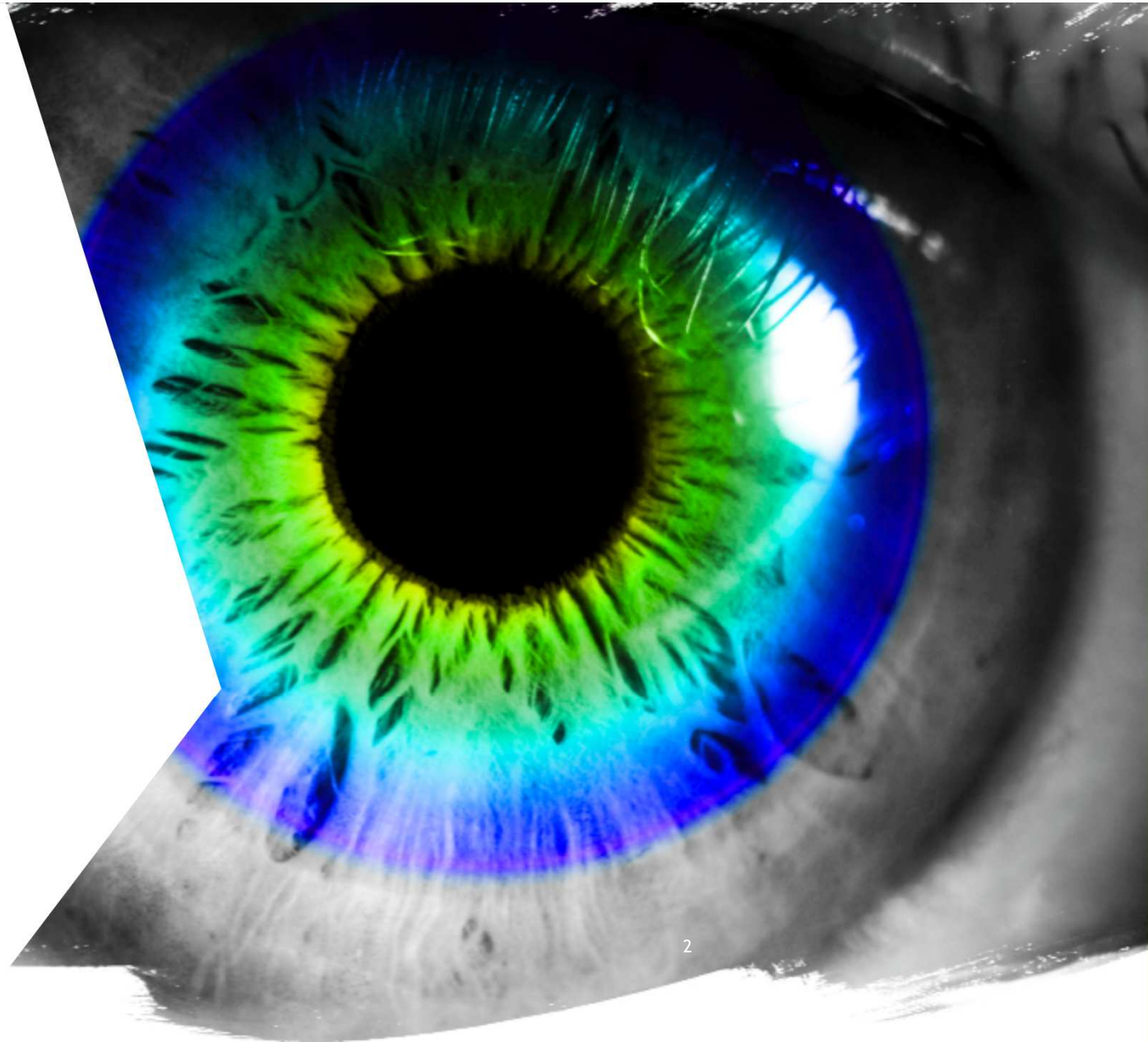


*Fissione e Fusione  
Nucleare.*

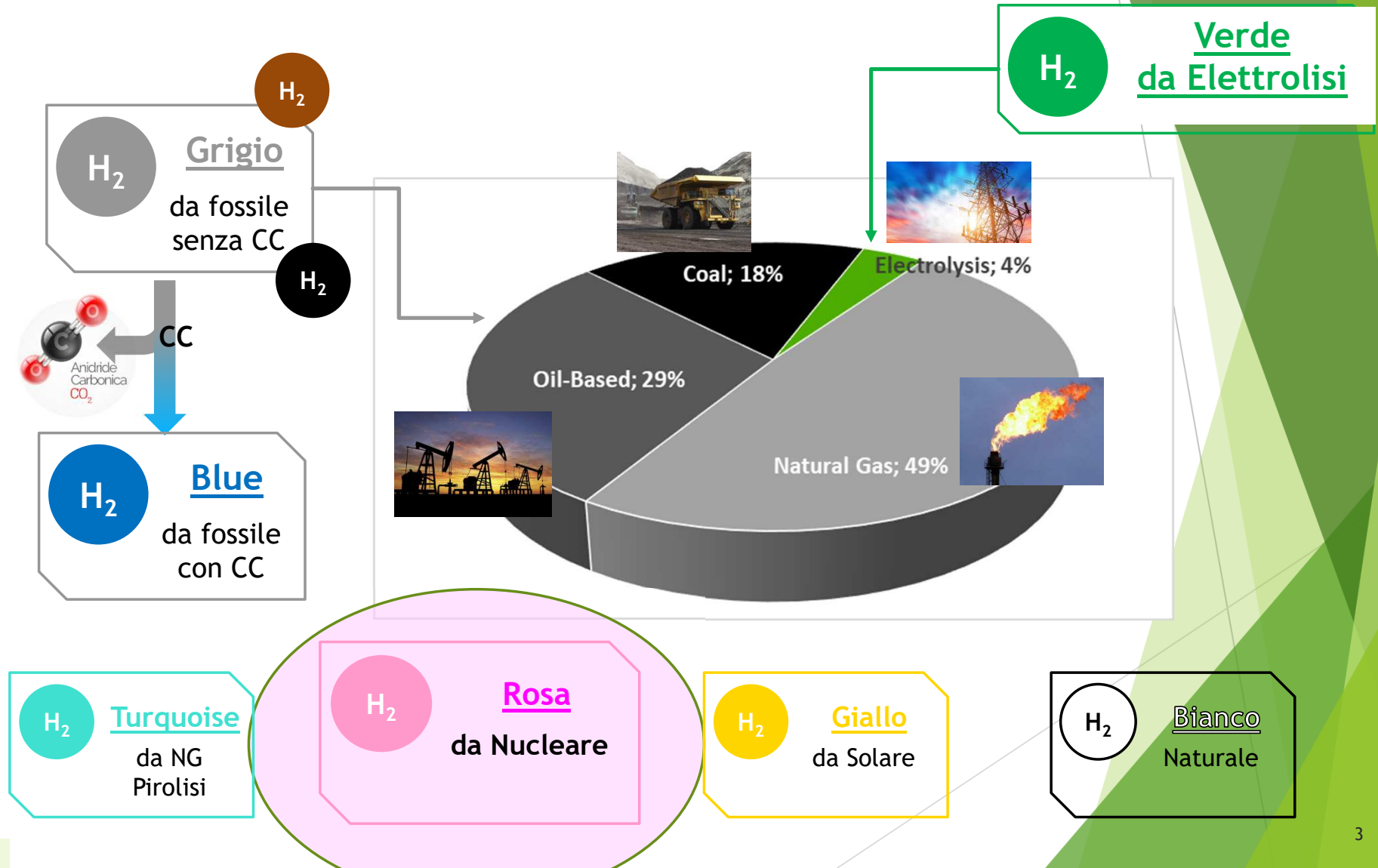
**La Fissione  
Nucleare:  
nuovi  
sviluppi  
e ...  
vecchi guai**



**Amarcord....  
I colori  
dell'Idrogeno**



# I colori dell'idrogeno



## I colori dell'elettrolisi

**Idrogeno "rosa"**. Si definisce rosa quando viene ricavato dall'acqua con l'elettrolisi descritta sopra, ma la corrente elettrica che si utilizza in questo caso proviene da una centrale nucleare. Le emissioni di CO<sub>2</sub> sono bensì nulle, ma occorre considerare le scorie nucleari (che vanno confinate in siti speciali perché rimangono radioattive per oltre 400 anni). In Europa solamente la Francia, ricca di centrali nucleari, produce una certa quantità di idrogeno "rosa" mentre Inghilterra e Germania, pur dotate anch'esse di centrali nucleari, preferiscono produrlo dalle energie rinnovabili. Anche perché entrambe hanno avviato un programma di dismissione progressiva delle loro centrali nucleari, per ragioni economiche e di sicurezza.

# L'Unione europea ha deciso; nucleare e gas naturale sono nella lista green per la transizione energetica

07 DICEMBRE 2021

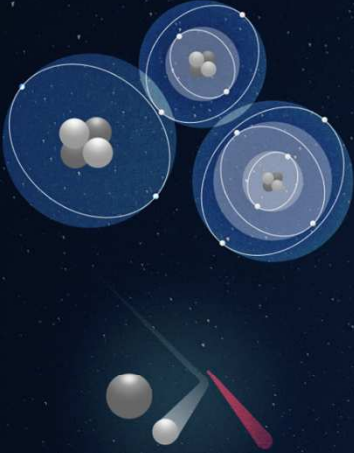
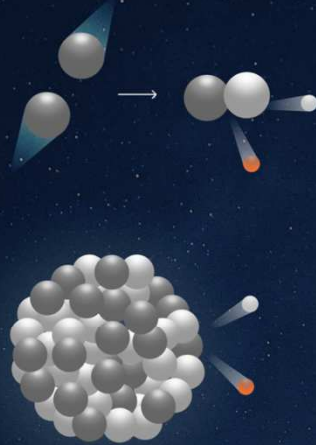
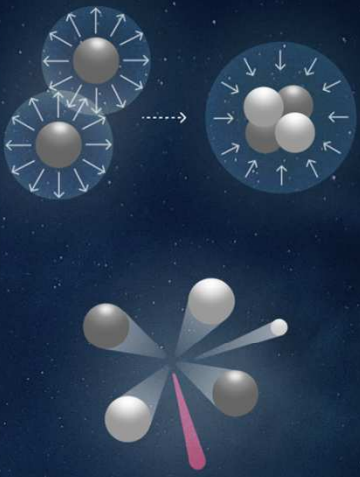
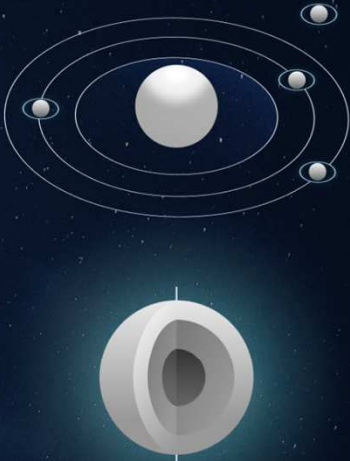
Energia nucleare e gas naturale entreranno nella tassonomia green, la lista delle attività economiche sostenibili, e dunque finanziabili anche con fondi Ue. Dopo giorni di indiscrezioni ha rotto gli indugi il **vicepresidente della Commissione europea Valdis Dombrovskis**, nella conferenza stampa che ha seguito l'Ecofin di oggi: “L’inserimento di gas e nucleare nella tassonomia è questione che è stata sollevata da vari ministri. **Per il mix energetico del futuro abbiamo bisogno di più rinnovabili ma anche di fonti stabili e la Commissione adotterà una tassonomia che copre anche il nucleare e il gas**”, ha confermato Dombrovskis, “Stiamo preparando il nuovo atto delegato, non abbiamo una data concreta per la proposta della Commissione ma sarà fatto nel prossimo futuro senza indugi”. Si chiude così con un compromesso un braccio di ferro durato mesi. **L’ha certamente spuntata la Francia che, forte dei suoi quasi 60 reattori in attività che coprono oltre il 40% del fabbisogno elettrico nazionale, non voleva rinunciare all’attuale vantaggio competitivo.**

