



2050: il ruolo della ricerca in fisica delle alte energie

M.Martini

Dipartimento Fisica Nucleare Subnucleare e delle radiazioni, Univ. G.Marconi
INFN, Laboratori di Frascati

La ricerca 40 anni fa ...

1976:

Entrata in funzione del Super Proton Synchrotron, SPS, al CERN.

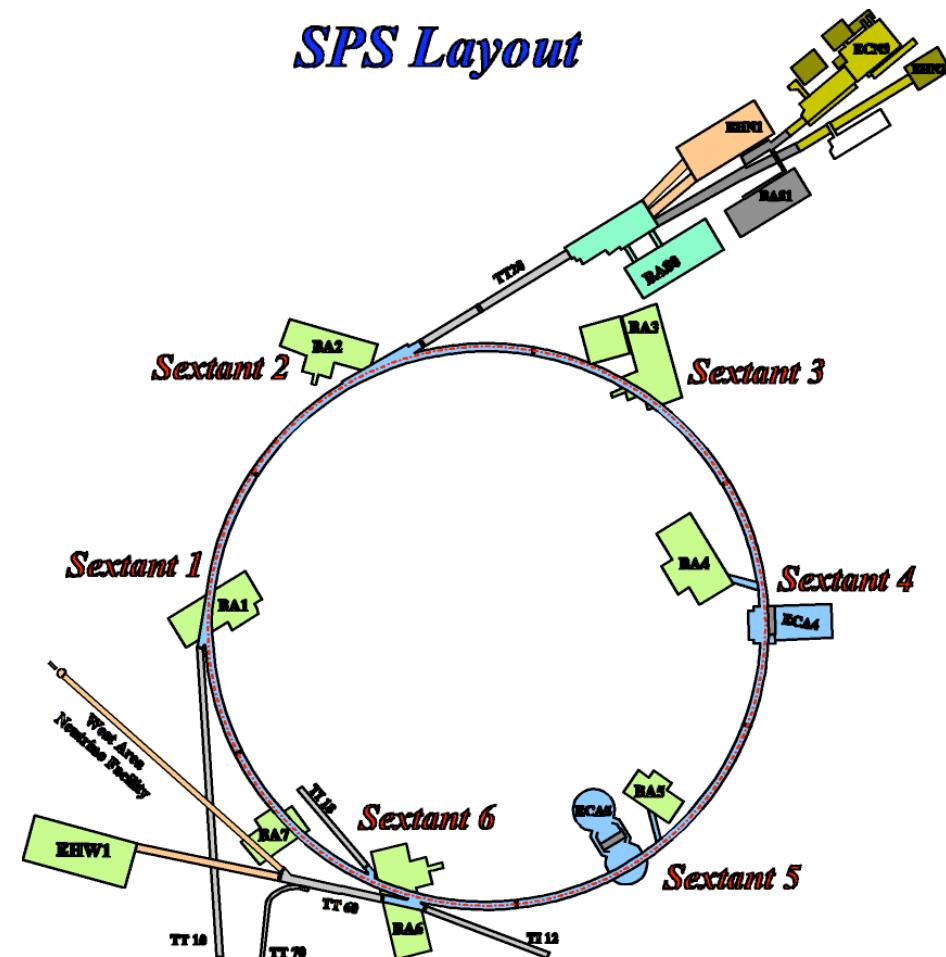
Circonferenza: 6.9 Km

Energia Massima: 400 GeV

Utilizzato per accelerare
elettroni e positroni.

Maggiori scoperte:

- 1983, scoperta dei bosoni W e Z
- 1999 scoperta della violazione diretta di CP



La ricerca oggi ...

2009:

Entrata in funzione del Large Hadron Collider, LHC, sempre al CERN.

