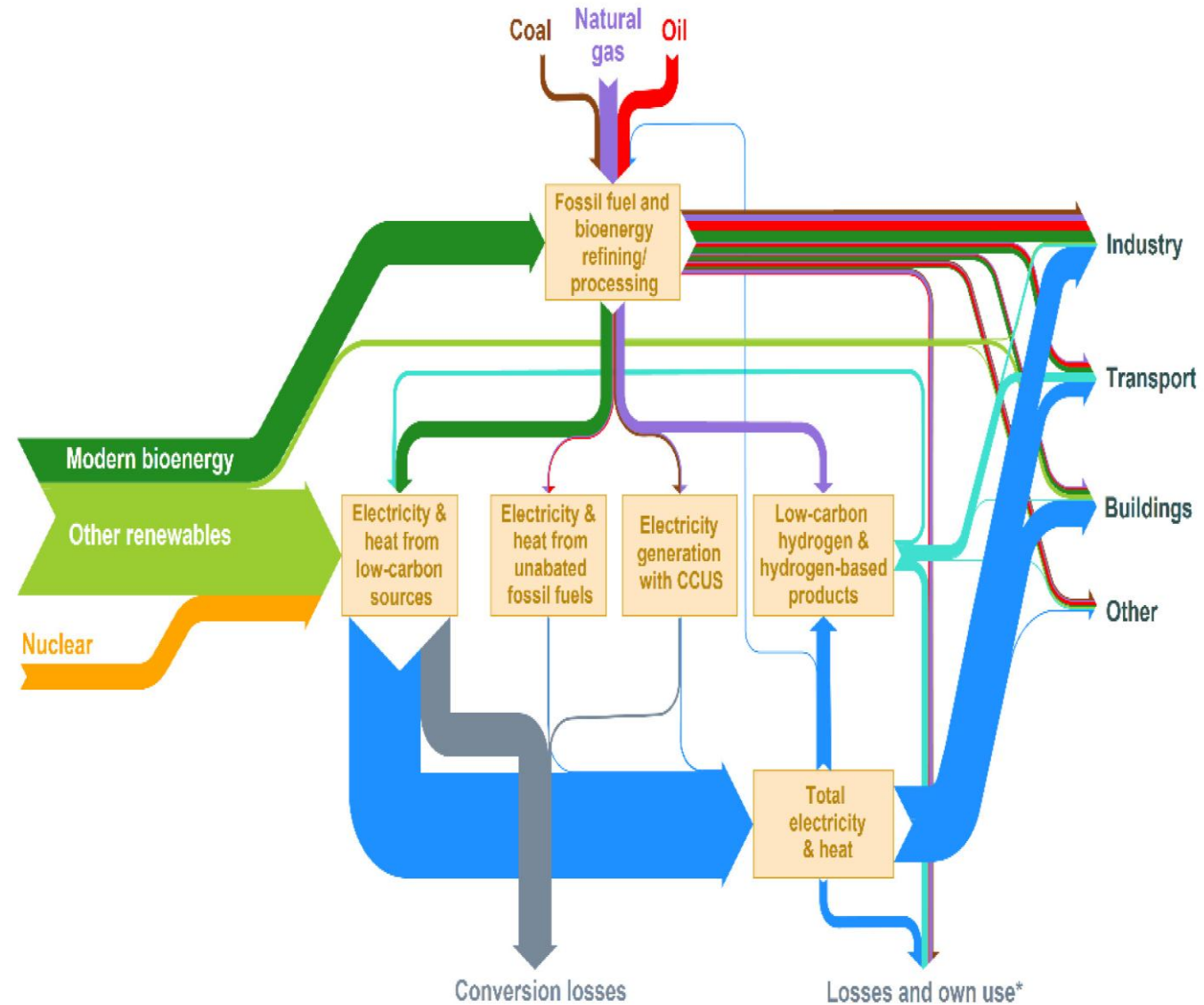


L'evoluzione del Sistema energetico

OGGI



NZE



Indice:

1. La decarbonizzazione delle fonti energetiche
- 2. La ricerca sulla fusione nucleare**
3. Le attività a Padova: il Consorzio RFX
4. La filiera industriale italiana sulla fusione
5. Stato dell'arte nella Fissione Nucleare

LA FUSIONE NUCLEARE

è la reazione che alimenta le stelle

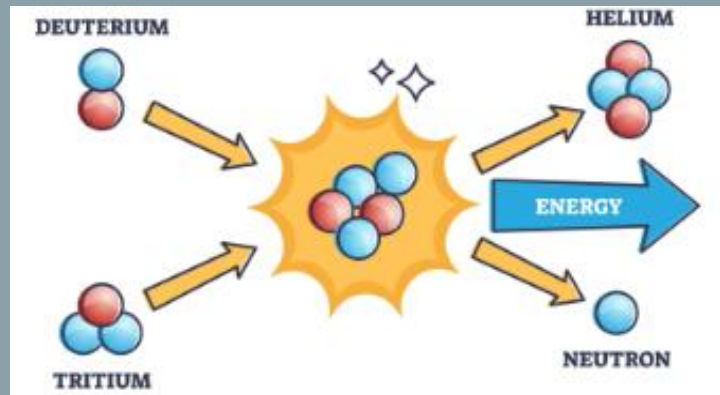
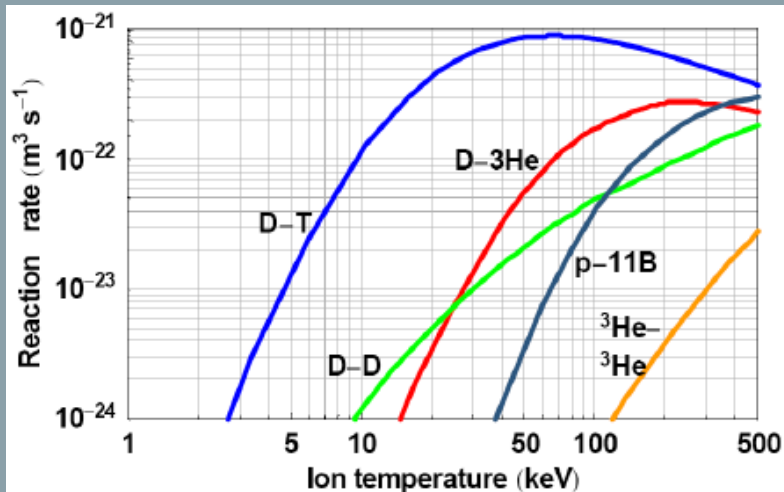
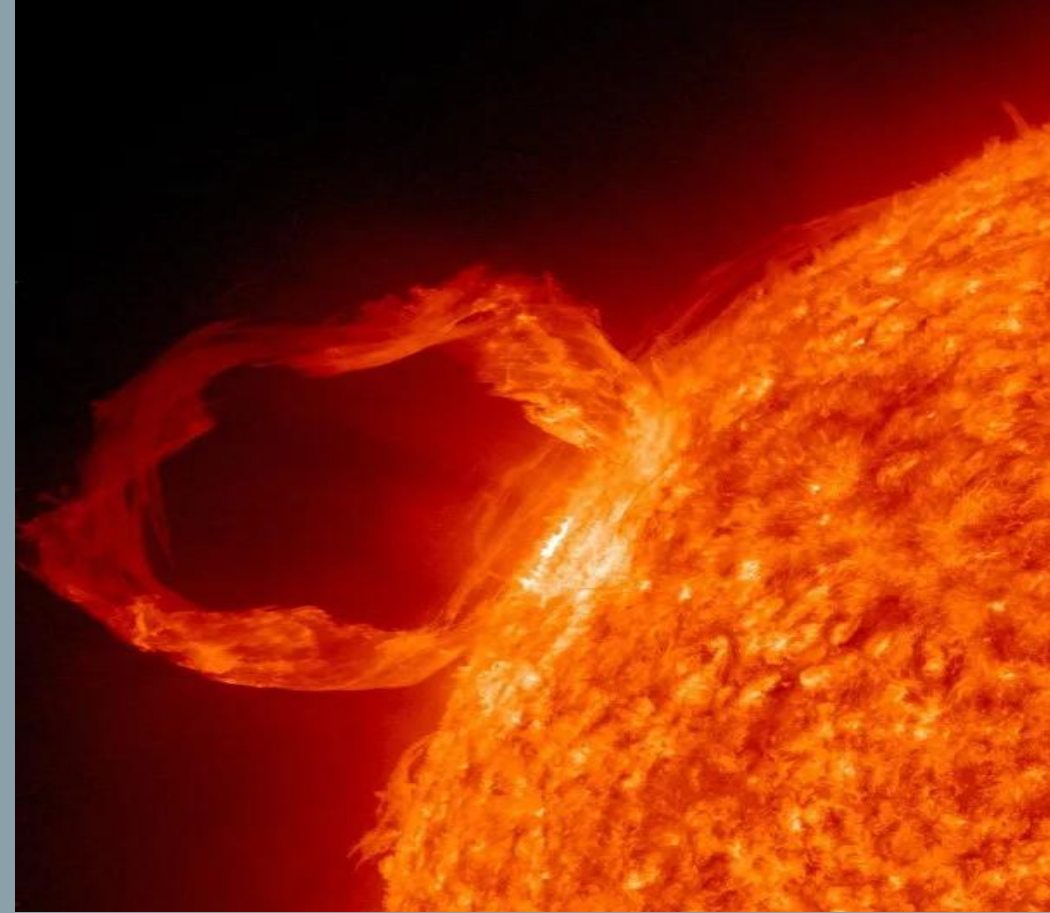
Enorme massa di materia

Enorme forza gravitazionale

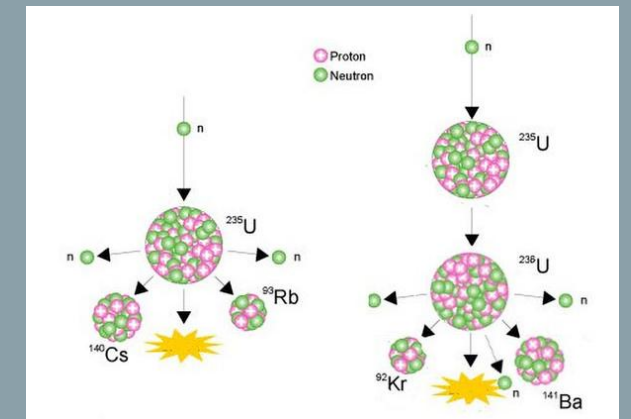
Temperature di circa 10-15 milioni di gradi