*Fissione Nucleare.*

# Un Ripasso sulle nozioni di base



# Quali sono le forze fondamentali della natura?

Le quattro forze fondamentali			
			
<b>FORZA ELETTROMAGNETICA</b>	<b>FORZA NUCLEARE DEBOLE</b>	<b>FORZA NUCLEARE FORTE</b>	<b>FORZA GRAVITAZIONALE</b>
<p><b>Governa</b> l'interazione fra atomi e la formazione di molecole. <b>Permette</b> le reazioni chimiche e l'emissione di luce.</p>	<p><b>Governa</b> il decadimento o la trasformazione di neutroni in protoni e il rilascio di neutrini e radiazioni. <b>Permette</b> le reazioni di fissione di atomi pesanti.</p>	<p><b>Governa</b> la formazione e la stabilità dei nuclei legando insieme protoni e neutroni. <b>Permette</b> la fusione di nuclei di atomi leggeri.</p>	<p><b>Governa</b> la formazione e il movimento di satelliti, pianeti, stelle, galassie e ammassi galattici. <b>Permette</b> alle stelle di innescare reazioni di fusione.</p>

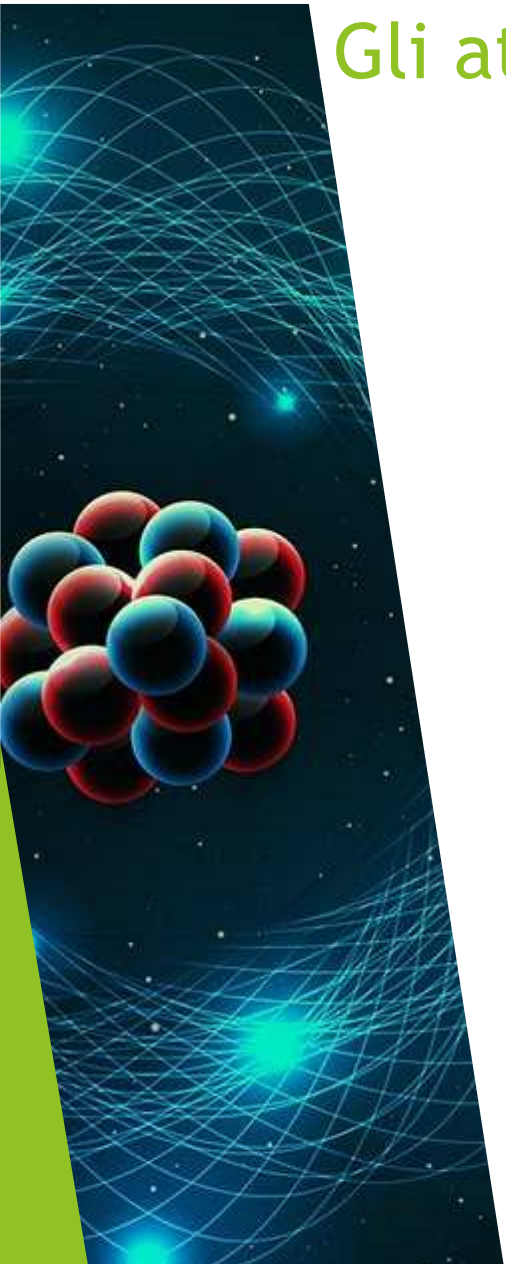
# Le 4 forze fondamentali che tengono insieme il mondo

- La **forza elettromagnetica** è quella che ci permette di leggere queste parole grazie all'elettricità che fa andare il vostro dispositivo, ma è anche quella che produce fotoni, cioè **luce**. La forza elettromagnetica a livello microscopico agisce **fra singole particelle cariche**. Ma quando tante particelle cariche lavorano tutte insieme si possono fare funzionare cose molto più grosse come i **motori elettrici**, e compiere **reazioni chimiche**. Forse non ci avete mai pensato ma, anche quando diamo un calcio a un pallone, gli elettroni che si trovano sulla superficie esterna della nostra scarpa respingono quelli che si trovano sulla superficie della palla. Anche una partita di calcio, in fondo, è un esperimento scientifico.
- La **forza gravitazionale** agisce su tutti i corpi dotati di **massa**. E' la più **debole** di tutte ma è evidente anche a **distanza elevata**. E' quella che fa cadere le mele in testa a Newton, che tiene insieme il Sistema Solare e le Galassie, ma è anche quella che crea una enorme pressione all'interno delle stelle. Questa pressione permette alle stelle stesse di innescare e sostenere la **fusioni dell'Idrogeno** e le fa brillare per miliardi di anni.

Le ultime due forze sono un po' meno visibili delle altre ma altrettanto... fondamentali:

- La **forza nucleare debole** e la **forza nucleare forte**. Dal nome si capisce subito che lavorano nel nucleo degli atomi. In particolare, **la prima è responsabile della conversione di neutroni in protoni e elettroni**, oltre che della radioattività, mentre **la seconda serve a tenere i protoni e i neutroni di un nucleo** legati fra di loro ed a permettere agli atomi di... esistere. E' questa che, contrastando la repulsione elettrica fra particelle positive, evita che ogni protone del nucleo schizzi via da tutti gli altri protoni suoi coinquilini.

# Gli atomi



► Come sappiamo, tutto quello che ci circonda, compresi noi stessi, è fatto di molecole. Le molecole sono composte da atomi legati fra di loro. E **gli atomi** a loro volta **sono fatti di protoni e neutroni - che si trovano nei nuclei - e di elettroni - che si muovono attorno ai nuclei.**

► **Il numero di protoni che si trova nel nucleo di un atomo ci dice di quale elemento stiamo parlando.** L'Idrogeno ha un solo protone, l'Elio due, il Litio tre e così via fino all'Uranio che ne ha novantadue. Nella Tavola Periodica, in realtà, troviamo anche una manciata di altri elementi con più di novantadue protoni, ma questi non esistono in natura: devono essere costruiti in grandi acceleratori di particelle e quasi tutti sopravvivono per meno di un istante. Per oggi ... possiamo lasciarli perdere.



# Gli atomi: la tabella periodica



Periodic Table of the Elements

																		13	14	15	16	17	18																	
																		IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA																	
																		3A	4A	5A	6A	7A	8A																	
1 IA 1A																	2 IIA 2A						3 IIIB 3B	4 IVB 4B	5 VB 5B	6 VIB 6B	7 VIIB 7B	8 VIII 8	9 VIII 8	10 VIII 8	11 IB 1B	12 IIB 2B	13 IIIA 3A	14 IVA 4A	15 VA 5A	16 VIA 6A	17 VIIA 7A	18 VIIIA 8A		
1 H Hydrogen 1.008																	2 He Helium 4.003						3 Li Lithium 6.941	4 Be Beryllium 9.012						5 B Boron 10.811	6 C Carbon 12.011	7 N Nitrogen 14.007	8 O Oxygen 15.999	9 F Fluorine 18.998	10 Ne Neon 20.180					
11 Na Sodium 22.990	12 Mg Magnesium 24.305						19 K Potassium 39.098	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.956	22 Ti Titanium 47.88	23 V Vanadium 50.942	24 Cr Chromium 51.996	25 Mn Manganese 54.938	26 Fe Iron 55.933	27 Co Cobalt 58.933	28 Ni Nickel 58.693	29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.39	31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.61	33 As Arsenic 74.922	34 Se Selenium 78.972	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 84.80																
37 Rb Rubidium 84.468	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.906	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.906	42 Mo Molybdenum 95.95	43 Tc Technetium 98.907	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.906	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.868	48 Cd Cadmium 112.411	49 In Indium 114.818	50 Sn Tin 118.71	51 Sb Antimony 121.760	52 Te Tellurium 127.6	53 I Iodine 126.904	54 Xe Xenon 131.29																							
55 Cs Cesium 132.905	56 Ba Barium 137.327	57-71 Lanthanide Series	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.948	74 W Tungsten 183.85	75 Re Rhenium 186.207	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.22	78 Pt Platinum 195.08	79 Au Gold 196.967	80 Hg Mercury 200.59	81 Tl Thallium 204.383	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.980	84 Po Polonium [208.982]	85 At Astatine 209.987	86 Rn Radon 222.018																							
87 Fr Francium 223.020	88 Ra Radium 226.025	89-103 Lanthanide Series	104 Rf Rutherfordium [261]	105 Db Dubnium [262]	106 Sg Seaborgium [266]	107 Bh Bohrium [264]	108 Hs Hassium [269]	109 Mt Meitnerium [268]	110 Ds Darmstadtium [269]	111 Rg Roentgenium [272]	112 Cn Copernicium [277]																													
			57 La Lanthanum 138.906	58 Ce Cerium 140.115	59 Pr Praseodymium 140.908	60 Nd Neodymium 144.24	61 Pm Promethium 144.913	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.966	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.925	66 Dy Dysprosium 162.50	67 Ho Holmium 164.930	68 Er Erbium 167.26	69 Tm Thulium 168.934	70 Yb Ytterbium 173.04	71 Lu Lutetium 174.967																							
			89 Ac Actinium 227.028	90 Th Thorium 232.038	91 Pa Protactinium 231.036	92 U Uranium 238.029																																		

Normal melting points are in °C.  
 TP = Triple Point  
 Pressure is listed if not 1 atm.  
 Allotrope is listed if more than one allotrope.

Legend:

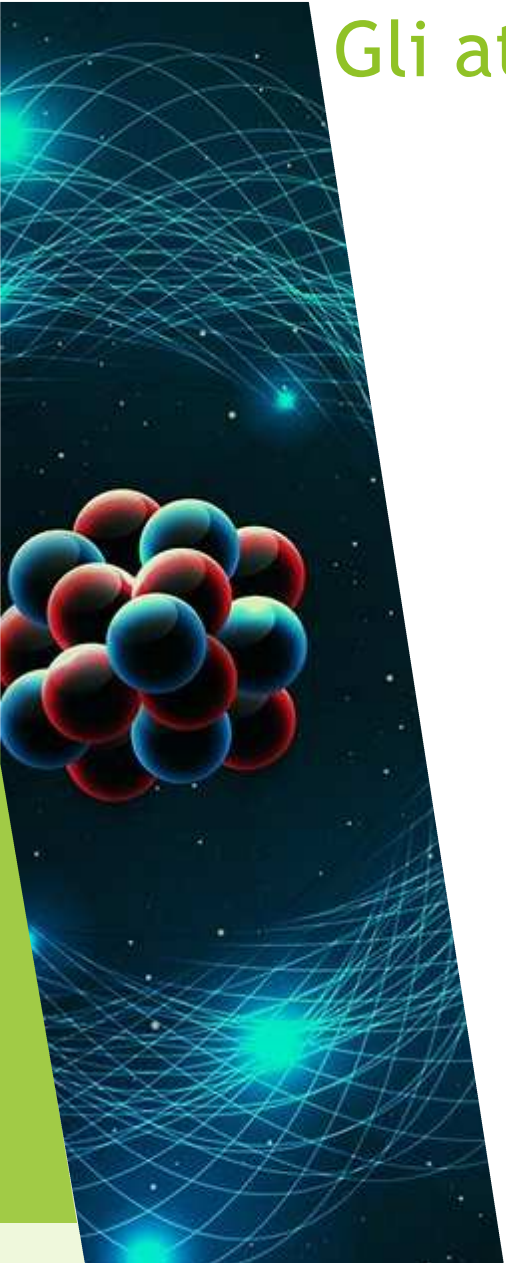
- Alkali Metal
- Alkaline Earth
- Transition Metal
- Basic Metal
- Semimetal
- Nonmetal
- Halogen
- Noble Gas
- Lanthanide
- Actinide