Circonferenza: 27 Km

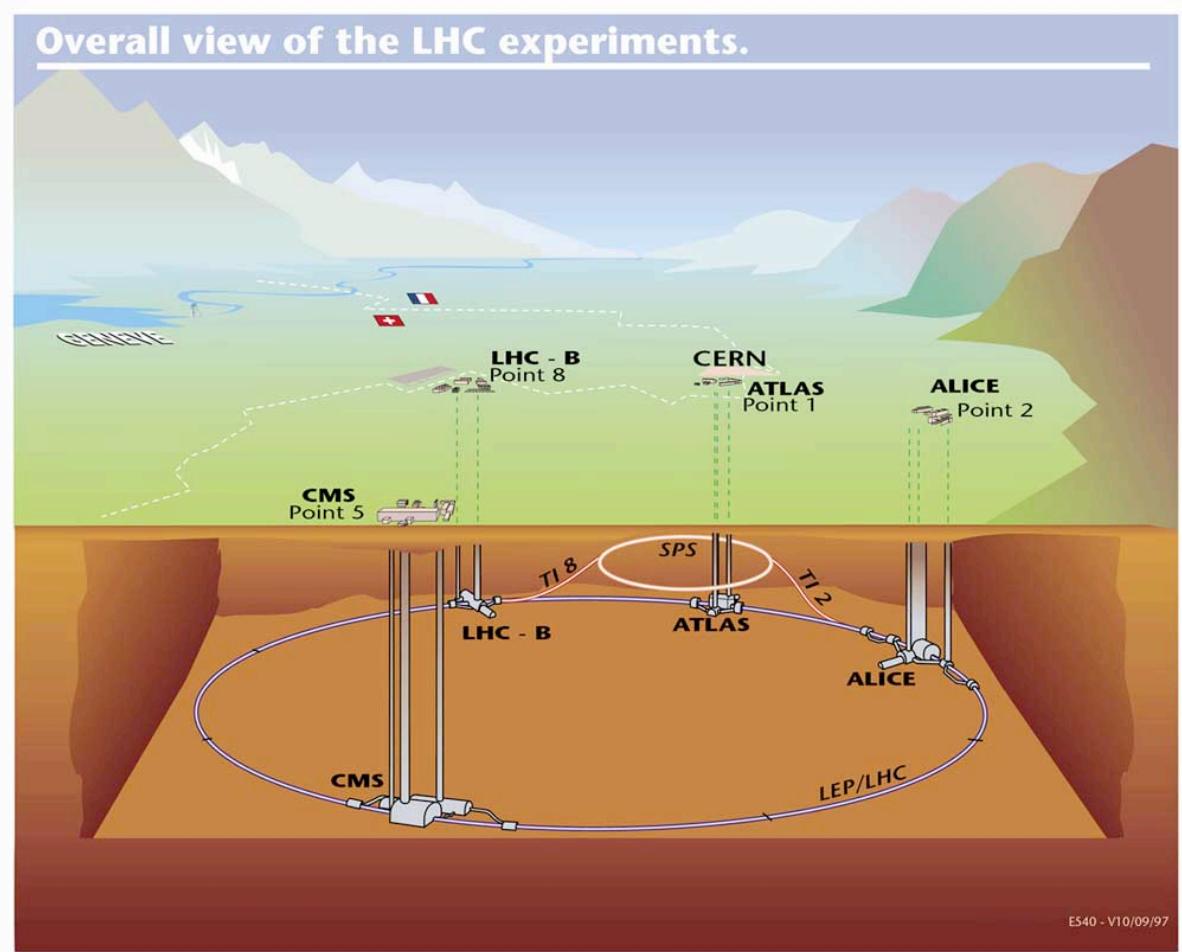
Energia Massima: 14 TeV

Utilizzato per accelerare protoni.

Maggiori scoperte:

- 2012: scoperta del bosone di Higgs

Teorizzato nel 1964 ... lo stesso ordine di grandezza dei tempi che stiamo considerando.



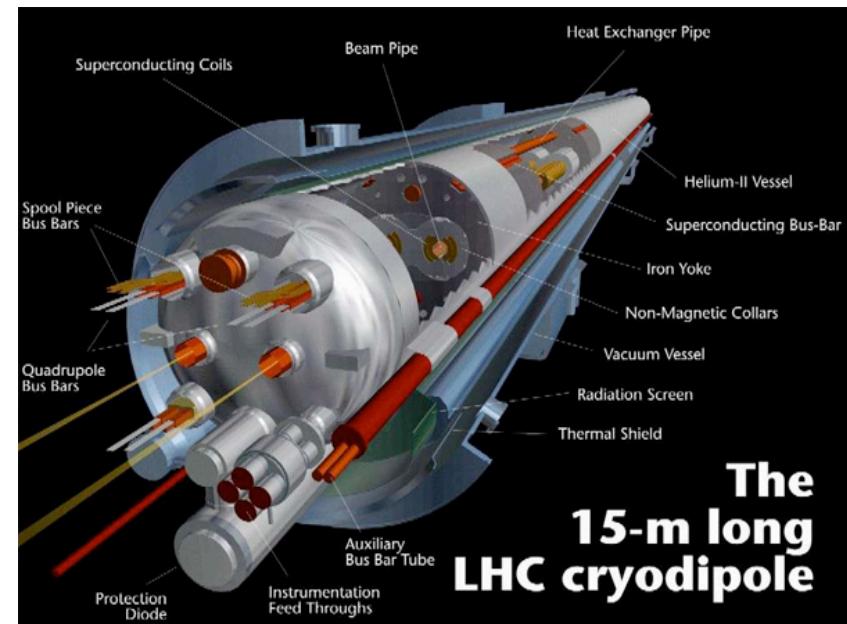
Cosa cambia in 40 anni ...

Per passare dal SPS al LHC sono state vinte sfide tecnologiche riguardanti ogni singolo componente della macchina e degli esperimenti.

Un esempio? SPS usa elettromagneti convenzionali a temperatura ambiente. LHC ha 1600 magneti superconduttori in lega Niobio-Titanio raffreddati a 1.9K distribuiti su 27 Km.

La ricerca congiunta tra EPR e Aziende crea sviluppo tecnologico che si traduce in commesse milionarie per le industrie.

Non è sempre possibile capire a priori in quale settore queste innovazioni potranno essere usate e con che vantaggi.



INFN e settore energia

Negli ultimi anni, l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare ha sviluppato piani di Trasferimento Tecnologico alle aziende.

Questo settore si inserisce nel progetto INFN-Energia per lo sviluppo delle competenze e delle strumentazioni nel settore della fisica nucleare per la produzione energetica:

- trasferimento tecnologico
- ADS, reattori veloci, bruciamento e trasmutazione scorie
- tecniche di produzione e monitoraggio di neutroni veloci
- fisica del reattore
- fusione nucleare

Come si inserisce il nucleare nella RoadMap 2050?

Considerazioni dall'EU

Dall'Energy Roadmap 2050 rilasciato dalla Commissione Europea:

The EU-27 has the largest number of commercial nuclear power stations in the world: some 150 nuclear reactors are in operation, providing around 30% of the EU's electricity and 60% of low carbon electricity. Although nuclear is a proven technology, in some MS it faces uncertainties regarding public acceptance due to risk perception and often also due to lacking implementation of available technical solutions for long term disposal of nuclear waste. The nuclear accident in Japan could further aggravate public acceptance problems in some MS while possible further increased safety requirements might affect the competitiveness of existing nuclear generation capacities in some MS.