la RICERCA SULLA FUSIONE SULLA TERRA

mira a produrre una fonte di energia
pulita, sicura e praticamente illimitata

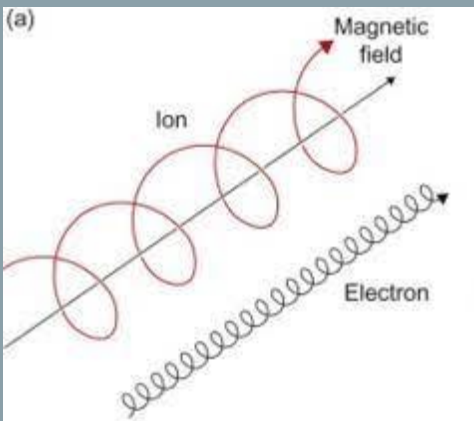


... e invece la fissione



CONFINARE IL PLASMA

Il Confinamento Magnetico Toroidale

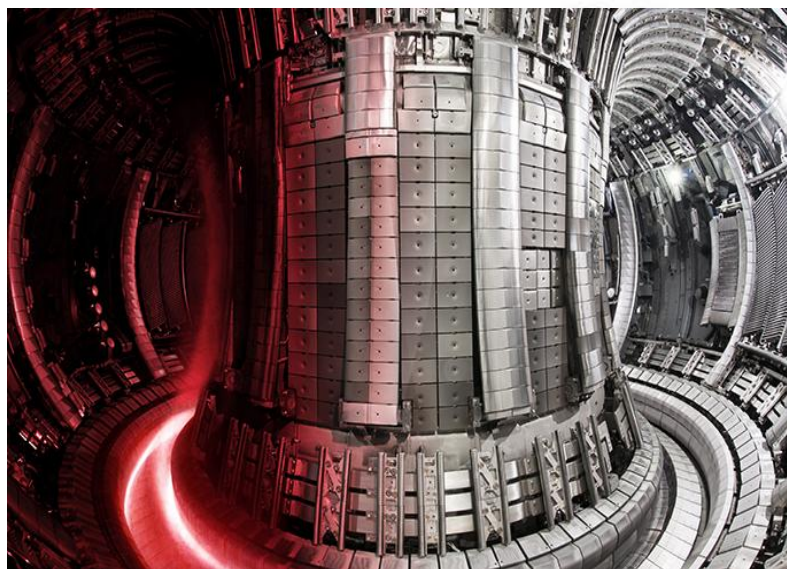


- Il gas viene riscaldato e diventa **Plasma** tramite:
 - corrente elettrica
 - onde elettromagnetiche
 - iniezione di particelle accelerate
- Il plasma deve raggiungere i **150 milioni di gradi** per produrre molta più energia da reazioni di fusione rispetto all'energia fornita per raggiungere quella temperatura

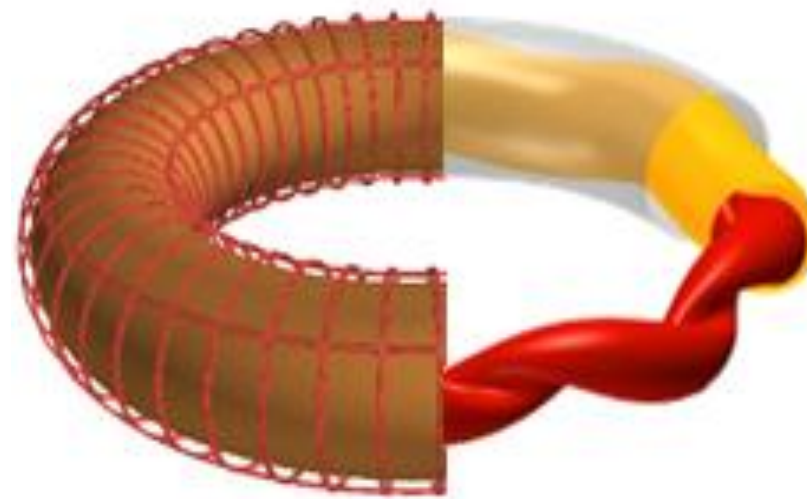
corrente di plasma crescente
campi magnetici esterni crescenti



Stellarator



Tokamak



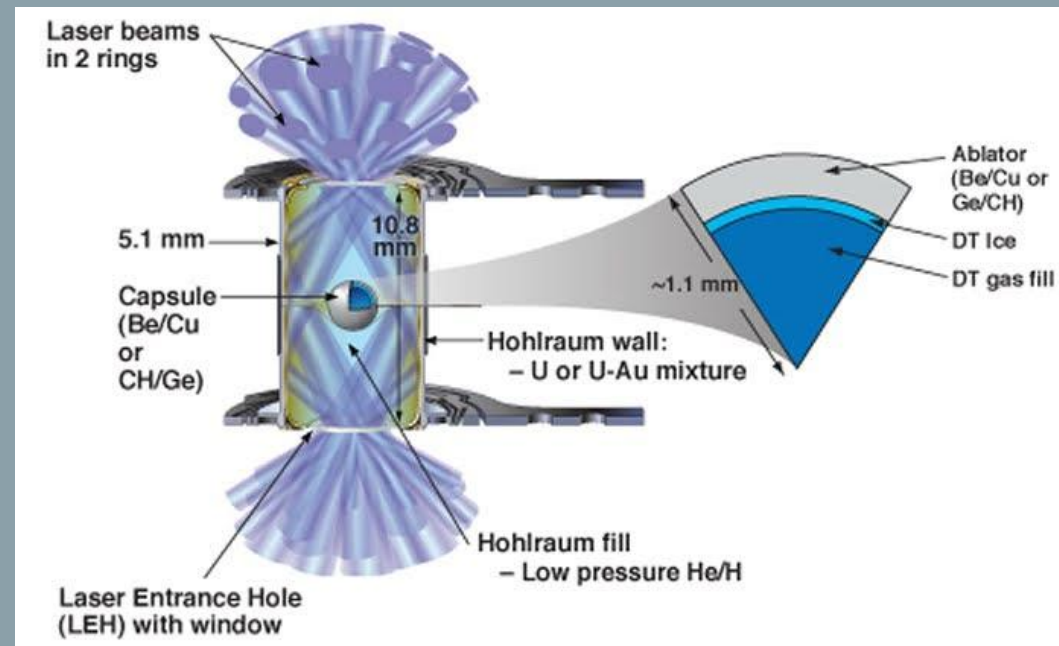
Reversed Field Pinch

CONFINARE IL PLASMA

Il Confinamento inerziale

il cui interesse è però di natura primariamente militare

Tempo di implosione $\approx 1.0 \cdot 10^{-10}$ s



Lasers deposit
energy into
hohlraum



A bath of x rays is
created as the
hohlraum heats



The capsule
surface ablates at
 ~ 150 Mbar



The capsule
accelerates
inwards

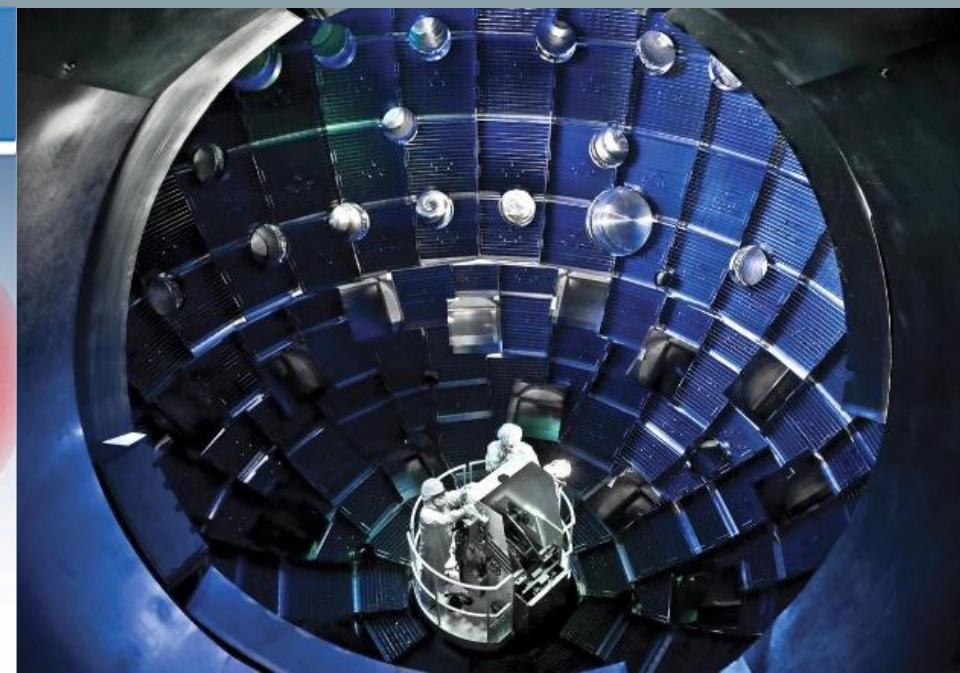


“Implosion”

Kinetic energy is
converted into
internal energy



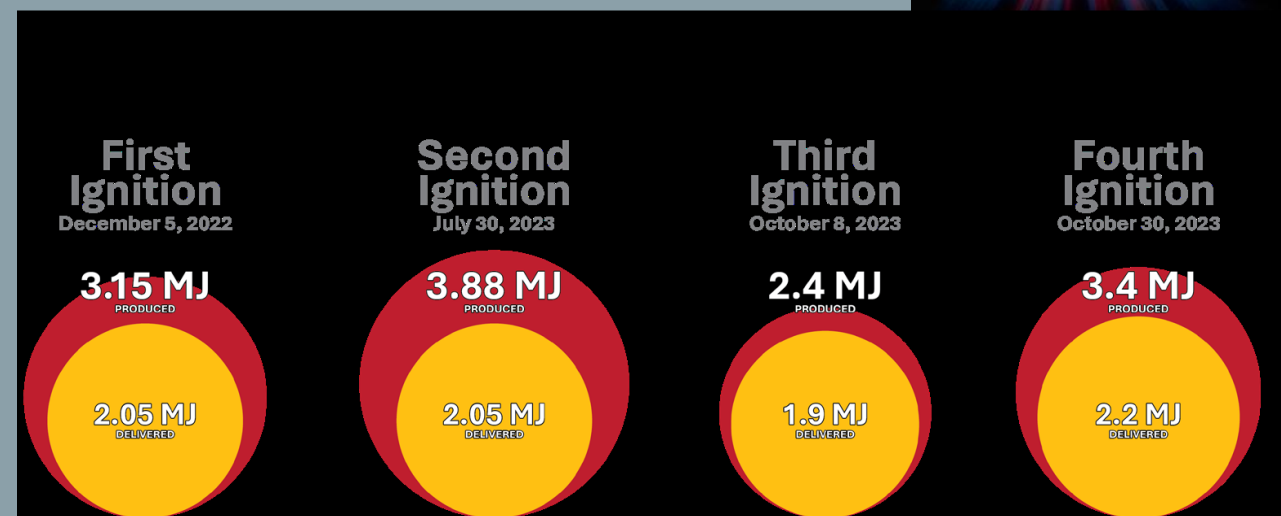
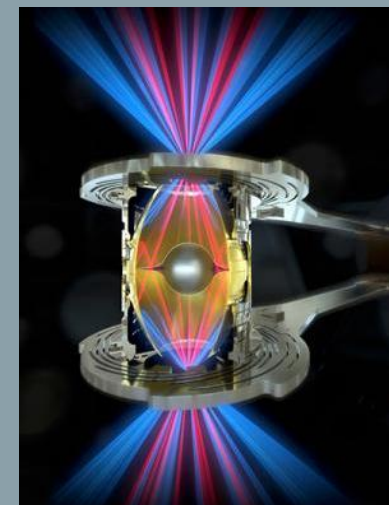
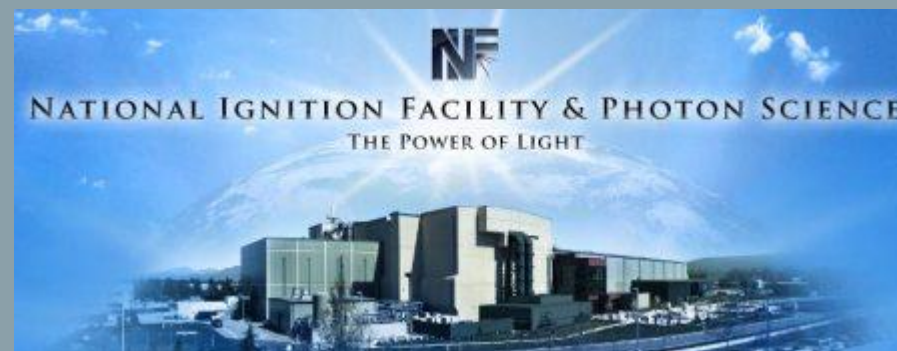
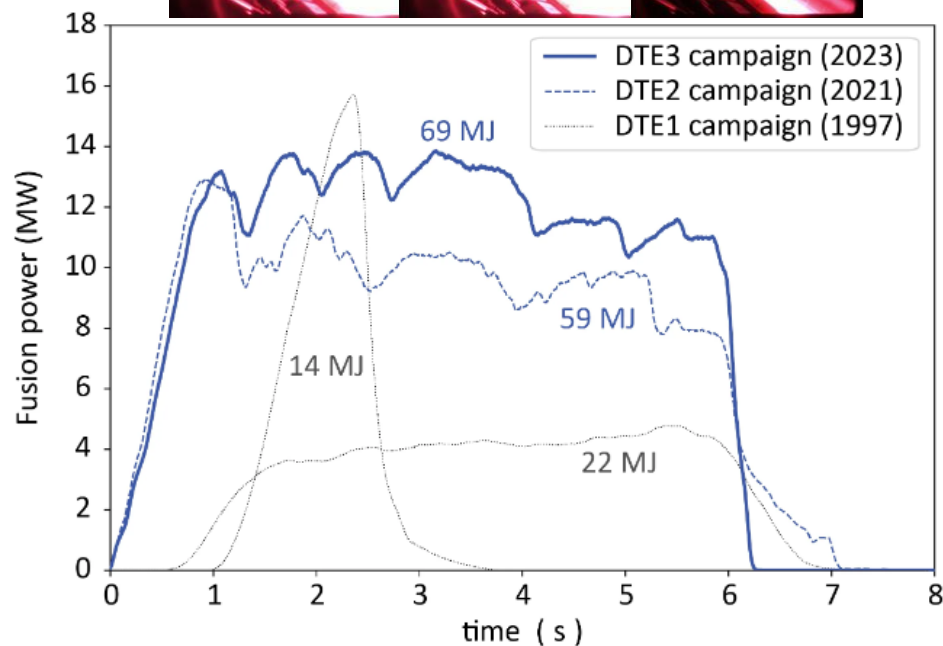
“Stagnation”