# Gli atomi: gli isotopi

## Cosa sono gli isotopi?

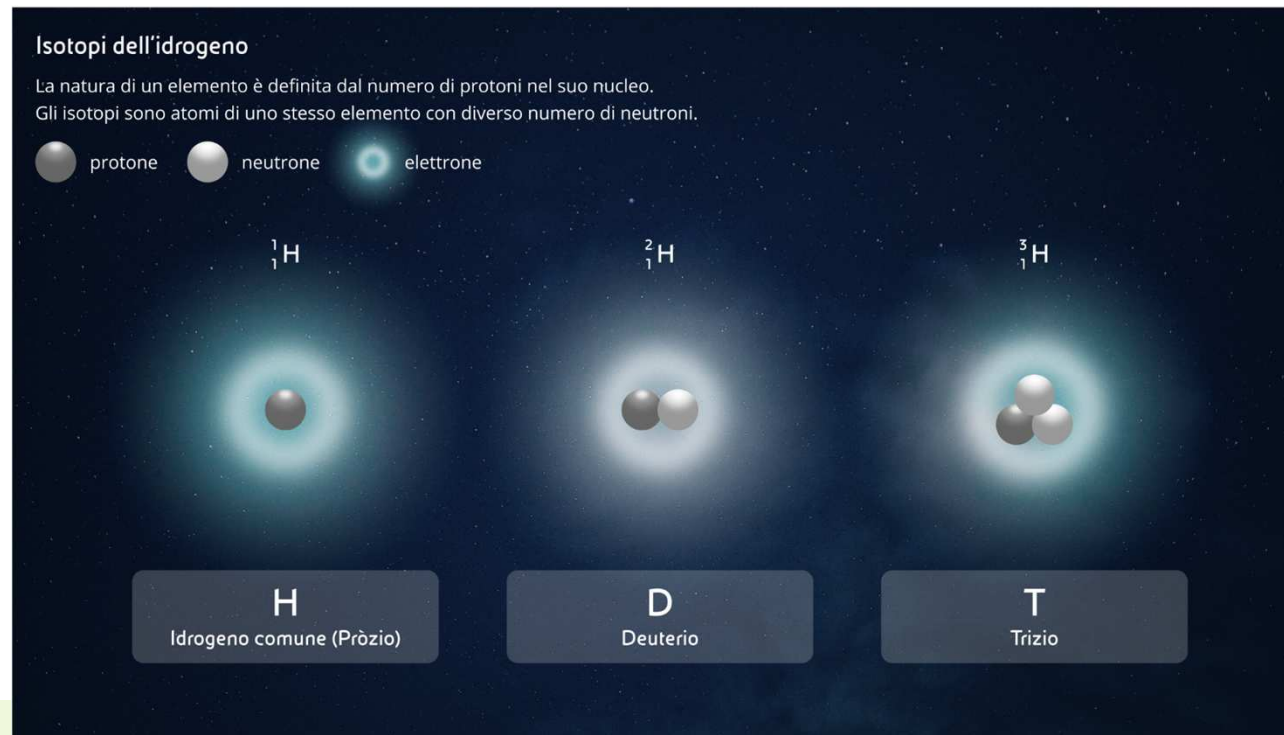
Dentro il nucleo si trovano anche i **neutroni**, che - come dice il loro nome - non posseggono alcuna carica elettrica, a differenza dei protoni carichi positivamente. **Se due nuclei con lo stesso numero di protoni (quindi dello stesso elemento) hanno un differente numero di neutroni, si dicono isotopi.** Il numero di neutroni in un nucleo ci dice esattamente di quale isotopo stiamo parlando.

Chimicamente, **gli isotopi di un certo atomo sono tutti uguali fra loro** perché hanno lo stesso numero di protoni e di elettroni, che determinano le loro proprietà chimiche. **Quello che cambia, è solo la massa del loro nucleo** (un neutrone pesa appena un poco di più di un protone e la somma di protoni e neutroni ci dà la massa totale del nucleo).



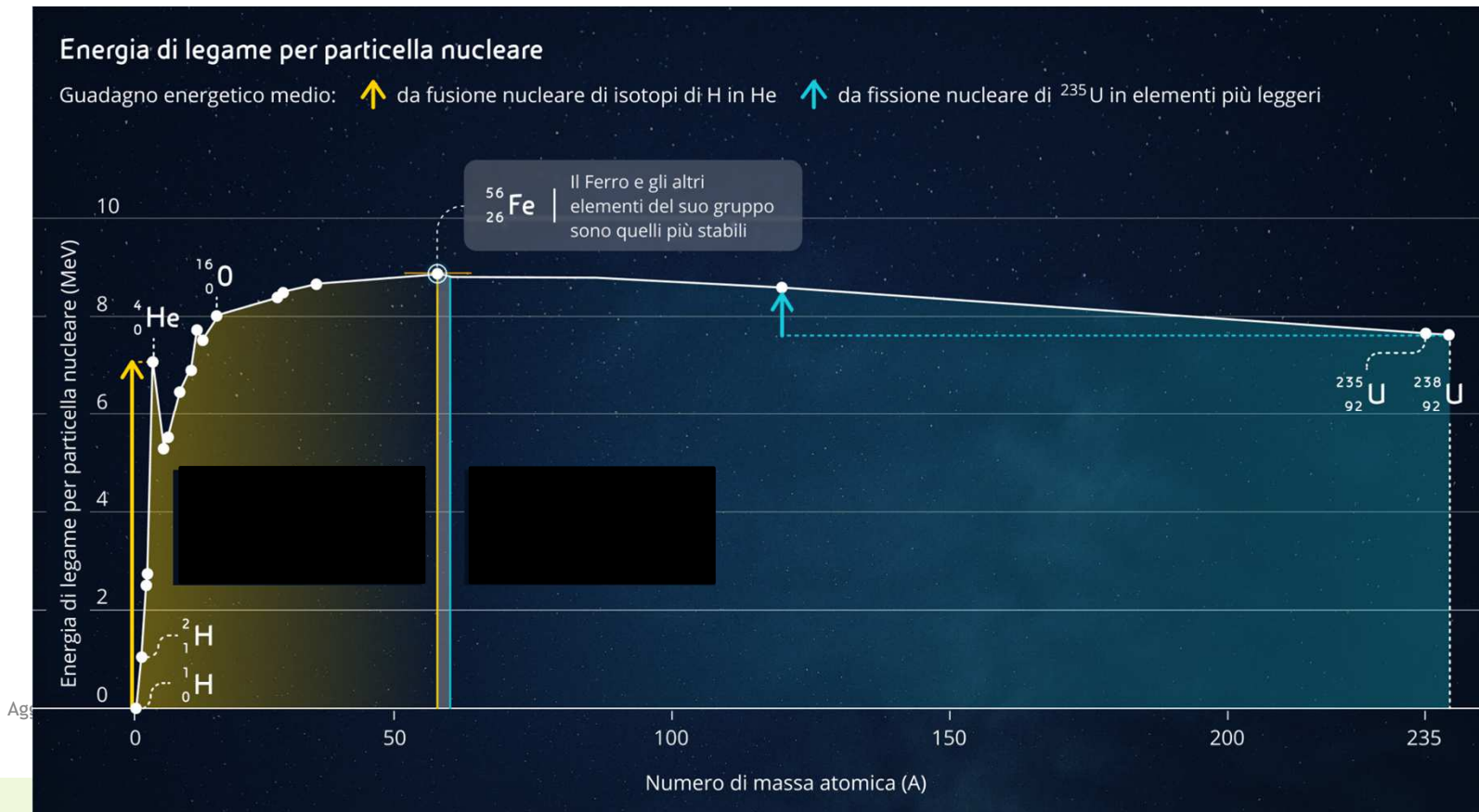
# Gli atomi: gli isotopi più interessanti

Il nucleo dell'isotopo più comune dell'Idrogeno ha un solo protone e nessun neutrone. Lo chiamano tutti semplicemente Idrogeno ma il suo vero nome sarebbe Pròzio. Quando in un nucleo di Idrogeno c'è pure un neutrone, abbiamo il Deuterio. In natura, ogni 6670 atomi di Pròzio ne troviamo uno solo di Deuterio. E quando nel nucleo di Idrogeno ne troviamo tre abbiamo il Trizio, che è instabile ed esiste solo in tracce, ma può essere prodotto artificialmente.



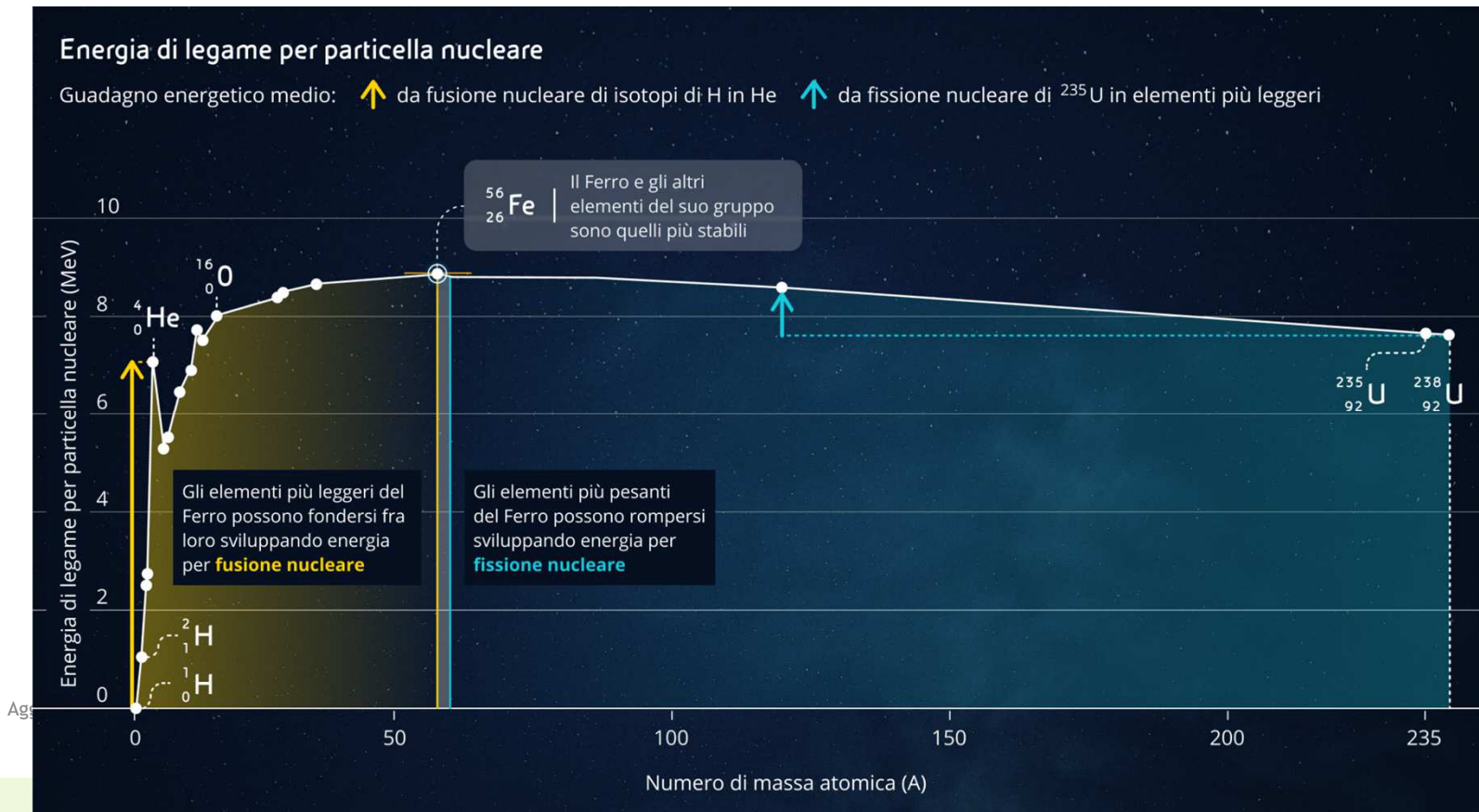
# Gli atomi: l'energia di legame dei nuclei

Quando si riesce a vincere la forza nucleare forte fra protoni e neutroni di atomi pesanti – i fisici definiscono pesanti tutti gli atomi con più protoni del Ferro, che ne ha 26 – si riesce a liberare un sacco di energia. Se ne riesce a liberare ancora di più se si fondono insieme atomi leggeri – cioè con meno protoni del Ferro –



# Gli atomi: l'energia di legame dei nuclei

Se abbiamo compreso cosa si nasconde dentro il nucleo di un atomo e a padroneggiare concetti come protoni, neutroni e isotopi, ora siamo perfettamente attrezzati per procedere nel nostro viaggio alla scoperta dell'energia nucleare. Le due reazioni nucleari di cui parliamo oggi sono la fissione e la fusione. Ci interessano molto perché si possono usare entrambe per produrre energia.