I problemi principali sono la “percezione” del rischio e la mancanza di soluzioni tecniche per il deposito delle scorie. Il tutto aggravato dall’incidente in Giappone.

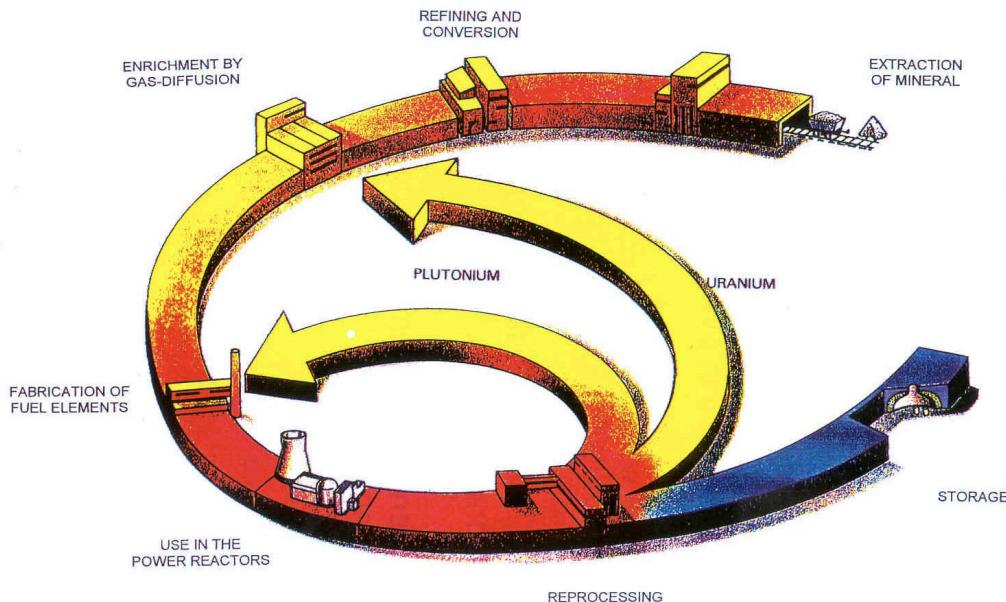
Fissione Nucleare

Circa l'80% dei reattori oggi in uso appartiene alla II generazione. Tra questi anche i reattori della centrale di Fukushima.

Nella seconda metà degli anni '90 vengono resi commerciali i reattori di III generazione caratterizzati da ridondanza dei controlli attivi e passivi e ingegnerizzazione migliorata per il contenimento.

Quali sono i problemi principali?

- Rischio da eventi naturali
- Ciclo aperto del combustibile



Fissione Nucleare

Le scorie prodotte da un reattore di II e III generazione contengono elementi fissili che possono essere riutilizzati.

Il riprocessamento delle scorie è un'operazione pericolosa e non vantaggiosa economicamente e non risolve il problema della scorie a lunghissimo tempo di decadimento.

Lo stoccaggio in depositi geologici segue la regola: **“usa, riempi, sigilla e ... dimentica”**

Problematiche:

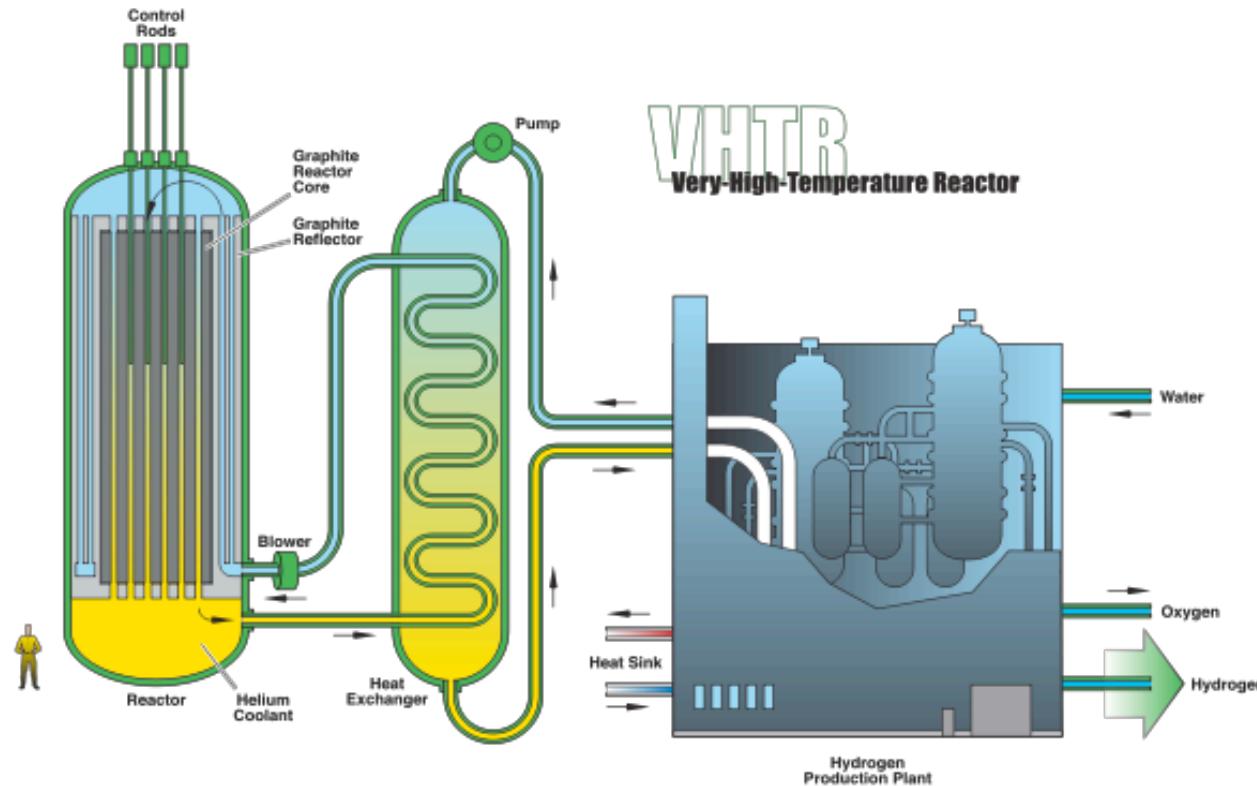
- Scelta del sito e stabilità geologica
- Mancanza di verifiche alla corrosione su periodi lunghi
- Presenza di aspetti non modellizzabili (es. Intrusione umana)
- Accettabilità sociale