LA FORMULA MAGICA DI LAWSON

$$\underbrace{\text{DENS}}_{\text{densità di particelle nel plasma}} * \underbrace{\text{TEMP}}_{\text{temperatura}} * \underbrace{\tau_E}_{\text{tempo di confinamento dell'energia, ovvero il tempo che occorre per "svuotare" tutta l'energia del plasma procedendo a un certo ritmo, come la sabbia in una clessidra}} = \underbrace{C_{\text{gain}}}_{\substack{C_{\text{gain}} = \\ 0,6 \rightarrow Q = 1 \text{ (già ottenuto)} \\ 2,3 \rightarrow Q = 10 \text{ (obiettivo di ITER)} \\ 3,5 \rightarrow Q = \infty \text{ (reattore auto-sostenuto)}}} 10^{28} \text{ } ^\circ\text{C s m}^{-3}$$

$\tau_E = \frac{E}{P_{\text{out}}}$
 energia termica delle particelle nel plasma
 perdite di calore

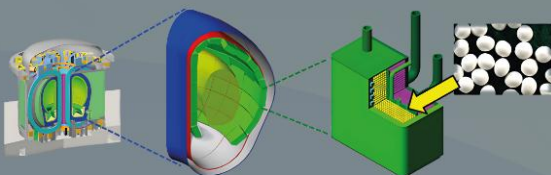


TECNOLOGIE DA SVILUPPARE...

...MA NE VALE LA PENA!

- Tecnologie molto complesse perciò sviluppo lento
- Auto-fertilizzazione: produzione del trizio nel reattore

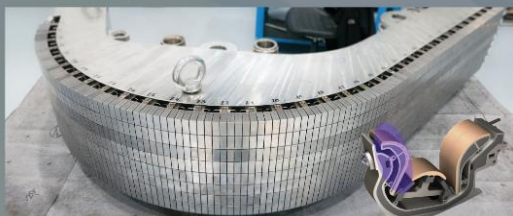
• Il trizio deve essere prodotto all'interno del reattore stesso dalla reazione del litio con i neutroni prodotti dalle reazioni di fusione



Il sistema di fertilizzazione è costituito da moduli affacciati al plasma investiti dal flusso di neutroni. Nei moduli in un fluido sono sospese delle sfere che contengono il Litio. La reazione tra Litio e neutroni produce il trizio che viene poi separato dal fluido e immagazzinato per essere poi immesso nella camera toroidale

- Flussi termici dieci volte più elevati rispetto alle applicazioni più avanzate

• Sono necessari materiali e tecnologie avanzate di gestione di altissimi flussi termici. L'esperimento DTT, in costruzione in Italia, ha questo come uno degli scopi principali



Elemento di divertore per assorbimento del carico termico e convogliamento delle particelle (principalmente elio, impurezze, deuterio e trizio). E' costituito da blocchetti di tungsteno che al centro sono attraversati da tubi di rame in cui circola acqua di raffreddamento per mantenere il tungsteno alla temperatura di lavoro

- Materiali avanzati resistenti a flussi di neutroni ad alta energia

• Da oltre 15 anni, Europa e Giappone collaborano per realizzare un laboratorio di prova per lo sviluppo di materiali compatibili con l'ambiente dove si realizzano le reazioni di fusione.

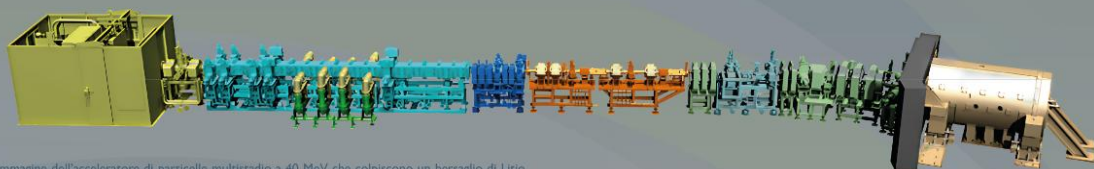


Immagine dell'acceleratore di particelle multistadio a 40 MeV che colpiscono un bersaglio di Litio producendo così i neutroni a 40 MeV per collaudare i nuovi materiali che dovranno essere utilizzati nella camera toroidale del reattore.

- ✓ **NO reazioni incontrollabili**
- ✓ **NO scorie radioattive (escluso camera di reazione)**
- ✓ **Combustibile abbondante**
- ✓ **NO Anidride Carbonica nell'atmosfera**
- ✓ **Alta efficienza conversione del combustibile**
- ✓ **Limitato rischio di proliferazione**
- ✓ **Combustibile disponibile in tutto il mondo**

"Non sapevano
che fosse impossibile,
allora l'hanno fatto"