The background features abstract, overlapping geometric shapes in various shades of green, ranging from light lime to dark forest green. These shapes are primarily located on the left and right sides of the frame, leaving a large white central area for the text.

Domande e Risposte ... se le so

# La Fissione nucleare

La fissione nucleare avviene quando un nucleo pesante si rompe e viene diviso in due più leggeri, le cui masse (se sommate) non raggiungono la massa originaria. Per ottenere questo risultato, dobbiamo scegliere un isotopo di un atomo ben preciso:

## **I' URANIO.**

L'uranio naturale è composto da una miscela di tre isotopi,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  e  $^{238}\text{U}$ , di cui  **$^{238}\text{U}$  è il più abbondante (99,3%)**, mentre il  $^{234}\text{U}$  costituisce una percentuale trascurabile del totale. Questi tre isotopi sono radioattivi; quello dotato di tempo di dimezzamento più lungo è il  $^{238}\text{U}$  (con un'emivita di  $4,468 \times 10^9$  anni), seguono  $^{235}\text{U}$  ( $7,038 \times 10^8$  anni) e  $^{234}\text{U}$  ( $2,455 \times 10^5$  anni).

Per il processo di Fissione nucleare la materia prima utilizzata è **l'Uranio 235** che è circa lo **0,7%** dell'uranio totale.

Questo isotopo, ricordiamo, ha i suoi 92 protoni, come tutti gli atomi di Uranio, ma ha "solo"  $235 - 92 = 143$  neutroni.

**Quando l'atomo di  $^{235}\text{U}$  si scontra con un neutrone, si forma un nuovo atomo.**

Si tratta sempre di Uranio, perché sappiamo già che quando si modifica il numero di neutroni di un atomo non se ne cambia la natura, ma il nucleo stesso non è più  $^{235}\text{U}$ : **diventa  $^{236}\text{U}$**  per ricordarci che dentro c'è finito un neutrone in più.

# La Fissione nucleare

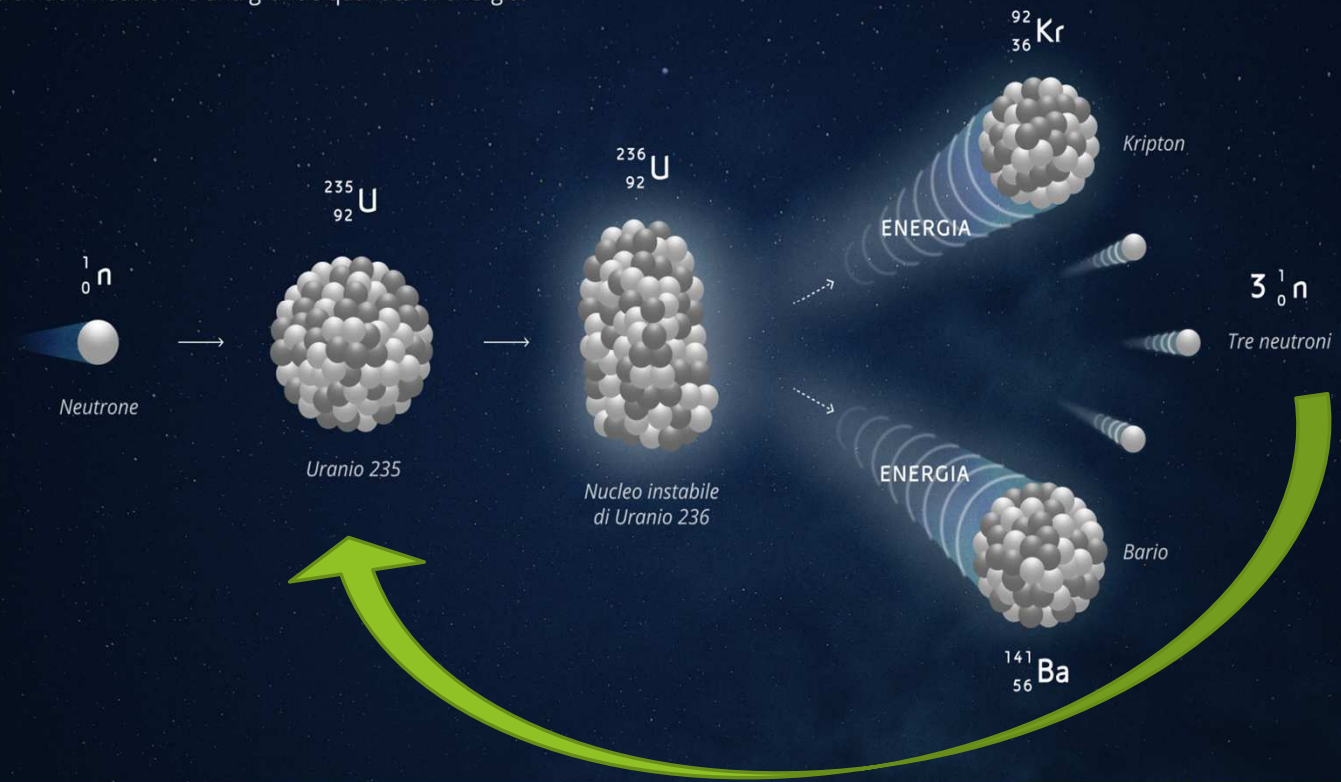
L'  $^{235}\text{U}$  è però terribilmente instabile: appena si forma va in pezzi dando origine a un atomo di Bario  $^{141}\text{Ba}$  e a un atomo di Krypton  $^{92}\text{Kr}$ . Questo processo si chiama fissione.

Il Bario e il Krypton hanno rispettivamente 36 e 56 protoni. In totale fa 92 e il conto dei protoni torna. Ma se sommiamo la loro massa totale vediamo che si arriva a  $141+92=233$ . Mancano tre neutroni all'appello, che in effetti si sono staccati e sono schizzati via come tre particelle indipendenti.

Il bello è che questa rottura delle forze fondamentali forti che tengono insieme i due nuclei di Bario e di Krypton e i tre neutroni libera anche tanta energia. Ma non solo: se attorno all'atomo di  $^{235}\text{U}$  che è andato a pezzi se ne trovano molti altri, i tre neutroni prodotti dalla sua fissione vanno a colpire altri atomi di  $^{235}\text{U}$  che a loro volta si rompono e liberano ciascuno tre neutroni che a loro volta...

## La fissione nucleare

Durante la fissione nucleare, il nucleo di un atomo pesante, come l'Uranio 235, viene colpito da un neutrone e si rompe in nuclei di elementi più leggeri liberando circa tre nuovi neutroni e una grande quantità di energia.



**Ecco: questa è una reazione a catena.** Si può fermare solo se troviamo il modo di acchiappare più neutroni vaganti di quelli che vengono formati, e impedendo loro di colpire e rompere altri atomi di  $^{235}\text{U}$ .

# La Fissione nucleare

La fissione di un solo atomo di  $^{235}\text{U}$  libera 202 milioni di ElettronVolt (che è un'unità di misura usata in elettromagnetismo e in chimica per misurare il lavoro compiuto da un elettrone per attraversare una differenza di potenziale di 1 Volt).

**Un grammo di Uranio contenente solo il 3% di  $^{235}\text{U}$  può sviluppare una energia equivalente a quella prodotta bruciando circa 2 tonnellate di petrolio.**

Per utilizzare l'energia contenuta nel carbone, questo viene bruciato nelle centrali termoelettriche, producendo anche un sacco di inquinamento nella estrazione, trasporto, combustione e smaltimento dei fumi e delle ceneri.

Per utilizzare l'energia contenuta nell'Uranio si usa un reattore nucleare che ... da un certo punto di vista è la stessa cosa di prima. Infatti, il calore prodotto dalla fissione dell'Uranio oppure dalla combustione del carbone serve a scaldare acqua in una caldaia e a generare vapore sotto pressione.



## Combustibile fossile

Facilmente estraibile, non radioattivo, scorte abbondanti

## Scorie

$\text{CO}_2$  e vari gas serra inquinanti

## Controllo

Da oltre un secolo abbiamo a disposizione le tecnologie per estrarli, trasportarli, conservarli ed utilizzarli