Soluzioni?

Reattori di IV generazione

Combustibile: ancora Uranio e Plutonio

6 soluzioni possibili in fase di studio.



Commerciali dal 2030?

Reattori di IV generazione

Sviluppo promosso dal GIF, Generation IV International Forum, per conto del DOE.

Obiettivi:

- Migliore sicurezza nucleare
- Limitazione proliferazione nucleare
- Minimizzare utilizzo di risorse naturali
- Diminuire costi di esercizio e costruzione degli impianti
- RIDUZIONE DELLE SCORIE

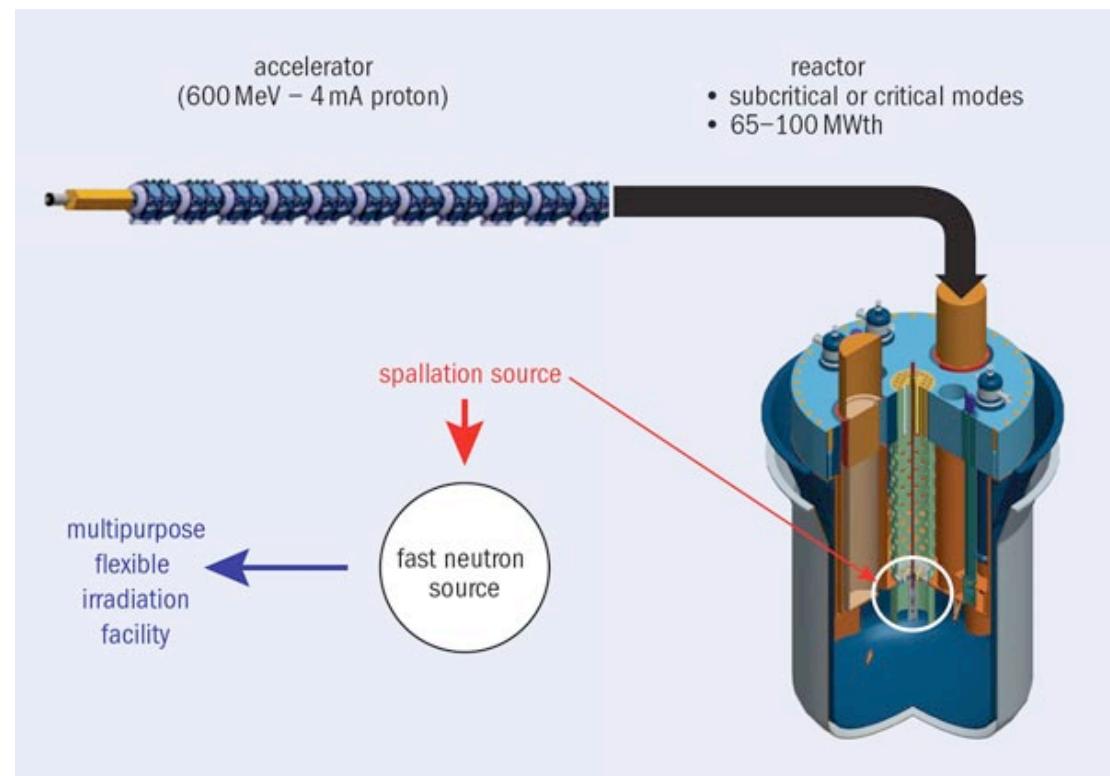
Altre applicazioni: utilizzo di reattori VHTR (very high temperature reactor) per la produzione di idrogeno per celle a combustibile (ciclo zolfo-iodio con efficienza maggiore dell'elettrolisi (50%) e non richiede idrocarburi)

Sistemi ADS

Filosofia diversa seguono gli Accelerator Driven System, ADS.

Reattori sottocritici non capaci di mantenere una reazione a catena senza una fonte esterna di neutroni.

Per il funzionamento il sistema viene accoppiato ad un acceleratore di protoni (1 GeV) fatti collidere su bersagli di Piombo-Bismuto (neutroni per spallazione).



Sistemi ADS

Il primo ADS proposto è stato il “**Rubbiatron**” teorizzato da Carlo Rubbia (reattore sottocritico con Torio, raffreddamento a piombo liquido alimentato da un sincrotrone).