M. Twain

La fusione nel mondo e il ruolo delle iniziative private



European
Fusion Association

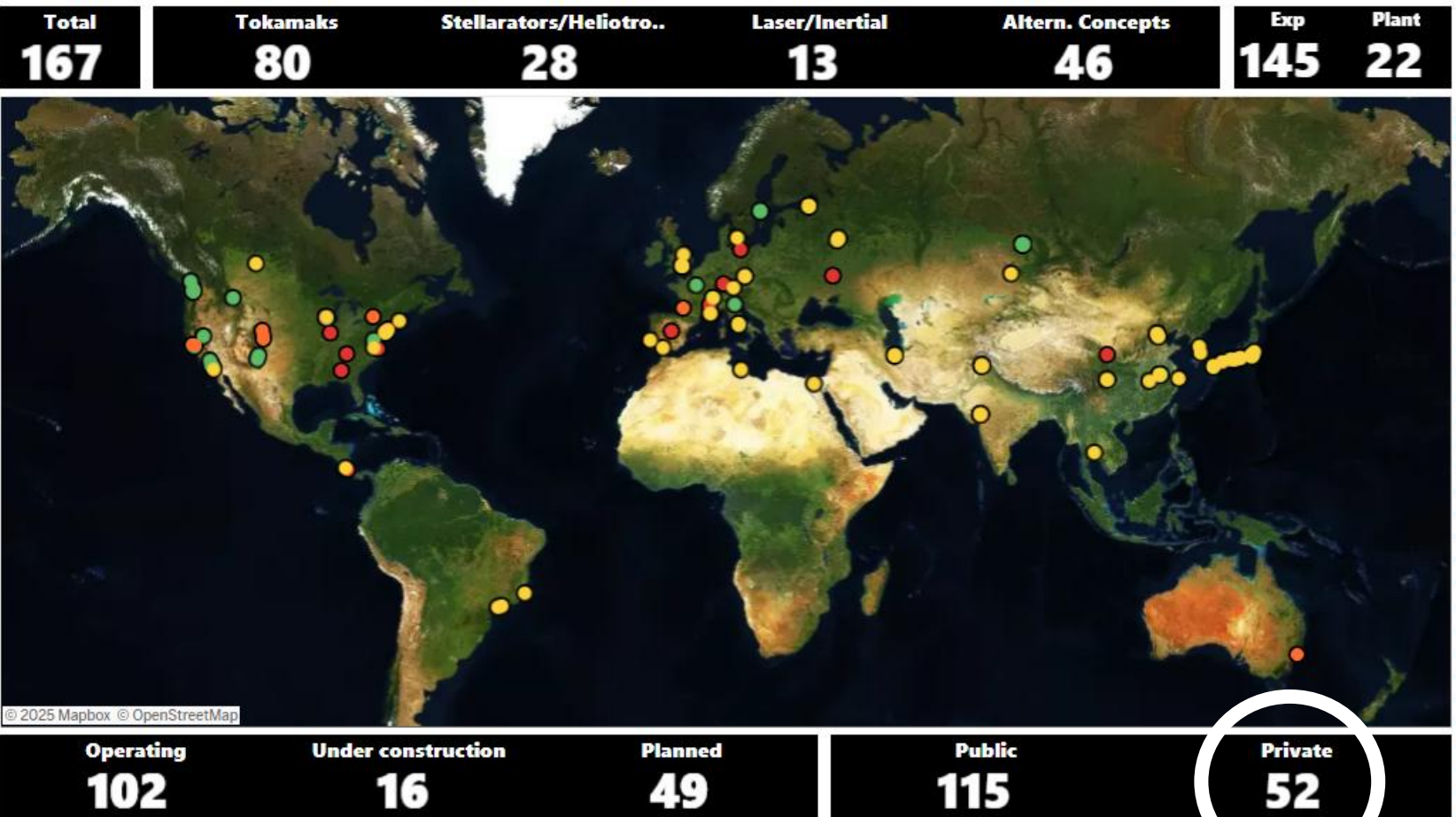


GO4Fusion

launched in February 2025

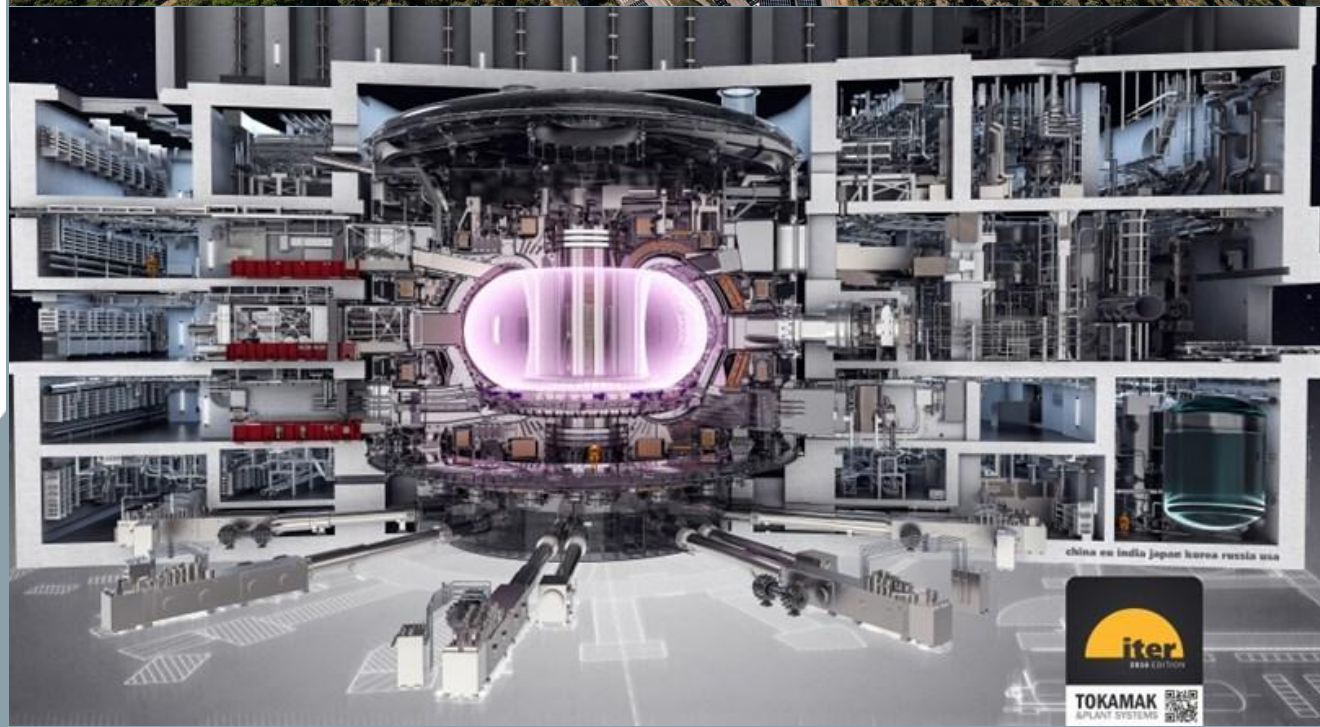
STRATEGIC ALLIANCE FOR BUILDING
EUROPEAN FUSION ENERGY PARTNERSHIP

pave the way for an EU public-private
partnership (PPP) on fusion energy





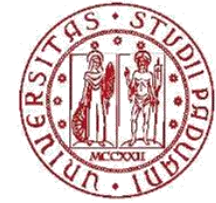
1985 From the Joint statement USA-CCCP:
"A nuclear war cannot be won and must never be fought"



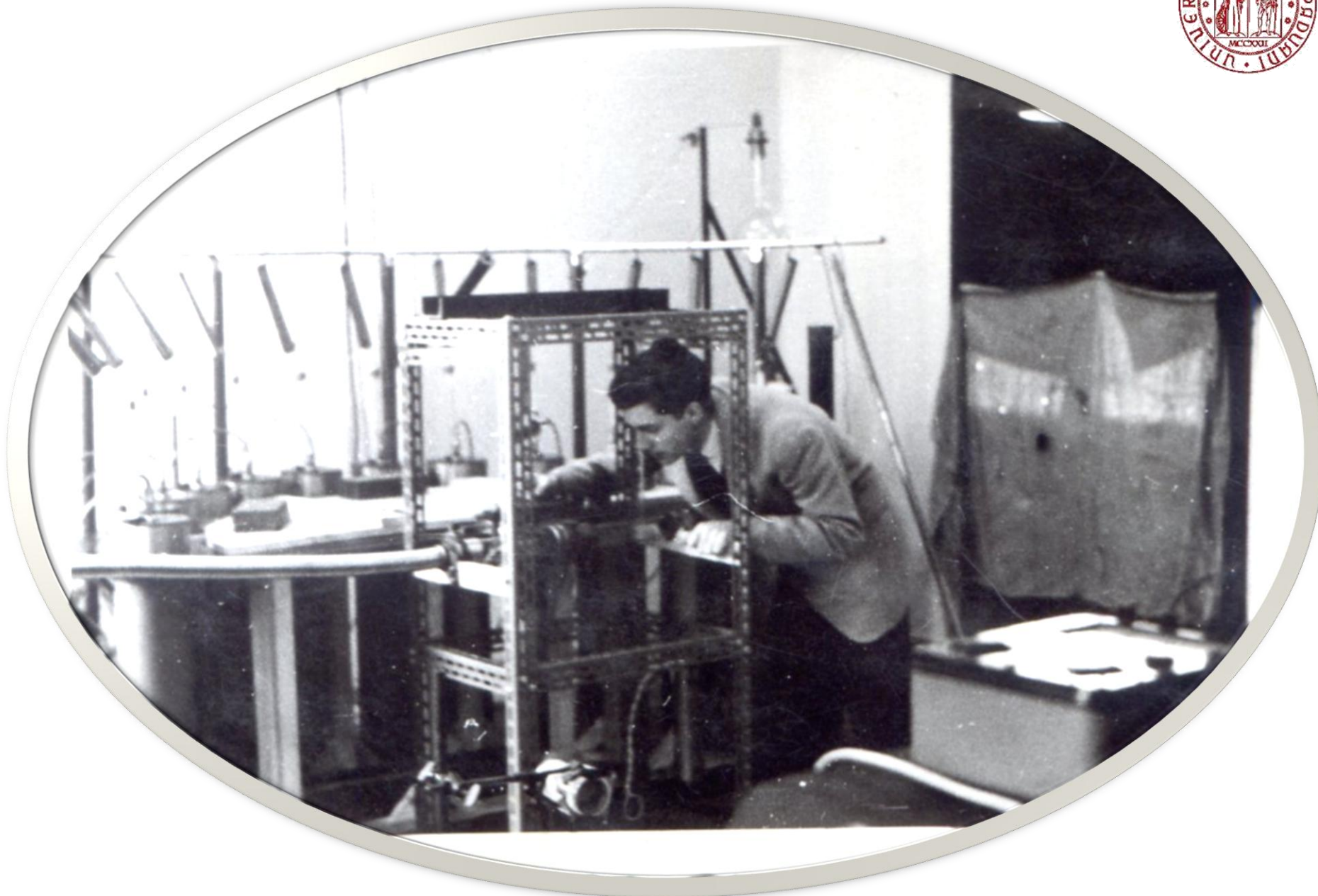
Indice:

1. La decarbonizzazione delle fonti energetiche
2. La ricerca sulla fusione nucleare
- 3. Le attività a Padova: il Consorzio RFX**
4. La filiera industriale italiana sulla fusione
5. Stato dell'arte nella Fissione Nucleare