**10 kcal**

Energia contenuta in 1 g di petrolio



$^{235}\text{U}$

Costoso, scarso, radioattivo, scorte per circa 60 anni

## Scorie

Radioattive per migliaia di anni

## Controllo

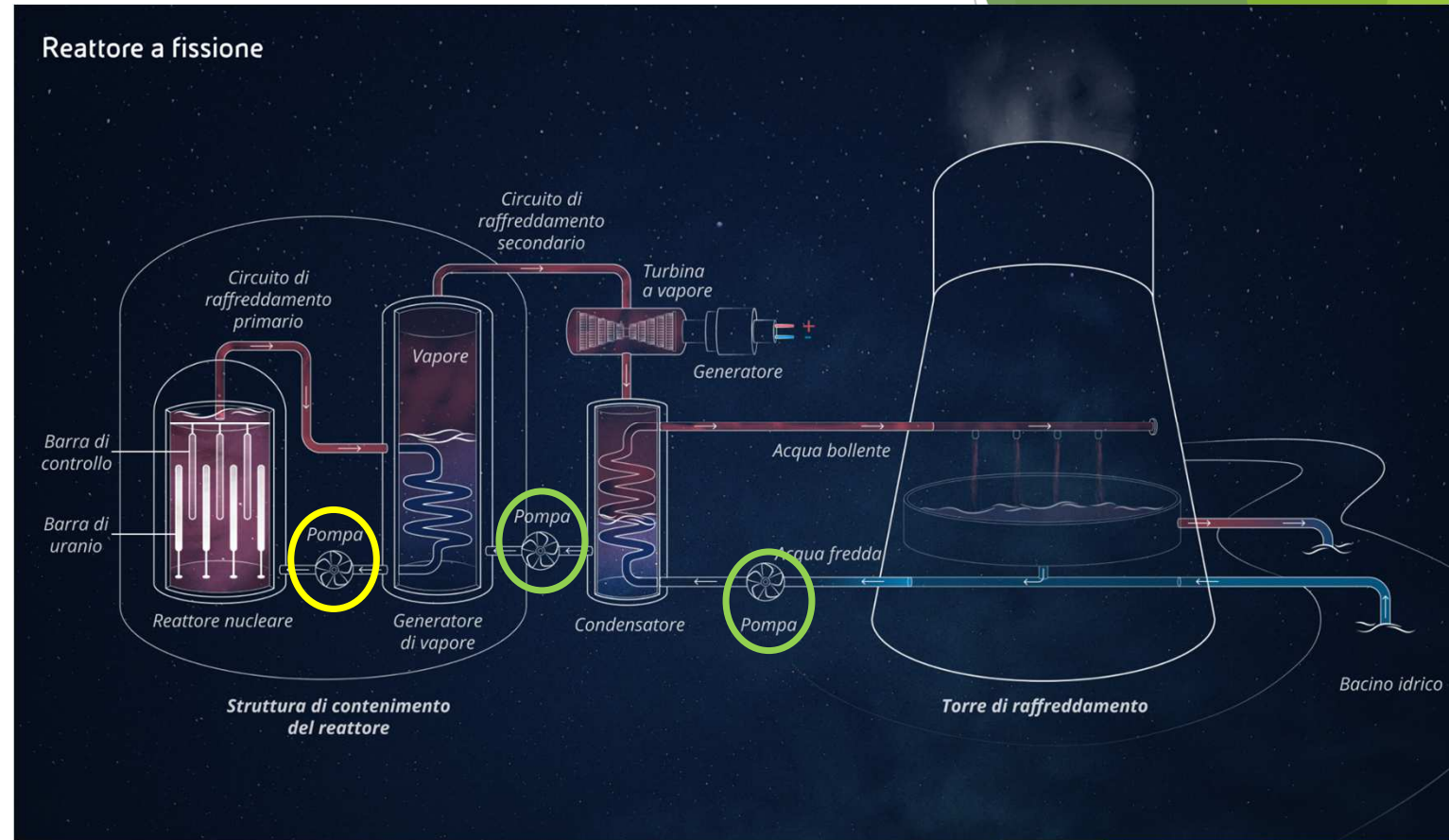
Da mezzo secolo abbiamo a disposizione le tecnologie per innescare e controllare la reazione

**20 milioni di kcal**

Energia contenuta in 1 g di Uranio  
( pari a 2 tonnellate di petrolio)

# Il reattore nucleare

In un reattore nucleare per scaldare l'acqua c'è un contenitore chiamato **nocciolo**. Questo è costituito da una serie di fori cilindrici entro i quali si trovano delle **barre**. Ciascuna di queste barre è composta da un **fascio di cilindri** più piccoli dove sono stati allineati i singoli **pellet** di Uranio. Ogni pellet è un cilindretto del diametro di una monetina e alto circa 2-3 cm.



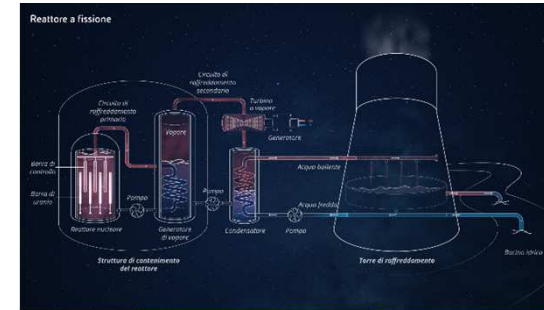
# Il reattore nucleare

Ma le sbarre di uranio, lasciate a sé stesse, si surriscalderebbero a causa della fissione dell'  $^{235}\text{U}$  e provocherebbero la fusione del nocciolo. Non stiamo parlando di fusione nucleare – che è tutta un'altra cosa – ma proprio del nocciolo che si squaglia distruggendo il reattore a causa dell'alta temperatura prodotta dalla fissione. Per evitarlo, fra una barra di Uranio e l'altra, si inseriscono altre barre - chiamate **barre di controllo** - costituite da materiali assorbitori di neutroni.

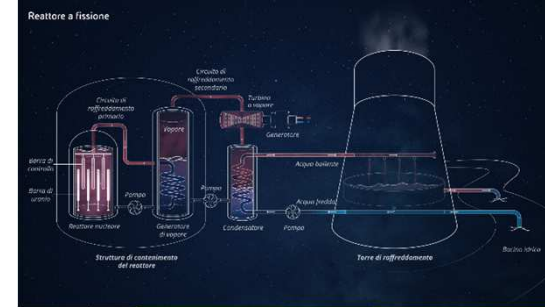
Queste possono essere inserite dentro il nocciolo oppure estratte facendole scorrere lungo i fori cilindrici. Di solito si usano Cadmio, Boro, Hafnio o Gadolinio che risultano molto efficienti nella cattura di neutroni vaganti. Quando si vuole diminuire la temperatura del reattore, le barre di controllo vengono calate dentro il nocciolo. Così, queste assorbono più neutroni prodotti dai nuclei di Uranio che subiscono la fissione impedendo che questi vadano a colpire altri nuclei di Uranio.

Quando, invece, si vuole aumentare la temperatura del reattore, basta sollevare le barre di controllo evitando che i neutroni liberati dalla fissione vengano catturati ma permettendo loro di andare a colpire altri atomi di Uranio propagando la reazione a catena.

In caso di problemi, si calano tutte le barre di controllo nei fori cilindrici, la maggior parte dei neutroni viene così catturata e la reazione nucleare si ferma.



# Il reattore nucleare



In questo modo, il nocciolo si comporta come una sorgente di calore ad altissima energia, riscalda l'acqua di raffreddamento ad alta pressione che scorre fra le barre (circuito primario) e questa a sua volta scalda quella del circuito secondario che esce dal nocciolo e rende disponibile il vapore. Da qui, attraverso la turbina ed il generatore, si produce corrente elettrica.

Nel processo di fissione, non si genera nemmeno una molecola di anidride carbonica, ma i prodotti di reazione (le scorie), il nocciolo e altre parti del reattore che entrano a contatto con l'ambiente di reazione diventano altamente radioattivi e vanno gestiti con molta attenzione per evitare problemi.

La fusione, invece, funziona esattamente al contrario e serve per liberare energia dagli elementi più leggeri... ma questa è un'altra storia e si racconta un'altra volta...

**tra una settimana !!!**

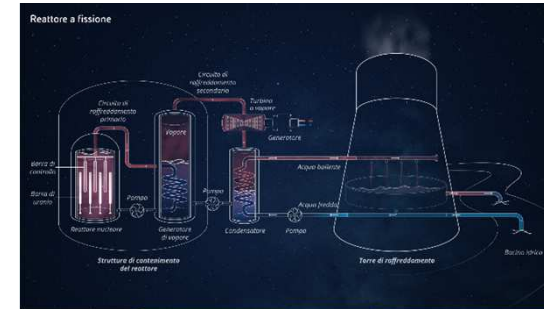
# Il reattore nucleare ... e i suoi guai

Il grosso problema dell'energia da fissione è notoriamente legato sia agli effetti di **eventuali incidenti**, dovuti al venir meno del sistema di raffreddamento, sia al problema dello **smaltimento dei prodotti di fissione radioattivi**. Anche se i residui potenzialmente pericolosi rappresentano meno dell'1,5% della massa del combustibile, questi hanno una radiotossicità tale da richiedere uno stoccaggio sicuro per moltissimi anni. Bisogna avere quindi un sito geologicamente stabile e soprattutto identificabile per un lunghissimo lasso di tempo.

**Nei circa 70 anni di esercizio ci sono verificati tre incidenti catastrofici.** Il primo nel **1979 a Three Mile Island (Stati Uniti)** dovuto ad un guasto tecnico, il secondo **nel 1986 a Chernobyl (Ucraina)** dovuto ad un grave errore umano durante una manovra anomala ed **il terzo nel 2011 a Fukushima (Giappone)** dovuto ad un terremoto di gravità estrema. A seguito di questi incidenti, nelle centrali di più recenti (Generazione III+) si sono potenziati di molto i sistemi di sicurezza attivi e **si è introdotto un sistema di raffreddamento passivo (che non richiede alimentazione elettrica) in caso di incidente.** Come il reattore europeo EPR1600 e l'americano AP1000.

Pensare di aumentare la frazione di energia prodotta dal nucleare da fissione introduce, oltre a quello della sicurezza, un altro problema e cioè quello della **disponibilità di Uranio** che viene sfruttato molto poco se si utilizza solo l'uranio-235. Le stime dicono che le riserve di uranio consentirebbero con l'attuale rate di consumo la produzione di energia nucleare per circa 100 anni.

**Sulla sicurezza si sono fatti interventi molto importanti per aumentarla, ma per quanto possa essere basso il rischio gli effetti sono comunque potenzialmente disastrosi.**



# La fissione nucleare: sintesi

## Pro

- ▶ Generazione di energia altamente efficiente e potente
- ▶ Processo altamente competitivo in termini di costo della energia generata
- ▶ Generazione di energia CONTINUA e modulabile in funzione della domanda
- ▶ Nessuna emissione di GHG
- ▶ Prodotto energia elettrica vettore energetico particolarmente efficace
- ▶ Nominato nella tassonomia europea come fonte strategica per la transizione energetica
- ▶ Disponibile ora

## Contro

- ▶ Processo potenzialmente pericoloso in caso di reazione a catena incontrollata e fusione del nocciolo
- ▶ Processo pericoloso in caso di mancanza energia elettrica
- ▶ Materia prima rara e quindi costosa e localizzata in poche parti del mondo
- ▶ Materie prime che potrebbero essere utilizzate per fabbricazione bombe nucleari
- ▶ Scarti radioattivi molto difficili da gestire e con tempi lunghissimi di emivita

The background features abstract, overlapping geometric shapes in various shades of green, ranging from light lime to dark forest green. The shapes are primarily triangles and trapezoids, creating a dynamic, layered effect. The text is centered horizontally and rendered in a clean, sans-serif font.

Domande e Risposte ... se le so

*Fissione Nucleare.*

# I reattori di IV Generazione



# La fissione nucleare di IV generazione

Per superare le criticità dei reattori nucleari convenzionali la ricerca è stata orientata verso sistemi (**IV Generazione**) che con approcci innovativi tentano di risolvere, oltre al problema della disponibilità di uranio, i due maggiori problemi: **sicurezza e rifiuti radioattivi**.

Per quel che riguarda la disponibilità di combustibile, si riprende il concetto di **reattore 'veloce'** (alcuni esemplari sono stati realizzati nei decenni passati tipicamente per ricerca), con lo scopo di trasformare l'uranio-238 in un materiale fissile. Per fare questo, si devono **utilizzare neutroni di alta energia**, senza necessità di 'moderarli', in modo da ottimizzare la trasmutazione dell'uranio-238 in Plutonio-239. In questo modo le riserve di combustibile stimate sufficienti per un centinaio di anni si amplificherebbero di un fattore 60.

Venendo al problema della sicurezza, i **reattori di IV generazione in via di sviluppo potrebbero operare in regime 'sottocritico', un sistema in cui la reazione non si può sostenere autonomamente, ma richiede una sorgente esterna (acceleratore di particelle)** per produrre la quantità di neutroni necessari per arrivare alla 'criticità'. **Il vantaggio è evidente: in caso di problemi spegnendo l'acceleratore si spegne la reazione.** D'altra parte i **costi di investimento e di gestione aumenterebbero notevolmente.**

Last but not least.. quelli che utilizzano neutroni veloci, **hanno la possibilità di 'bruciare' i prodotti di fissione più pericolosi quali gli attinidi minori (Nettunio, Americio, Curio) e i prodotti di fissione a lunga vita (isotopi radioattivi di Iodio, Cesio, Zirconio e Cesio),** abbattendo drasticamente le quantità di scorie radioattive finali.