Vantaggi:

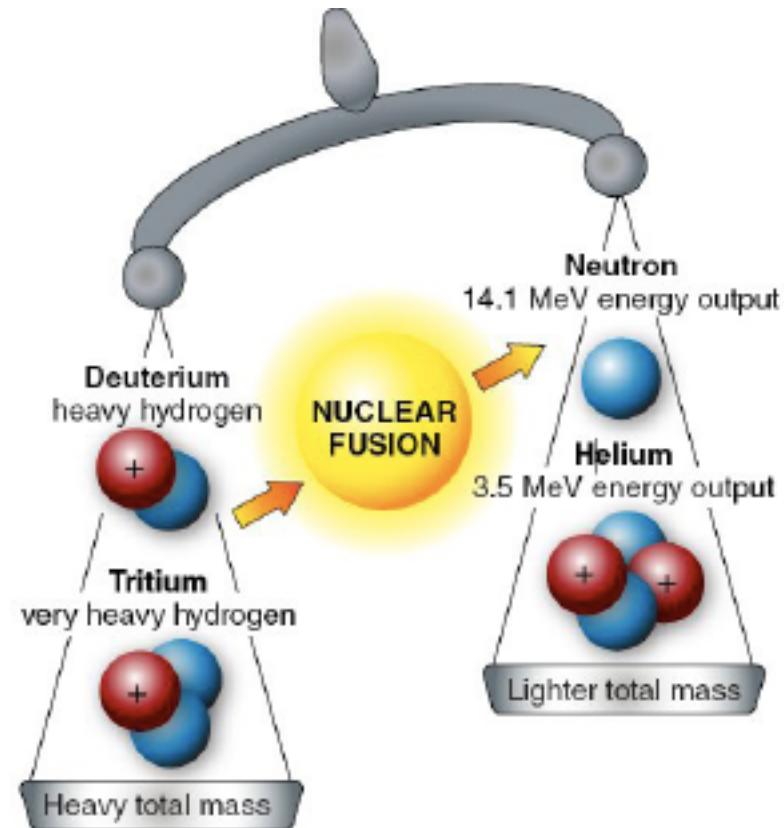
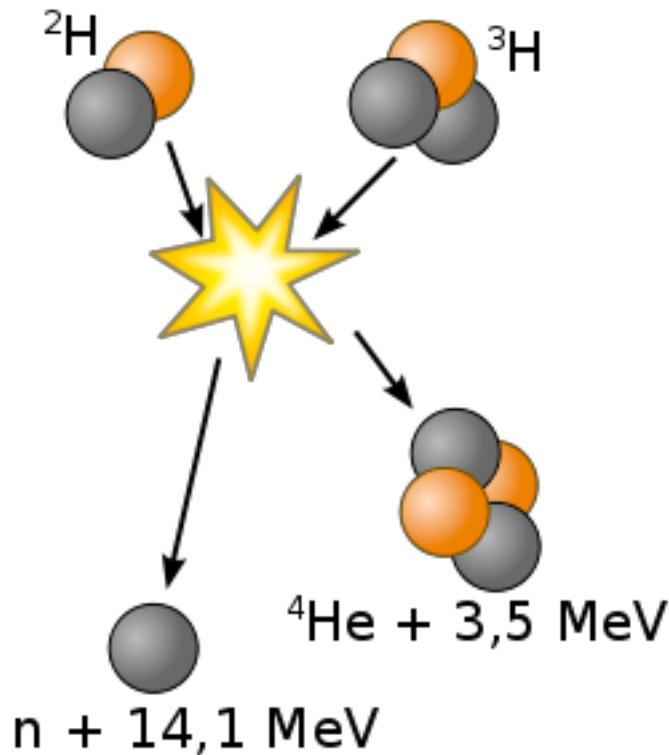
- Torio abbondante in natura
- Pochissimo plutonio prodotto (no proliferazione nucleare)
- Minor quantità di scorie
- Possibilità di bruciare elementi a lunga vita media presenti nelle scorie già accumulate.
- Reattori intrinsecamente sicuri

Progetto scientificamente realizzabile “oggi”, non serve ricerca scientifica ma solo tecnologica: riduzione costo acceleratore, riduzione consumo acceleratore, ingegnerizzazione del sistema.

Reattori a Fusione

La chimera della produzione energetica da processi nucleari è la realizzazione di reattori a Fusione.

Nella fusione, due nuclei leggeri (^2H , ^3H) si “fondono” in uno più pesante (^4He) con rilascio di energia $\Delta E = \Delta m c^2$



Reattori a Fusione

Perché la fusione?

- è una fonte praticamente illimitata e diffusa
- Non produce gas serra
- I prodotti della reazione non sono radioattivi → ridotto problema delle scorie
- Il processo è intrinsecamente sicuro
- Non è facilmente utilizzabile per la proliferazione nucleare

La fusione risolverebbe tutte le problematiche sorte nell'utilizzo dei reattori a fissione.

Confinamento inerziale

Nel Sole, reazione protone-protone ad altissima temperatura.

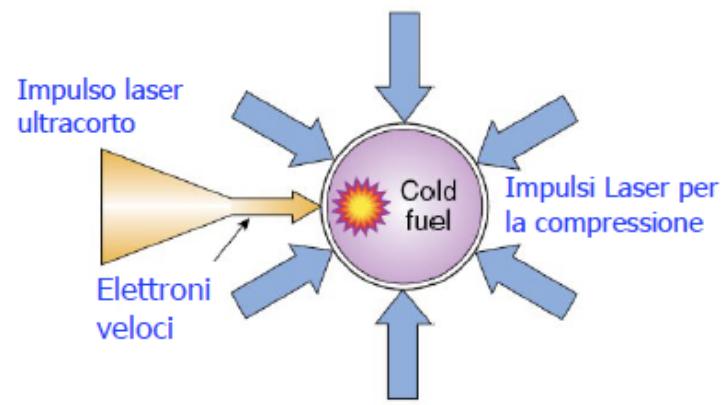
In laboratorio, la reazione più probabile a temperature più “basse” è quella D+T

Limiti tecnologici allo sfruttamento della fusione: confinamento.