1959: la storia ha inizio a Padova



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA





CONSORZIO RFX
Ricerca Formazione Innovazione

Istituito nel 1996
Vi operano oltre 230 persone



RFX-mod2



NBTF-Neutral Beam Test Facility



**Consiglio Nazionale
delle Ricerche**



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA**

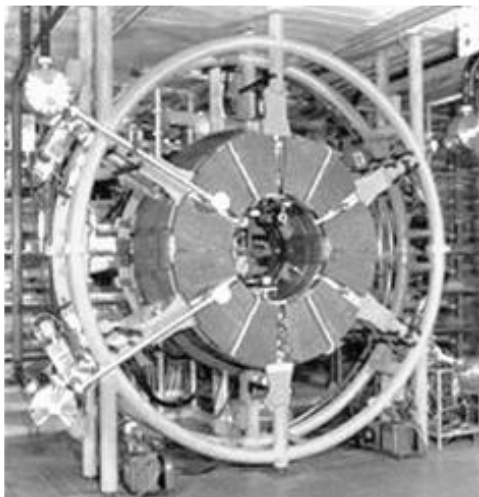


Reversed Field Pinch

PNIR 2021-27 – RFX Infrastruttura di Ricerca – Alta Priorità – Settore Energia



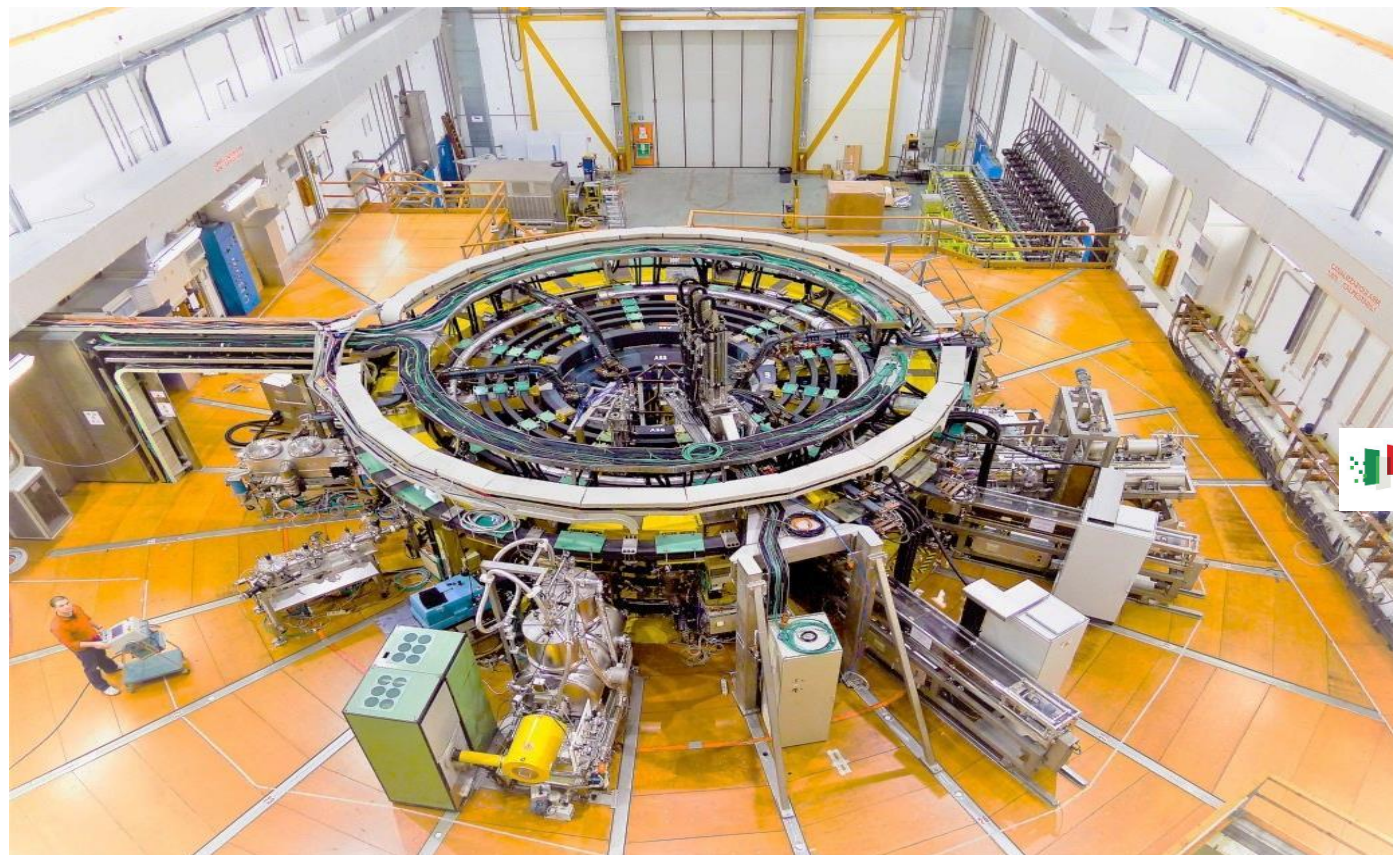
ETA BETA I



ETA BETA II

1974-1978

1979-1989



RFX

RFX-mod

RFX-mod2

1992-1999

2004-2015

2018-2036



REGIONE DEL VENETO



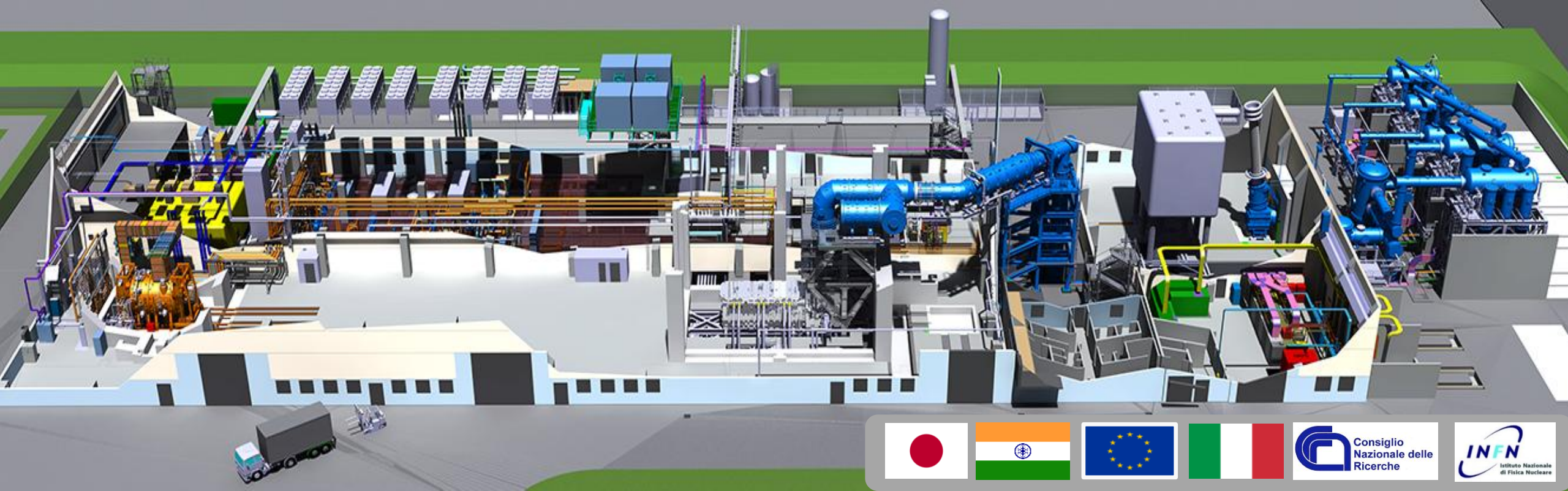
Un moltiplicatore di opportunità.
Da non lasciarsi sfuggire.





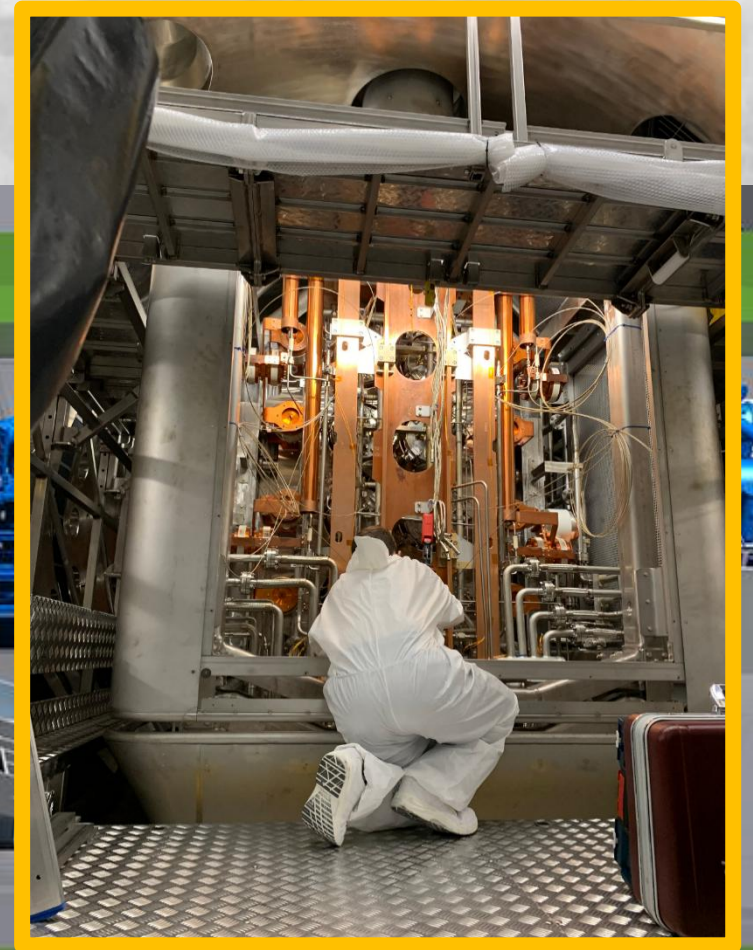
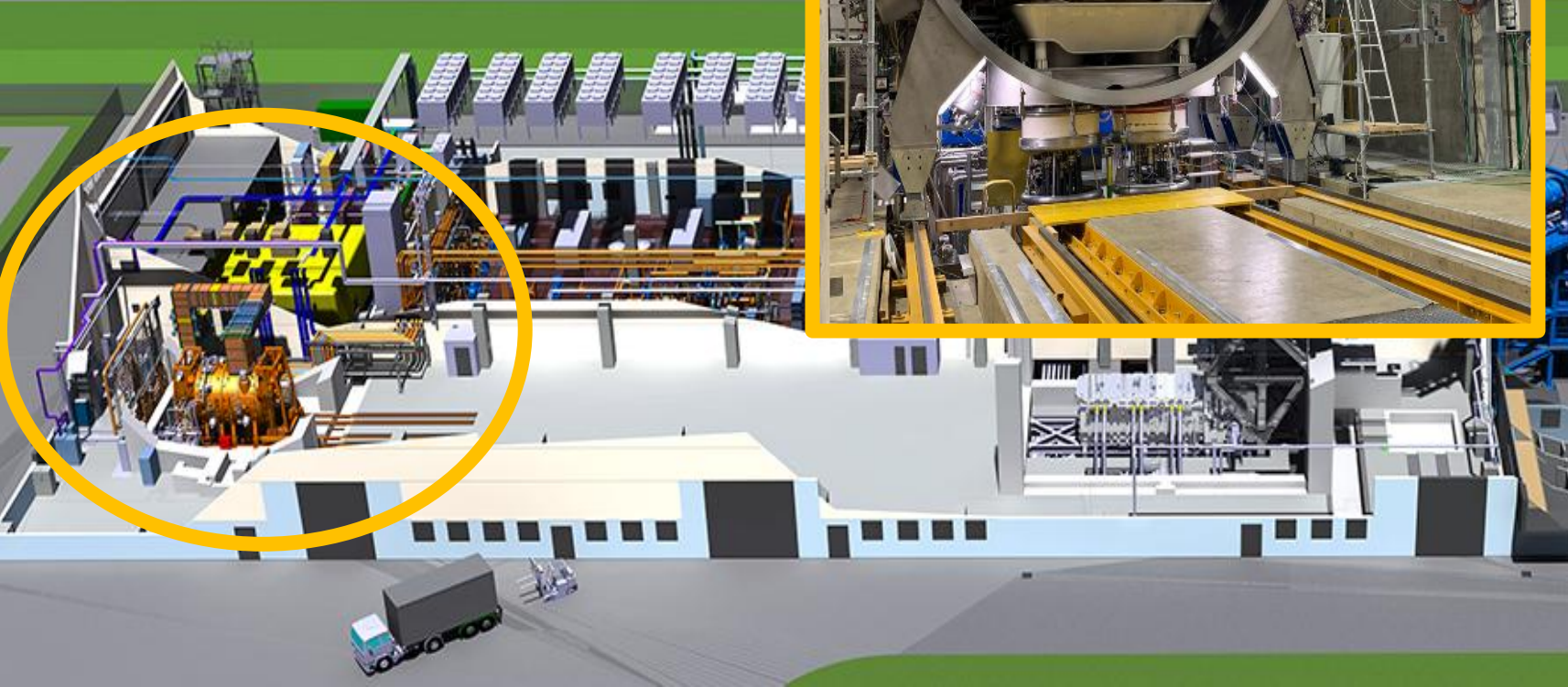
china eu india japan korea russia usa