## La fissione nucleare di IV generazione: Le tecnologie

### I reattori nucleari di quarta generazione

I reattori nucleari di quarta generazione sono reattori sperimentali o dimostrativi di nuova generazione, che si basano sulla fissione nucleare. Sono più efficienti e più sicuri delle generazioni precedenti, producono meno scorie e con costi più ridotti, rendendo molto più efficiente l'utilizzo del combustibile. Questi reattori si possono dividere in due grandi categorie: quelli termici e quelli a neutroni veloci. Questi reattori sono in grado di fornire fino a 1500 mega watt elettrici (MWe), mentre la loro versione in dimensione più piccola prende il nome di Small Modular Reactor, che può fornire fino a circa 300 MWe.

Ma andiamo più nel dettaglio e scopriamo assieme le tipologie di reattori di quarta generazione.

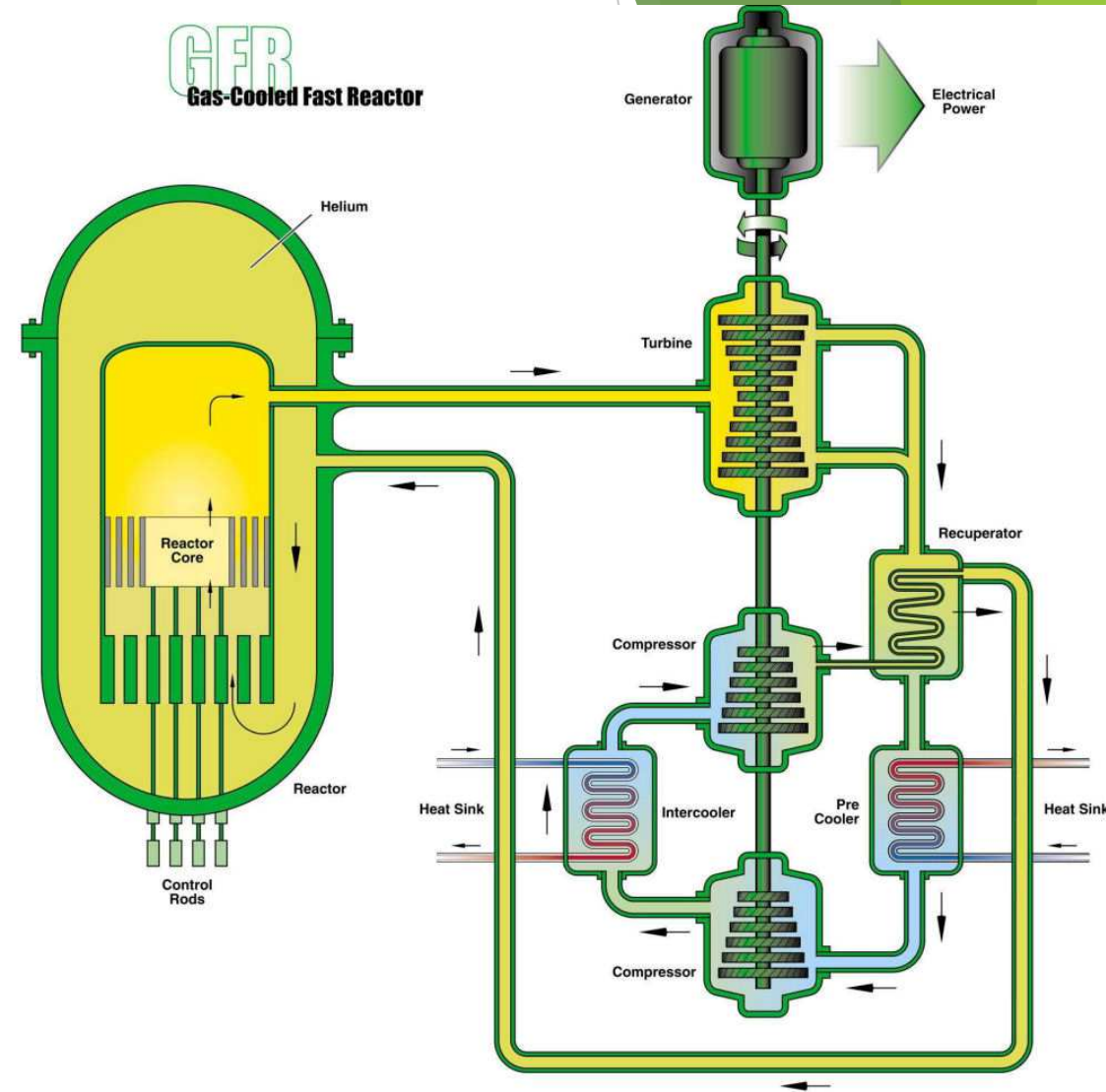
Le principali tipologie di reattori di quarta generazione

### Reattori a neutroni veloci

I reattori a neutroni veloci sono reattori che non contengono un moderatore, ovvero quell'elemento di controllo della reazione. La reazione viene tenuta «viva» da una continua iniezione di neutroni veloci proveniente da un acceleratore di particelle. Sono tutti impianti a ciclo chiuso, ma si differenziano per il tipo di fluido di raffreddamento.

## La fissione nucleare di IV generazione I reattori a neutroni veloci a regime sottocritico (no reazione a catena)

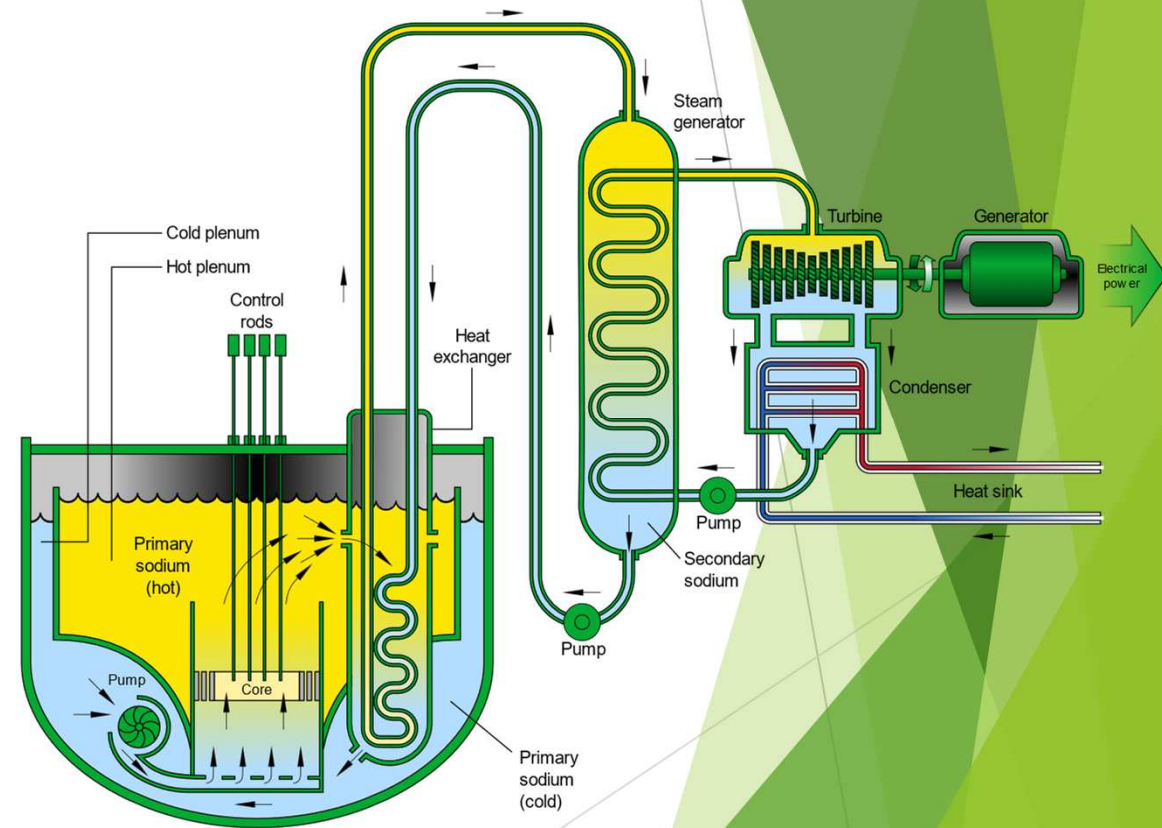
Il reattore nucleare a neutroni veloci refrigerato a gas (GFR acronimo di Gas-cooled Fast Reactor) presenta uno spettro neutronico ad alta velocità e un ciclo del combustibile nucleare chiuso per la più efficiente trasmutazione dell'uranio fertile e per la gestione degli attinidi. Il reattore è raffreddato a elio, con una temperatura di uscita pari a 850 °C, che viene impiegato come fluido termodinamico per muovere direttamente una turbina a gas in un ciclo Brayton per consentire un'elevata efficienza termica. Vari tipologie e configurazioni del combustibile vengono studiati in base al loro potenziale per operare a temperature molto alte e per assicurare una eccellente ritenzione dei prodotti di fissione: combustibili in ceramiche composite, particelle di combustibile avanzate, o capsule di composti attinidi rivestiti in ceramica. Si studiano configurazioni del "core" che si basano su assemblaggi ad aghi o a piastre degli elementi di combustibile oppure i più tradizionali blocchi prismatici.



## La fissione nucleare di IV generazione I reattori a neutroni veloci a regime sottocritico (no reazione a catena)

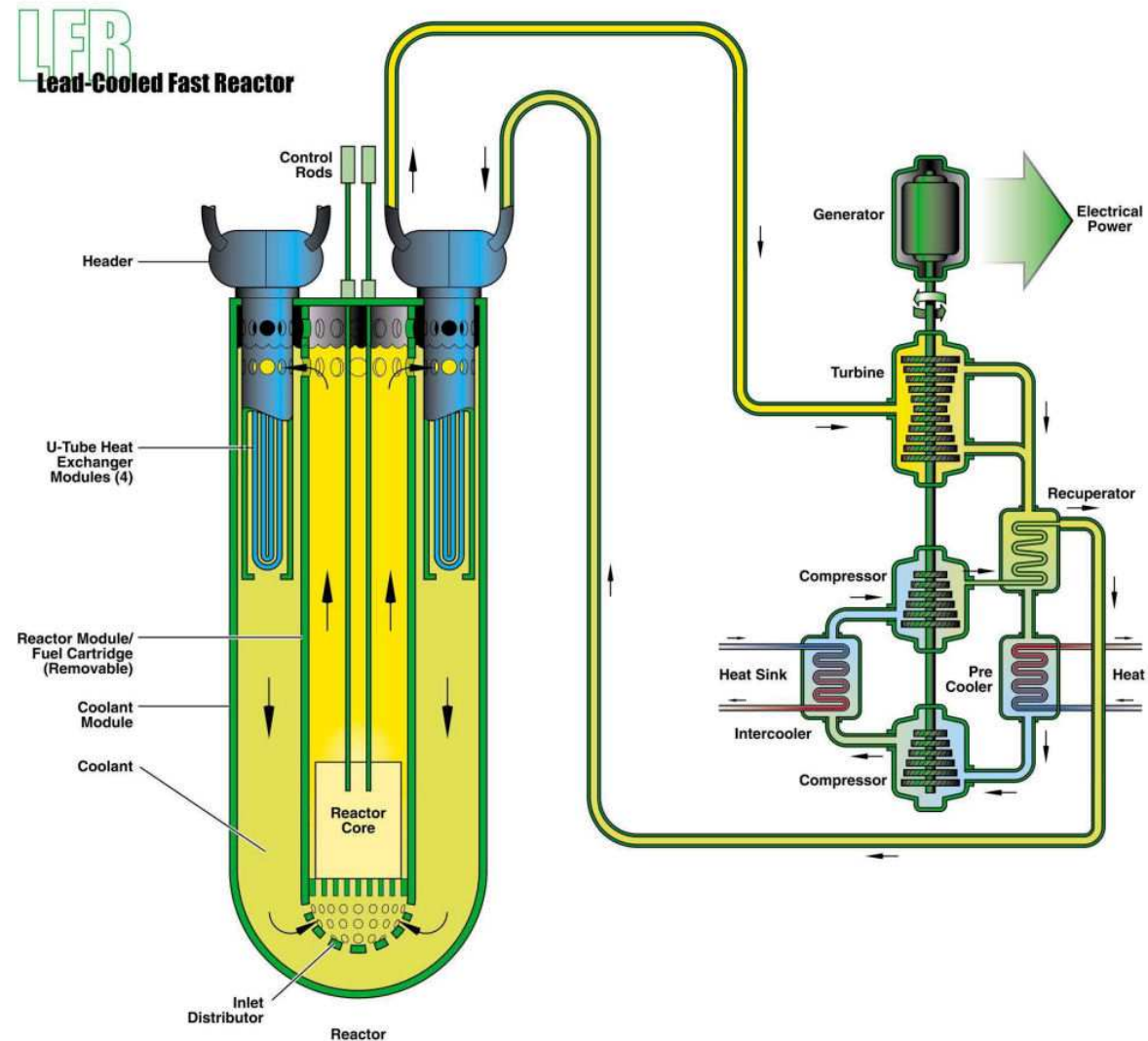
Il reattore nucleare a neutroni veloci refrigerato a sodio, (SFR, acronimo di Sodium-cooled Fast Reactor) è un progetto che si basa su altri due molto strettamente legati, lo LMFBR e il reattore nucleare integrale veloce; ha una stretta parentela con il Superphénix francese.