Temperature troppo elevate per poter essere contenute in un materiale.

Confinamento inerziale:

Fasci laser di alta potenza in impulsi molto corti su targhette compresse di D+T.



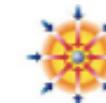
**confinamento
inerziale** \Rightarrow



Riscaldamento:
un impulso di radiazione
(luce, raggi X, particelle
veloci) riscalda la superficie
del bersaglio ($R=2-3$ mm)



Compressione:
La rapida espansione del
plasma prodotto in superficie
provoca per reazione la
compressione del combustibile



Ignizione:
Quando la parte centrale del
combustibile ha raggiunto
20 volte la densità del Pb
a 10^8 K, hanno luogo
le reazioni termonucleari

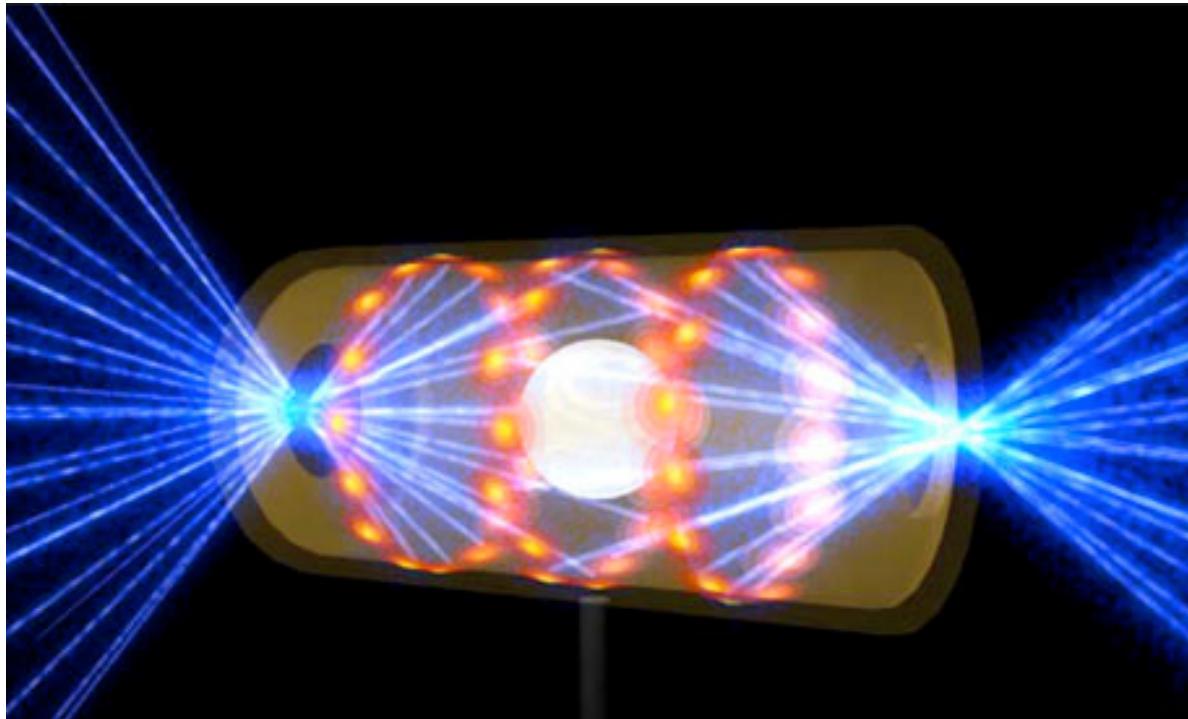


Combustione:
La combustione t.n. si espande
rapidamente e coinvolge
tutto il combustibile compresso
rilasciando molta più energia
di quanta ne sia stata spesa

Confinamento inerziale

La ricerca sul confinamento inerziale è principalmente basata sullo studio di fasci laser ad alta intensità e impulsi molto corti.

Il NIF, National Ignition Facility, alla fine del 2013 ha raggiunto il pareggio energetico tra potenza prodotta e quella assorbita dai 192 laser utilizzati.



Confinamento inerziale

A Frascati, è stato realizzato FLAME, il più potente laser al mondo per accelerare onde di plasma.

Caratteristiche: impulso 10 fs (6 J), ripetizione 10Hz, potenza 300 TW.

FLAME è stato costruito per studi sulla accelerazione degli elettroni.