NBTF-Neutral Beam Test Facility



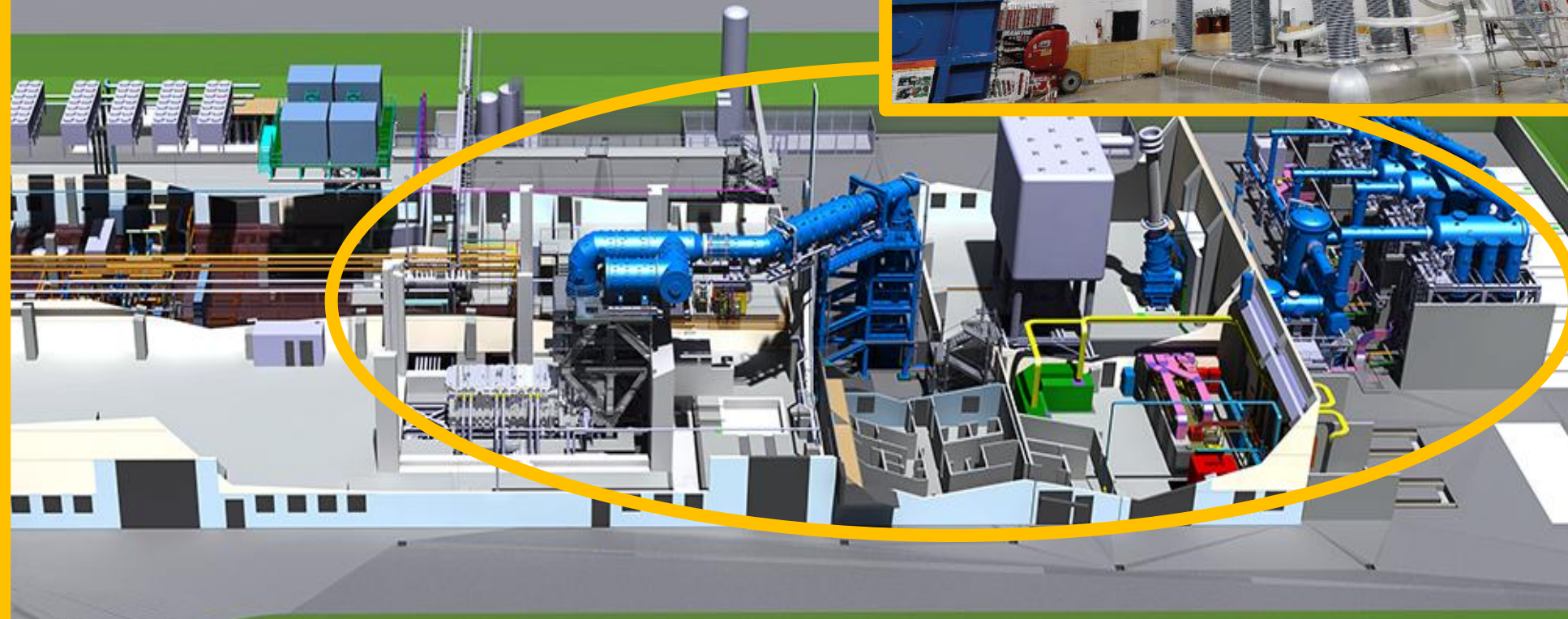
SPIDER

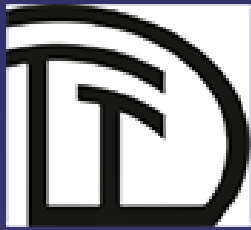
la sorgente di ioni negativi di idrogeno più potente al mondo
in funzione dal 2018



MITICA

la prima realizzazione al mondo
di un **iniettore di neutri**
accelerate a 1 MV da 18 MW





- L'unico nuovo tokamak Europeo in fase di realizzazione a Frascati presso il centro di ricerca ENEA
- Esperimento indispensabile tra ITER e il prototipo di reattore DEMO

Indice:

1. La decarbonizzazione delle fonti energetiche
2. La ricerca sulla fusione nucleare
3. Le attività a Padova: il Consorzio RFX
- 4. La filiera industriale italiana sulla fusione**
5. Stato dell'arte nella Fissione Nucleare

REPORT FINALE

Ricerca

La filiera nucleare italiana di fronte alle opportunità della fusione e della rivoluzione green:

Una filiera strategica per la futura competitività dell'Italia

Gli attori che hanno partecipato alla survey

IMPRESE



CENTRI DI RICERCA



UNIVERSITÀ



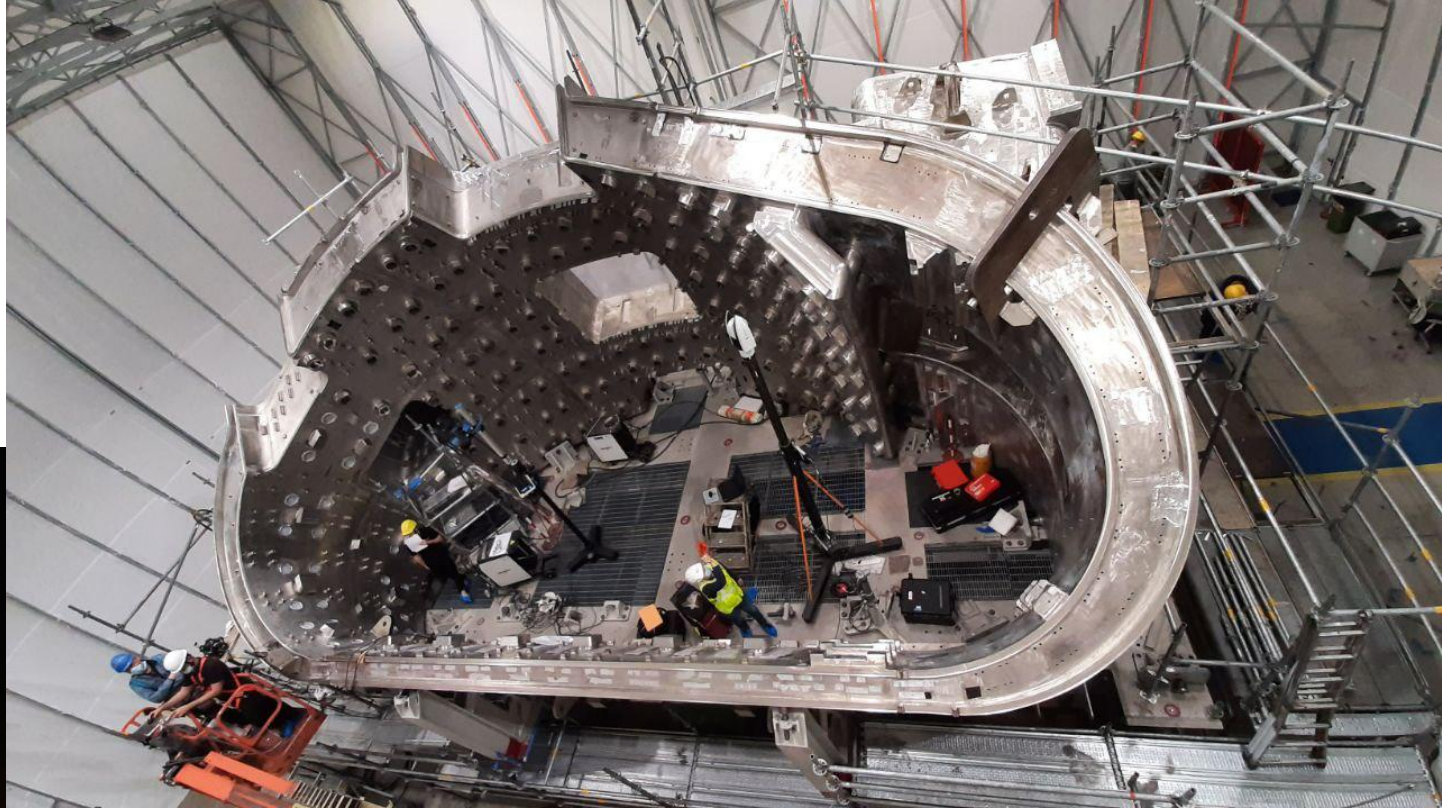


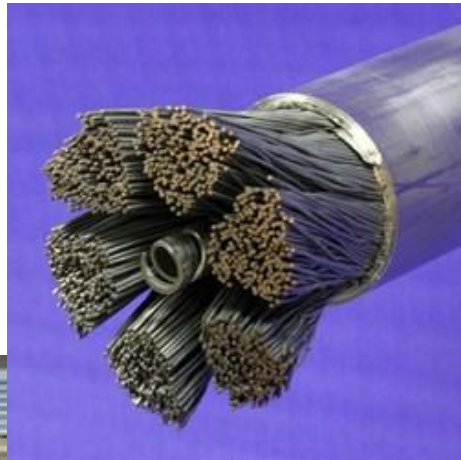
ENEA

walter tosto 



ANSALDO
NUCLEARE
Ansaldo Energia Group








CONSORZIO RFX
Ricerca Formazione Innovazione

 **EEI**
ITALIAN
POWER
TECHNOLOGY

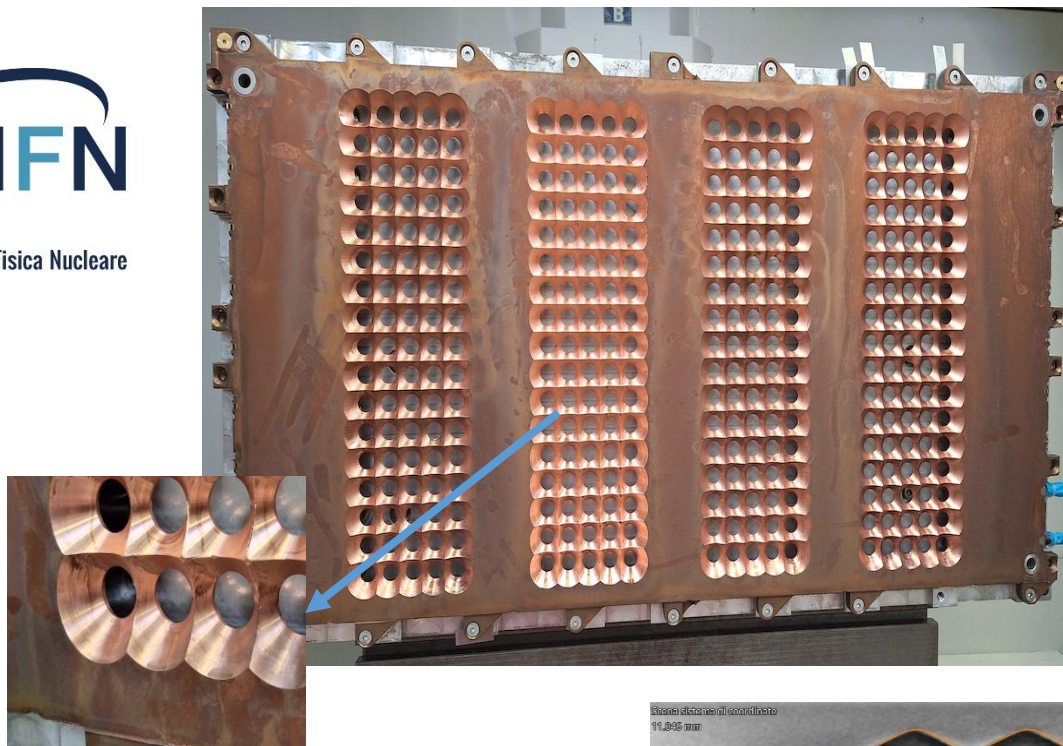
 **OCem**
POWER ELECTRONICS


Nidec ASI S.p.A.