Gli obiettivi sono l'incremento dell'efficienza nell'utilizzo dell'uranio grazie alle tecnologie autofertilizzanti del plutonio e la eliminazione della necessità di svuotare il reattore degli isotopi transuranici una volta esaurito il combustibile. Il reattore utilizza un core non moderato con spettro neutronico veloce, progettato per bruciare ogni tipo di isotopo transuranico che si possa generare come sottoprodotto della reazione di cattura (e in alcuni casi può caricare questi isotopi come combustibile iniziale). Oltre ai benefici della rimozione degli isotopi transuranici a lunga emivita dal ciclo delle discariche nucleari, il combustibile impiegato dallo SFR si espanderebbe quando il reattore si surriscalda, e dunque la reazione a catena rallenterebbe automaticamente. In questo modo, alcuni scienziati affermano che lo si possa considerare passivamente sicuro.



## La fissione nucleare di IV generazione I reattori a neutroni veloci a regime sottocritico (no reazione a catena)

Il reattore nucleare a neutroni veloci refrigerato a piombo, (LFR, acronimo di Lead-cooled Fast Reactor), consiste in un reattore veloce raffreddato da piombo liquido (oppure da una miscela eutettica che lo contiene come quella bismuto/piombo) con ciclo chiuso del combustibile nucleare. Varie opzioni includono un ventaglio di impianti che vanno da una "batteria" capace di generare da 50 a 150 MW di elettricità con un lunghissimo intervallo tra le ricariche d'uranio, a un sistema tarato dai 300 ai 400 MW, fino a un grosso impianto "monolitico" di 1.200 MW. Il termine batteria è usato perché si riferisce a "core" a lunga-vita, fabbricati in serie in fabbriche specializzate, soltanto per la produzione di elettricità, senza alcun dispositivo per la conversione in energia elettrochimica. Il nocciolo del reattore nucleare LFR viene refrigerato dal meccanismo termodinamico di convezione naturale con una temperatura di uscita del refrigerante secondario dallo scambiatore di calore immerso nel reattore di circa 550 °C, che potrebbe arrivare fino a 800 °C con materiali avanzati come ceramiche



# La fissione nucleare: sintesi

## Pro

- ▶ Generazione di energia altamente efficiente e potente
- ▶ Processo competitivo in termini di costo della energia generata, ma superiore a quello del nucleare tradizionale
- ▶ Generazione di energia CONTINUA e modulabile in funzione della domanda
- ▶ Nessuna emissione di GHG
- ▶ Prodotto energia elettrica vettore energetico particolarmente efficace
- ▶ Nessun pericolo di reazione a catena
- ▶ Materia prima molto più disponibile e soprattutto costituita da scorie radioattive a lunga emivita
- ▶ Drastica riduzione delle quantità di scorie radioattive

## Contro

- ▶ ~~Processo potenzialmente pericoloso in caso di reazione a catena incontrollata e fusione del nocciolo~~
- ▶ ~~Materia prima rara e quindi costosa e localizzata in poche parti del mondo~~
- ▶ ~~Materie prime che potrebbero essere utilizzate per fabbricazione bombe nucleari~~
- ▶ **Scarti radioattivi molto difficili da gestire e con tempi lunghissimi di emivita ancora presenti ma molto più limitati**
- ▶ **Non disponibili prima di 10-20 anni**
- ▶ **Tecnologia ancora non totalmente «provata»**

# La fissione nucleare: sintesi

## Pro

- ▶ Generazione di energia altamente efficiente e potente
- ▶ Processo competitivo in termini di costo della energia generata, ma superiore a quello del nucleare tradizionale
- ▶ Generazione di energia CONTINUA e modulabile in funzione della domanda
- ▶ Nessuna emissione di GHG
- ▶ Prodotto energia elettrica vettore energetico particolarmente efficace
- ▶ Nessun pericolo di reazione a catena
- ▶ Materia prima molto più disponibile e soprattutto costituita da scorie radioattive a lunga emivita
- ▶ Drastica riduzione delle quantità di scorie radioattive

## Contro

- ▶ Scarti radioattivi ancora presenti ma molto più limitati
- ▶ Non disponibili prima di 10-20 anni
- ▶ Tecnologia ancora non totalmente «provata»

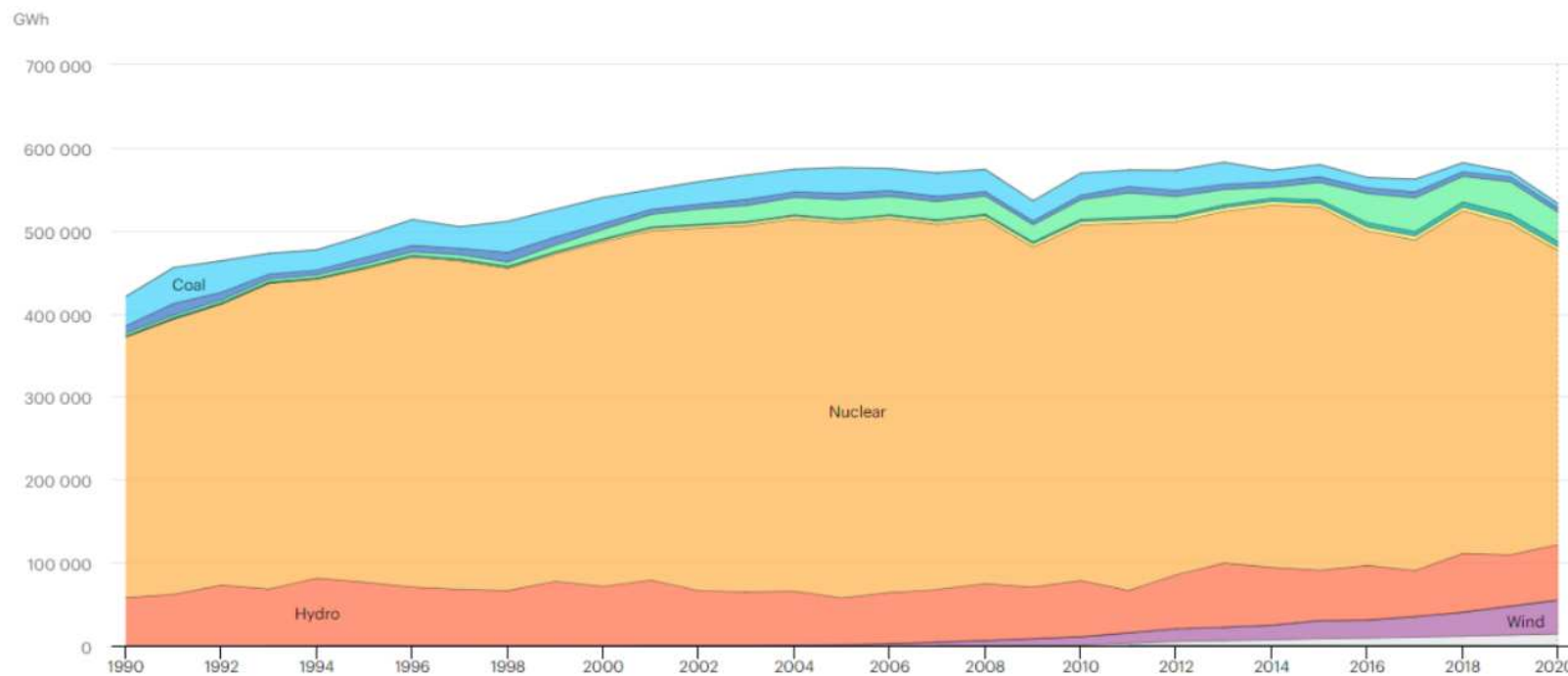
*Fissione Nucleare.*

I reattori  
intorno a noi



# Nucleare in Francia: storia e identità

Dalla scoperta della radioattività da parte di Antoine Henri Becquerel e Pierre e Marie Curie all'inizio dell'800 a oggi, dove quella nucleare costituisce l'ossatura principale del sistema energetico francese, **la fissione nucleare è indissolubilmente legata all'identità dello Stato e cultura transalpina**. Dai turbolenti anni '70 in poi, la volontà di Parigi di affrancarsi quanto possibile da approvvigionamenti energetici esterni si è andata rafforzando, legando ambizioni scientifiche e stabilità economica a una visione di potenza nazionale. **Oggi, l'energia atomica fornisce circa il 50% dell'energia finale consumata e il 70% dell'elettricità al Paese**



Generazione elettrica in Francia, per fonte (1990-2020)