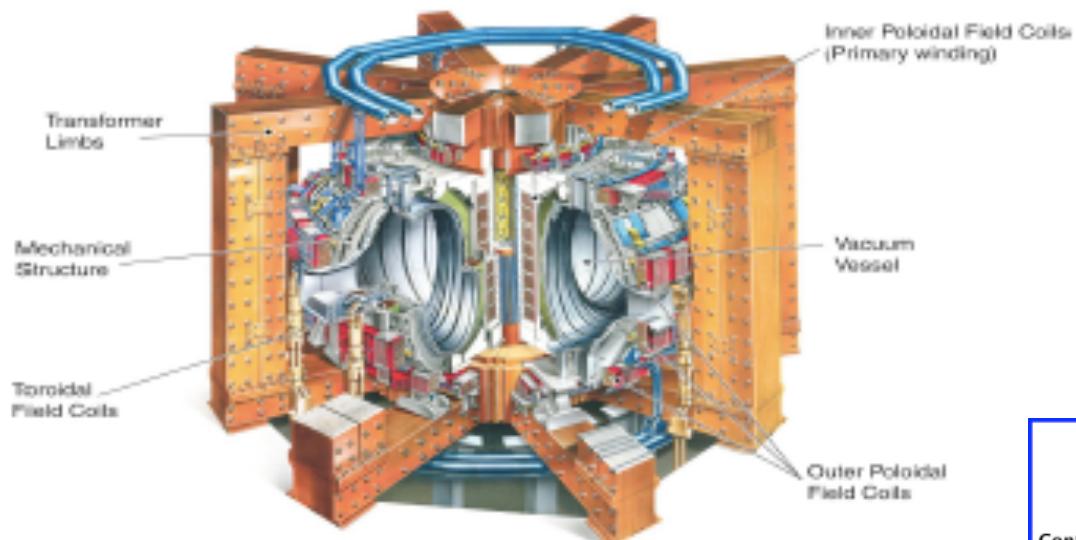
Utilizzabile in moltissimi settori, tra cui la Fusione (PlasmonX)!



Il confinamento inerziale ha portato ottimi risultati ma le aspettative maggiori sono per il confinamento magnetico

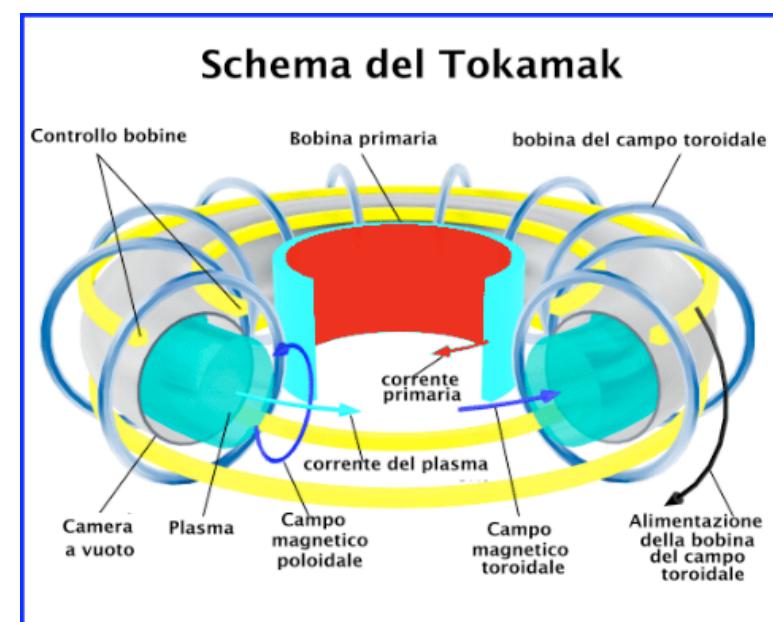
Confinamento magnetico

Confinamento magnetico:



← **confinamento
magnetico
(il tokamak)**

Sovrapponendo un campo magnetico toroidale con uno poloidale, il plasma viene vincolato a rimanere nella camera dove viene riscaldato da onde ad alta frequenza o da fasci di particelle.

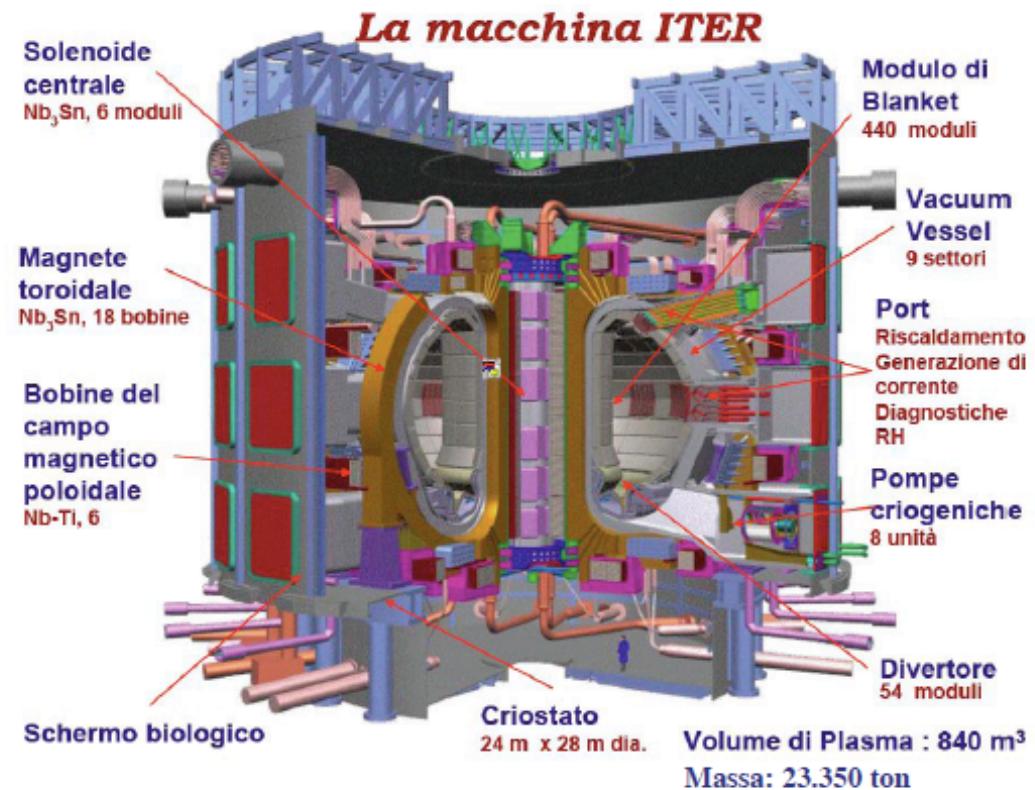


ITER

Per un uso commerciale della fusione l'energia spesa per l'ignizione e il confinamento deve essere minore di quella prodotta dal reattore (bilancio positivo).