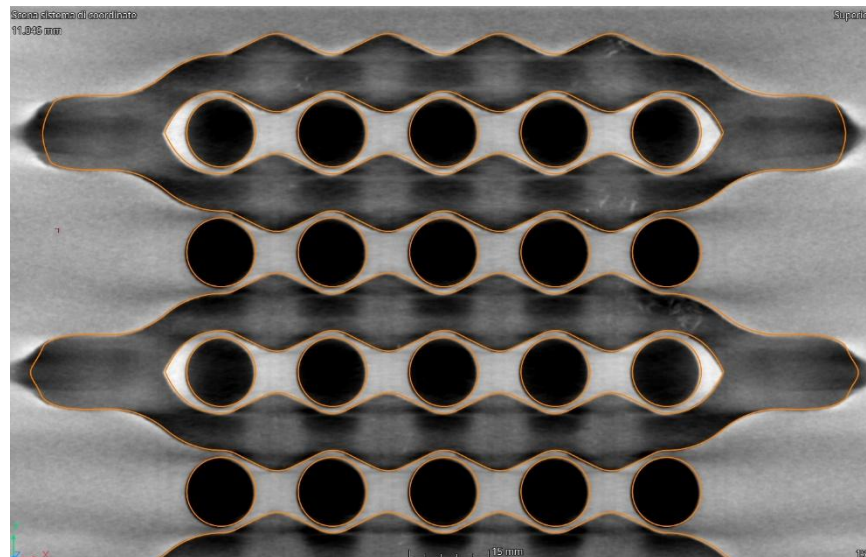




Istituto Nazionale di Fisica Nucleare



Sviluppo di componenti complessi e di grandi dimensioni con la tecnica della Manifattura Additiva



Indice:

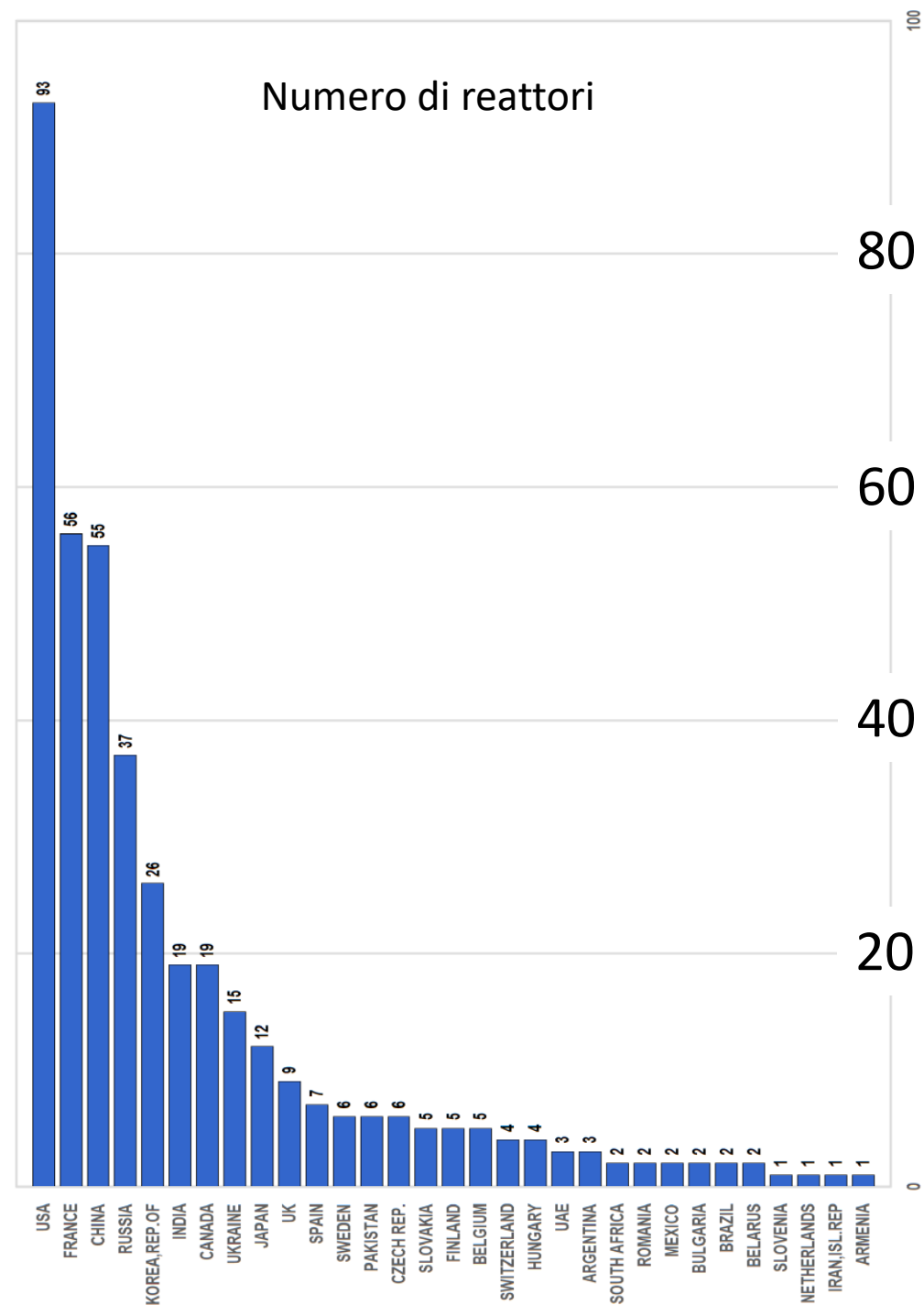
1. La decarbonizzazione delle fonti energetiche
2. La ricerca sulla fusione nucleare
3. Le attività a Padova: il Consorzio RFX
4. La filiera industriale italiana sulla fusione
5. **Stato dell'arte nella Fissione Nucleare**



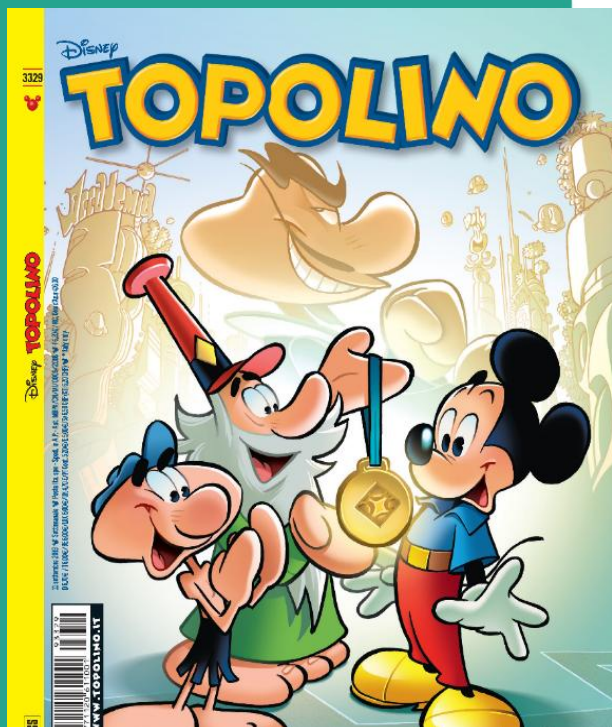
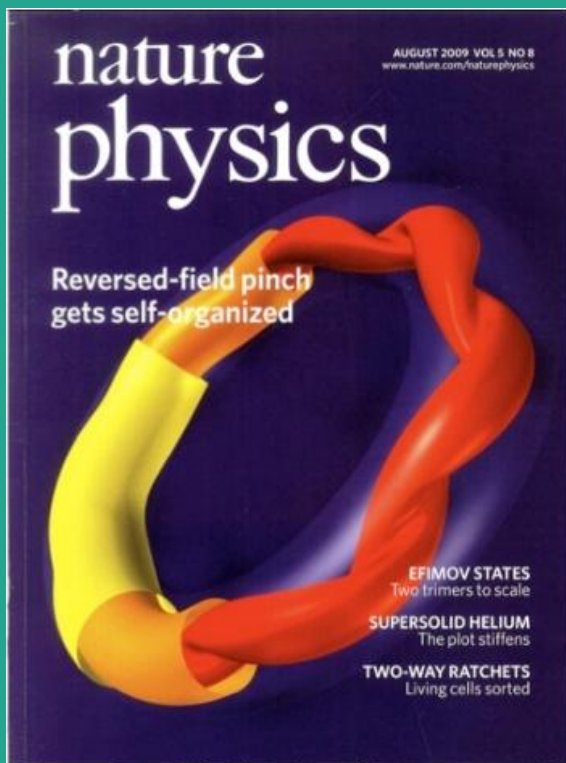
Fissione Nucleare

Stato dell'Arte

- ✓ Impianti in funzione: **> 430 (taglia tipica ≈1 GW)**
 - ✓ Share produzione molto variabile: Francia 65%, Finlandia 42%, Svizzera 32%, Spagna 20%, USA 19%, UK 12,5%, Cina 5%
 - ✓ Tecnologie: **PWR ≈70%**, BWR ≈15%, PWRH ≈11%
- ✓ Numero di impianti in costruzione: **> 60 (PWR ≈85%)**
 - ✓ **Cina: 28**
 - ✓ India: 7
 - ✓ Egitto, Russia e Turchia: 4
 - ✓ Bangladesh, Giappone, Corea del Sud, Ucraina, UK: 2
- ✓ Numero di impianti di **"Generation III and III+" oper./costr.: > 15**
 - ✓ Caratteristiche:
 - ✓ Migliorata tecnologia del combustibile
 - ✓ Rendimento più elevato
 - ✓ Sicurezza attiva migliorata e PASSIVA introdotta nel progetto
 - ✓ Progetto Standard -> ridotti costi capitale e manutenzione



Grazie per l'attenzione!



SETTIMANA DELLA SOSTENIBILITÀ

25-28 MARZO 2025



CONFINDUSTRIA
VENETO EST

Area Metropolitana
Venezia Padova Rovigo Treviso

Backup

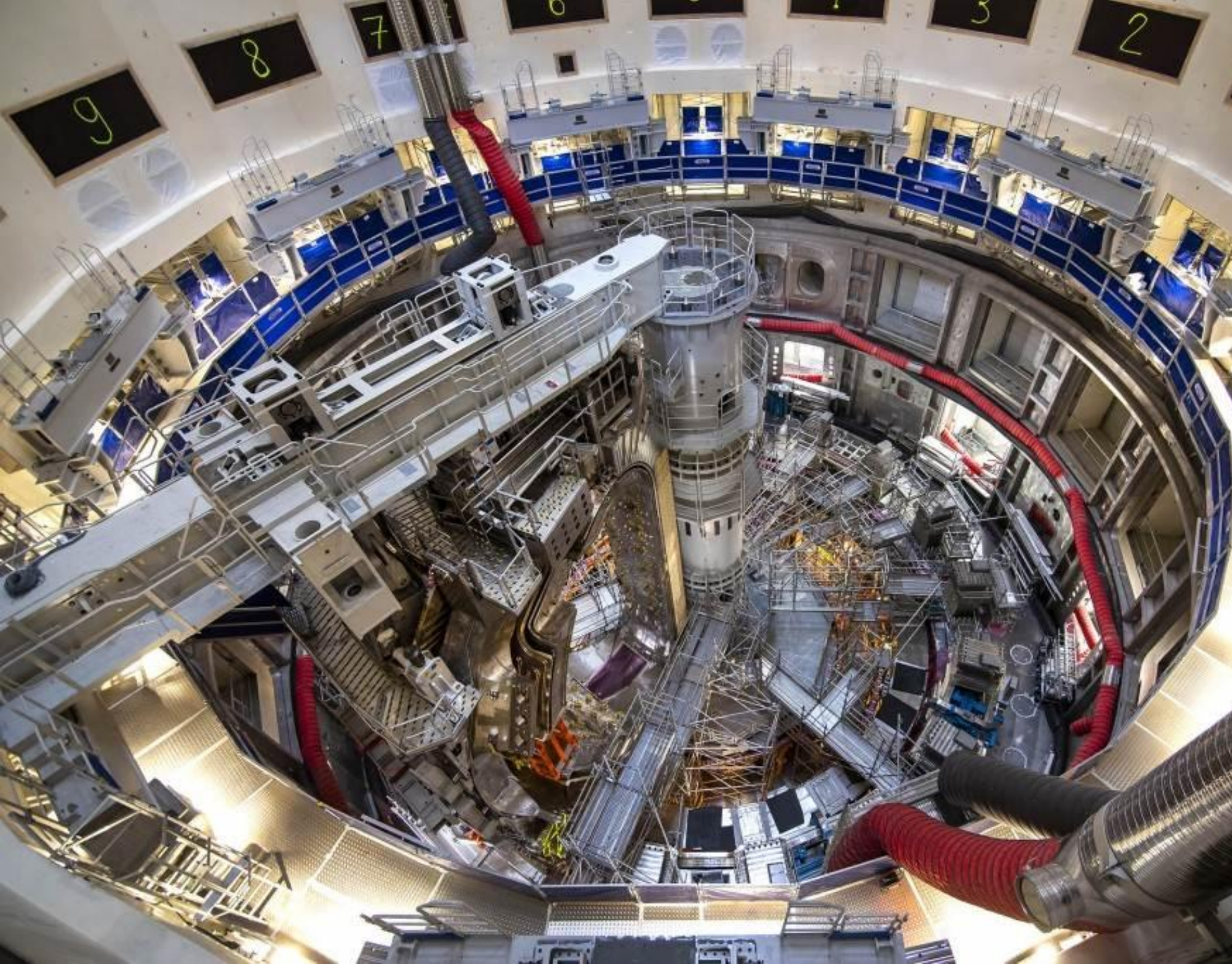


1985 From the Joint statement
USA-CCCP:
***"A nuclear war cannot be won and
must never be fought,"***

**85% of world GDP
50% of the world population**

La Fusione a confinamento magnetico e la pace

- ✓ La più ampia collaborazione internazionale
- ✓ L'uso pacifico dell'energia nucleare
- ✓ Per il beneficio di tutta l'umanità
- ✓ Costituendo un paradigma per altre iniziative di rilevanza planetaria