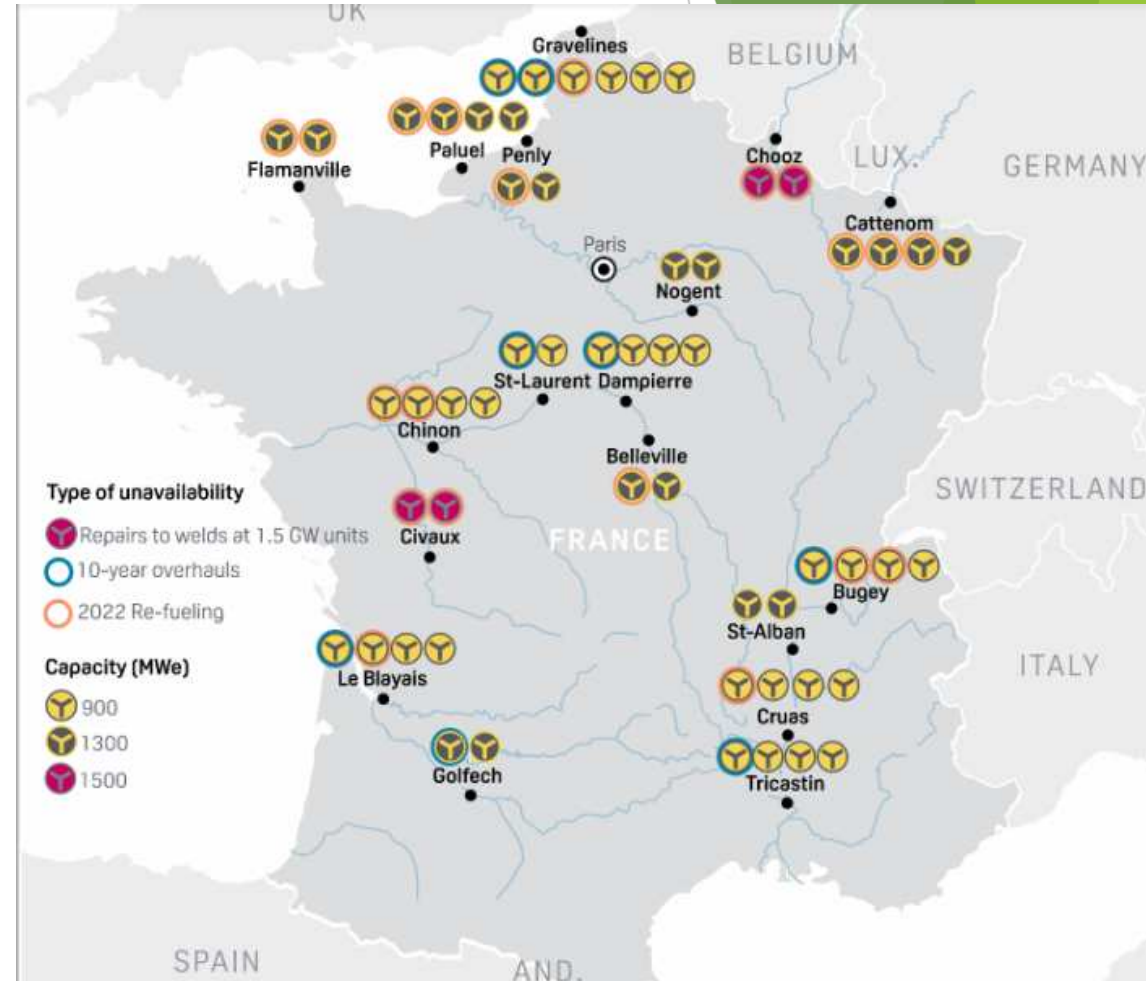
# Francia: rinascita nucleare

15 Febbraio 2022

Il Presidente Emmanuel Macron ha annunciato che la Francia costruirà sei nuovi reattori nucleari di potenza, che considera la costruzione di altri otto e che continuerà a sostenere lo sviluppo degli small modular reactors (SMR).

Secondo Macron, nei prossimi decenni la Francia dovrà produrre più elettricità a basse emissioni, perché anche se si riduce del 40% il suo consumo di energia, l'uscita da petrolio e gas entro 30 anni significa sostituire parte del consumo di combustibili fossili con l'elettricità. Il Paese deve quindi essere in grado di produrre fino al 60% di elettricità in più rispetto ad oggi.

“La chiave per produrre questa elettricità nel modo più esente da emissioni di carbonio, più sicuro e più autonomo è proprio avere una strategia plurale ... per sviluppare sia le energie rinnovabili che quelle nucleari. [...] Non abbiamo altra scelta che scommettere su questi due pilastri contemporaneamente. È la scelta più rilevante dal punto di vista ecologico e la più opportuna dal punto di vista economico e infine la meno onerosa dal punto di vista finanziario.”



# Raddoppio della centrale nucleare di Krško: Ansaldo e Federacciai in Slovenia per l'energia

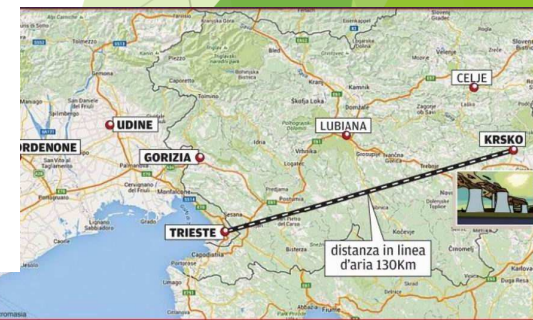
11 Settembre 2022

*L'industria siderurgica italiana con Ansaldo Nucleare insieme per un'operazione di sistema che prevede il raddoppio della centrale nucleare di Krško, in Slovenia a 200 km dal confine italiano, in cambio di contratti di fornitura di energia elettrica rinnovabile e a prezzi competitivi. Investimento da 1,2 miliardi: le imprese avranno energia calmierata per 10 anni*

IL CASO. L'industria siderurgica italiana con Ansaldo Nucleare. Insieme per un'operazione di sistema che **prevede il raddoppio della centrale nucleare di Krško, in Slovenia, in cambio di contratti di fornitura di energia elettrica rinnovabile e a prezzi competitivi.**

L'operazione che vede protagonista Ansaldo Nucleare è un unicum: prevede **la costruzione di un nuovo nucleo da 1.100-1.200 MW nella centrale di Krško, impianto da 700 MW** per il quale la controllata di Ansaldo Energia ha già lavorato negli anni scorsi, e **la creazione di una newco partecipata per un terzo dai siderurgici**. Un miliardo e 200 milioni l'equity, di cui **400 milioni versati dall'industria siderurgica nazionale**, che otterrebbe in cambio, con contratti di fornitura pluriennali, **un terzo dell'energia nucleare prodotta**. I restanti due terzi del capitale resterebbero in mano alla società pubblica slovena proprietaria dell'impianto.

La società sarebbe capitalizzata con 1,2 miliardi, la costruzione dell'impianto richiederebbe un investimento di 4-5 miliardi e 5-10 anni di lavoro. La fornitura di energia da nucleare scatterebbe da subito, compatibilmente con le disponibilità slovene. Gozzi: «È un'operazione complessa, ma ci sono i presupposti per procedere all'analisi della fattibilità tecnica».



## Svizzera: disimpegno ... ma con calma (Festina Lente)

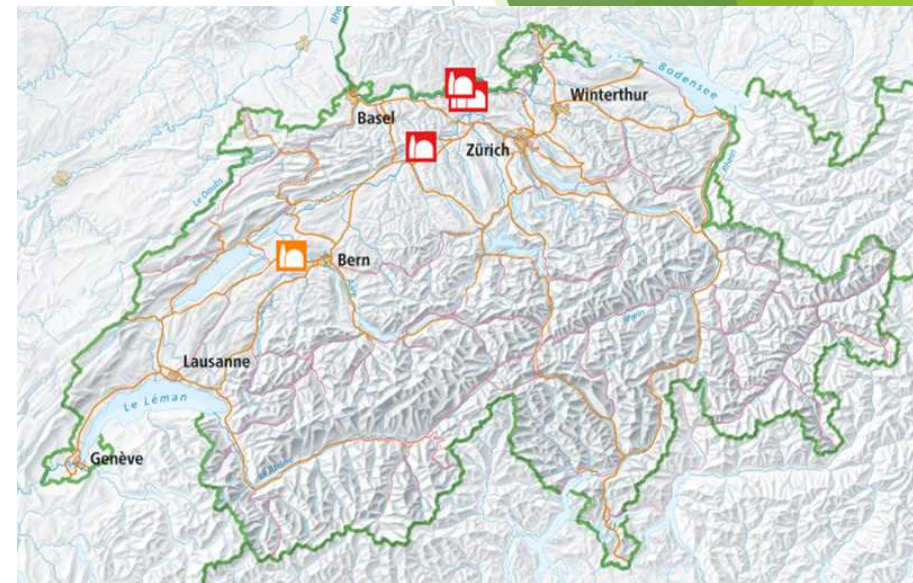
In Svizzera l'energia nucleare è utilizzata esclusivamente a scopi pacifici: per la produzione di energia elettrica e per applicazioni nei settori della medicina, dell'industria e della ricerca.

Lo sfruttamento commerciale dell'energia nucleare è iniziato nel 1969 con la messa in servizio della centrale di Beznau I, seguita nel 1972 dalle centrali di Beznau II e Mühleberg, nel 1979 da quella di Gösgen e nel 1984 da quella di Leibstadt.

Dopo l'incidente al reattore di Fukushima (Giappone), nel marzo 2011 il DATEC ha deciso di sospendere le procedure di rilascio delle autorizzazioni di massima per nuove centrali nucleari. Nella seconda parte del 2011, il Consiglio federale e il Parlamento, decidendo di abbandonare gradualmente l'energia nucleare, hanno gettato le basi per una nuova politica energetica (Strategia energetica 2050). Alla fine del 2016 gli esercenti delle centrali nucleari hanno ritirato le tre domande di autorizzazione.

**Nel maggio 2017 l'elettorato svizzero si è espresso a favore della nuova legge sull'energia nel quadro del primo pacchetto di misure relativo alla Strategia energetica 2050. Dal 1° gennaio 2018 vige pertanto il divieto di rilascio di autorizzazioni di massima per nuove centrali nucleari.**

La centrale nucleare di Mühleberg è stata disattivata nel dicembre 2019 ed è ora in fase di smantellamento. Gli altri impianti sono ancora in esercizio



# Conclusioni

- *La fissione nucleare è un processo potente efficiente ed economico*
- *Non emesse GHG e per questo è stato identificato come una fonte di energia strategica nella transizione energetica europea*

*Ma...*

- ❖ *Sono estremamente pericolose e inquinanti a causa della reazione a catena del processo e delle scorie radioattive generate di difficilissima gestione e stoccaggio*
- ❖ *I paesi che l'hanno adottata hanno avuto un vantaggio competitivo decisivo nello sviluppo delle proprie economie specialmente negli ultimi anni di crisi energetica, ma molti di loro a seguito dell'incidente di Fukushima hanno deciso di realizzare un piano di uscita o comunque di non proliferazione su questa tecnologia.*
- *Le nuove tecnologie denominate di IV generazione sembrano molto promettenti sulla carta, con la risoluzione di gran parte dei problemi offrendo l'eliminazione della reazione a catena e la drastica riduzione delle scorie radioattive finale*

*Ma...*

- ❖ *Si presentano molto più costose e con un tempo di realizzazione di 10-20 anni*

***Ed intanto si profila reale quella che appare la vera rivoluzione per la generazione dell'energia ovvero il processo della FUSIONE NUCLEARE ....***

***Di cui parleremo la prossima volta***

Grazie dell'attenzione e...  
alla prossima



# ENEL finanzia l'ampliamento del nucleare in Slovacchia

[22 Gennaio 2021](#) [AIN](#) [0 Commenti](#) [ENEL](#), [mochovce](#), [nucleare](#), [Slovacchia](#)



La centrale nucleare di Mochovce, in Slovacchia (foto Slovenske Elektrarne via World Nuclear News)

**Enel Produzione** ha recentemente [siglato un accordo](#) con *Energetický a Průmyslový Holding*, compagnia ceca, al fine di concedere un'ulteriore linea di credito per il completamento delle unità 3 e 4 della centrale di *Mochovce*, nella Repubblica Slovacca.

In particolare, Enel Produzione contribuirà al capitale di una nuova società, Slovak Power Holding BV (HoldCo), per un ammontare pari alla sua quota di partecipazione in *Slovenské Elektrárne*, ovvero 750 milioni di euro.

Il nuovo finanziamento, soggetto ad aggiustamento sulla base di alcuni criteri finanziari e di avanzamento lavori, si è reso necessario per far fronte agli aumentati costi di completamento delle unità 3 e 4, il cui costo totale è lievitato a 6,2 miliardi di euro, rispetto ai 2.8 preventivati ad inizio lavori.

I lavori presso la centrale di *Mochovce* erano ripresi nel 2008 con l'obiettivo di portare le due nuove unità in linea nel 2013.

Secondo le ultime proiezioni di avanzamento lavori, il carico di combustibile nell'unità 3 dovrebbe avvenire il prossimo aprile, mentre nell'unità 4 entro il 2023.