ITER è un progetto internazionale per la realizzazione di un reattore sperimentale a fusione dal processo D+T con confinamento magnetico (Tokamak).

Volume del plasma: 837 m^3
Temperatura: $1,5 \times 10^8 \text{ K}$
Durata dell'impulso: >300s



ITER

Reattore di ricerca non solo sulla fusione:

- Studi sulla fisica del plasma
- Soluzioni innovative nel campo della criogenia
- Tecniche di alto vuoto
- Sistemi diagnostici di controllo
- Ricerca e sviluppo su magneti superconduttori



ITER può essere considerato un vero e proprio esperimento scientifico-ingegneristico. La riuscita aprirebbe la strada alla fase di R&D per impianti civili di produzione di energia elettrica basati sulla fusione.

Ad oggi, si attende, dopo numerosi ritardi, la produzione del primo plasma nel 2020.

In uno scenario fino al 2050, possiamo pensare anche al successore di ITER, DEMO. Ancora progetto di R&D ma per la produzione sperimentale di energia elettrica. Progetto atteso per il 2030 (?)

Considerazioni sul nucleare

Fissione: un reattore di IV generazione apporta migliorie significative, ma non risolve le problematiche principali.

Un sistema ADS, allo stesso modo, minimizza le scorie ma non le elimina del tutto. Sistemi guidati da acceleratori possono essere studiati meglio per la trasmutazione nucleare per la riduzione anche delle scorie già stoccate nei depositi.

Lo sfruttamento della fusione è senza dubbio la soluzione ottimale ma in un contesto 2050, “ai ritmi attuali”, la scala dei tempi è troppo stretta.

**Nel 1973, alla domanda:
“ When fusion will be ready?”**

**Artsimovic rispondeva:
“Fusion will be ready when Society will need it”**

Conclusioni sul nucleare

Gli obiettivi posti dalla RoadMap 2050 sono challenging ma danno una finestra temporale lunga su cui lavorare.

La ricerca scientifica di base offre oggi soluzioni utilizzabili in contesti diversi da quelli per cui sono state realizzate.

L'utilizzo delle rinnovabili DEVE essere incrementato anche con sistemi oggi in fase di sviluppo.

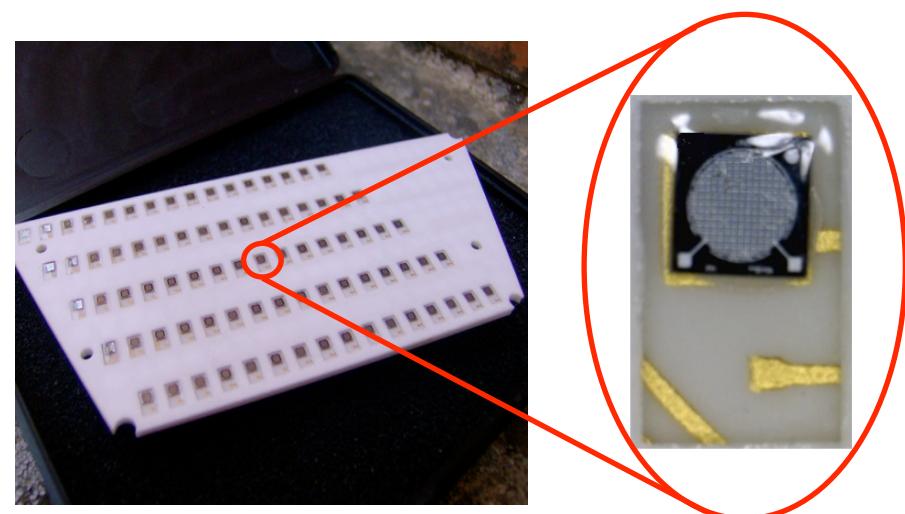
Gli studi sulla fusione nucleare stanno procedendo ma per il 2050 è auspicabile solo la fine delle varie fasi di R&D.

Scenario 2050? Rinnovabili + ADS. Centrali di II generazione arrivate a fine vita. R&D per centrali civili a fusione nucleare.

Ricerca in fisica e rinnovabili

Nell'ambito dei laboratori Nazionali di Frascati vi sono anche altri progetti, che partono con finalità prettamente scientifica, ma possono contribuire alla ricerca nel campo energetico:

- **NEXT**: laboratorio partito nel 2001 per lo studio delle nanotecnologie. Ricerca su nanotubi e nanostrutture. Attualmente in corso studi su pannelli solari a nanotubi di carbonio.
- **Rivelatori di Particelle**: molti rivelatori oggi utilizzano fotodiоди a valanga ($p+$, i , p , $n+$) per convertire la luce proveniente dal rivelatore (passaggio di particelle) in un segnale elettrico.



Ricerca in fisica e ... Open Day

Per chi fosse interessato:

Sabato 17 Maggio torna l'Open Day dei Laboratori Nazionali di Frascati.

Tutte le attività e gli esperimenti saranno visitabili.

Programma di conferenze divulgative per l'intera giornata.

Apertura dalle 9 alle 19 con ingresso libero su prenotazione:

www.lnf.infn.it/edu/openday/