Raggio maggiore del plasma
6.2 m

Raggio minore del plasma
2.0 m

Volume di plasma
800 m³

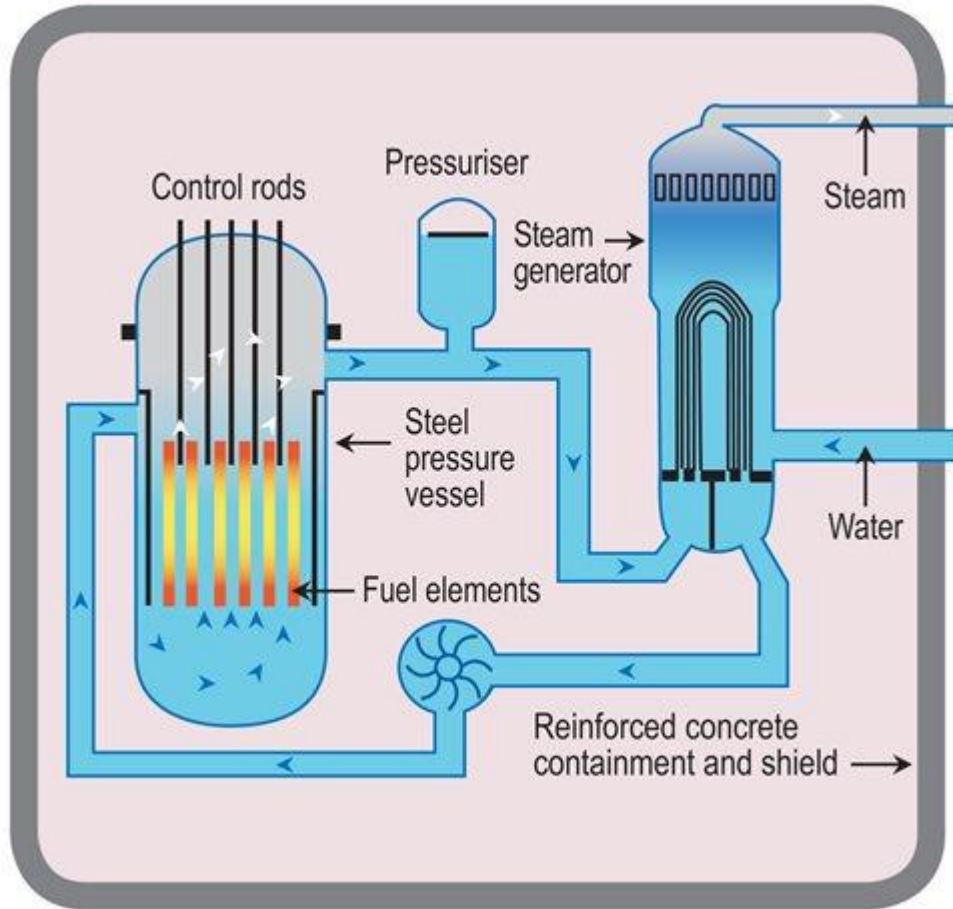
Potenza riscaldamento
50 MW

Potenza da reazioni di fusione
500 MW per 400 s

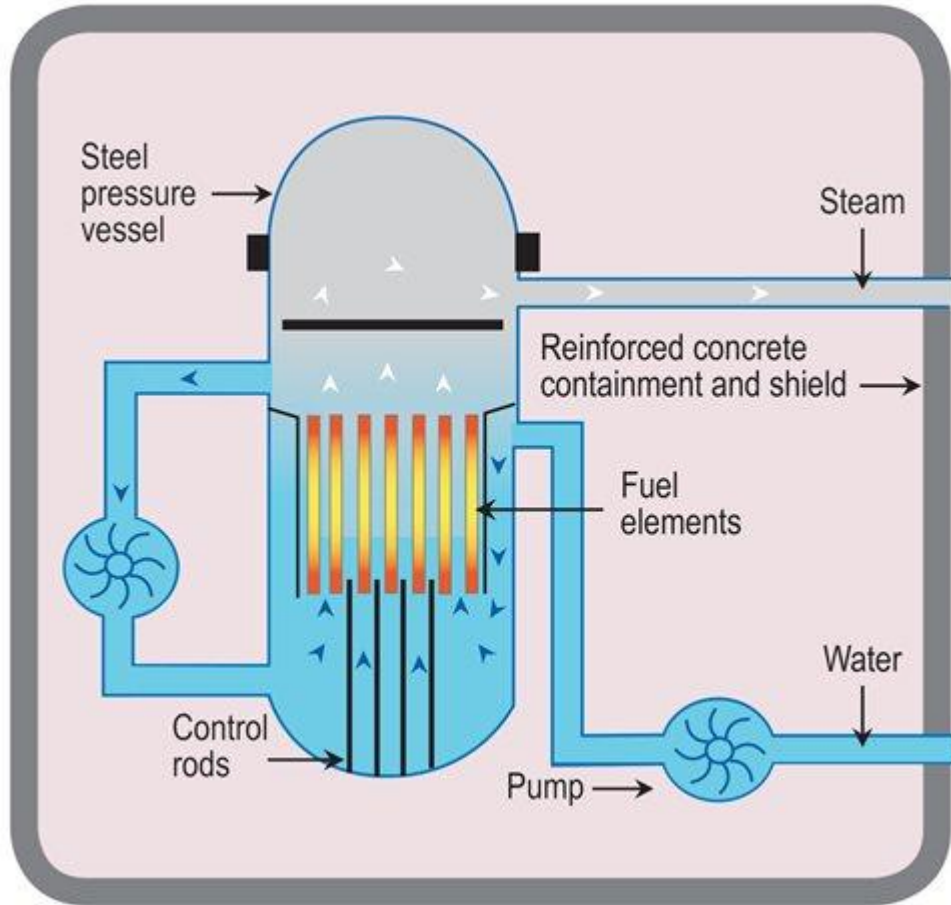
Campo toroidale
5.3 T

Corrente di plasma
15 MA

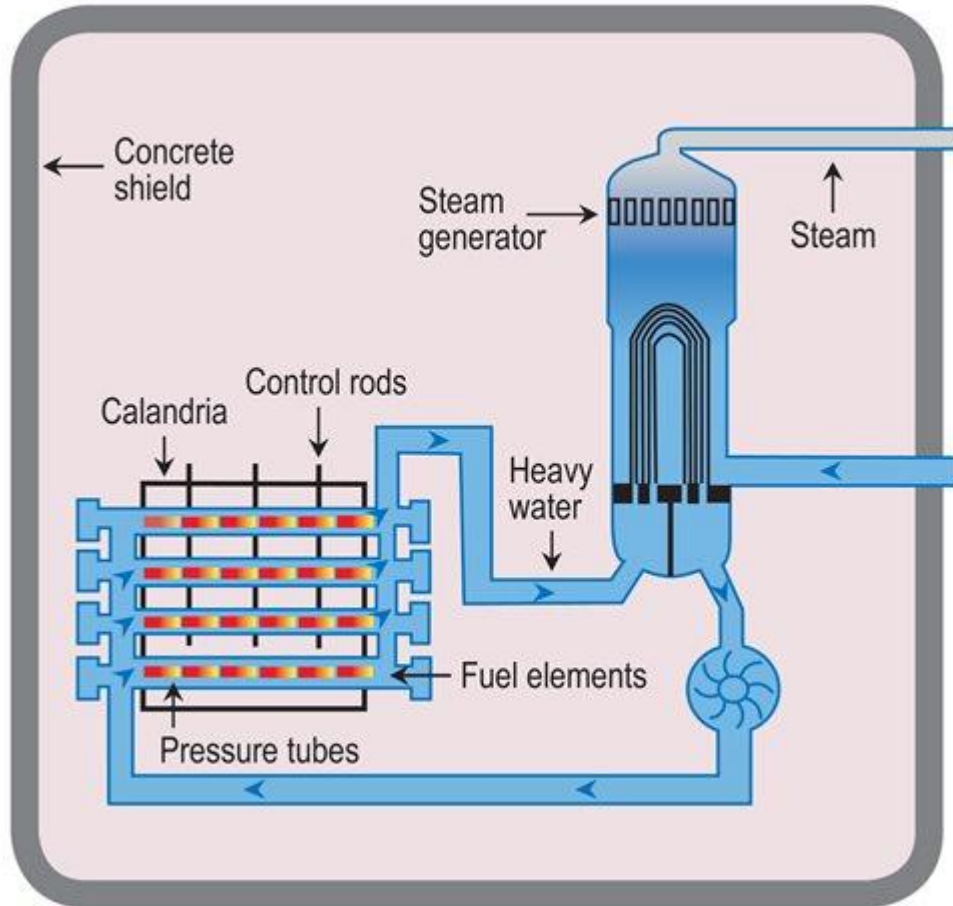
Temperatura ionica
8 keV



Pressurized water reactors (PWRs) make up almost 70% of the global reactor fleet. The design is distinguished by having a primary cooling circuit which flows through the core of the reactor, and a secondary circuit in which steam is generated to drive the turbine. Water in the primary circuit is prevented from boiling by pressurising the reactors. Water in the secondary circuit is under less pressure and therefore boils, turning the turbine to generate electricity.



Boiling water reactors (BWRs) are the second most common reactor type globally, making up approximately 15% of the global fleet. Unlike PWRs, this design has a single circuit in which water is held at a pressure that allows it to boil. The steam generated in the reactor is fed directly to the turbine. BWRs are primarily found in the US, Japan, Sweden and Taiwan.



Pressurized heavy water reactors (PWHRs) are the third most common reactor type, making up 11% of the global fleet. The design uses heavy water, a chemically different form of water, to cool and control the nuclear reactions. By using heavy water, it is possible to use naturally-occurring uranium as fuel, rather than the enriched fuel used in PWRs and BWRs. Heavy-water reactors are mostly associated with Canada, but they are also used in India, Argentina, Romania, Pakistan and China.