

# ENERGIA NUCLEARE

---

## “CHE COS'È L'ENERGIA NUCLEARE?”

L' **energia nucleare** è l'energia che tiene legata la **parte interna dell'atomo**, cioè il **nucleo**; viene sprigionata dalla materia quando i nuclei degli atomi che la costituiscono subiscono una **trasformazione**.

La **storia del nucleare** prende avvio con le scoperte sulla radioattività di **Albert Einstein**, uno scienziato tedesco, fu il primo ad intuire che dal nucleo si poteva ottenere energia. Nel 1905 esprime nella formula

**$E = mc^2$** , la teoria delle equivalenze tra materia ed energia, ovvero che è possibile trasformare la massa in energia e l'energia in massa.

Questa formula permette di calcolare quanta energia si può ottenere dalla trasformazione di una certa quantità di materia.

Basta far sparire una piccola quantità di materia per ottenere una grande quantità di energia. Questa teoria, che appena enunciata apparve **assolutamente fantastica**, al giorno d'oggi è **universalmente accettata**, in quanto è stata **verificata sperimentalmente**.



## STORIA DEL NUCLEARE, RICERCHE ...

Tutto cominciò 1896, **Henry Becquerel**, scoprì accidentalmente la radioattività, mentre investigava sui sali di uranio, si accorse che una lastra fotografica avvolta in un foglio di carta nera a contatto con il materiale era rimasta impressionata da un'immagine.



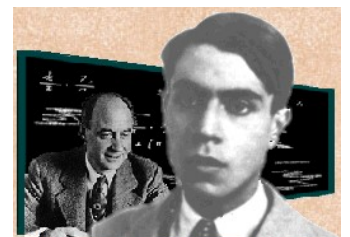
Nel 1898, coniugi **Marie e Pierre Curie** scoprirono i fenomeni radioattivi legati all'uranio e la sua capacità di produrre **radiazioni**.

Negli anni trenta numerosi fisici studiarono i fenomeni legati al nucleo atomico.



Nel 1934, i fisici francesi **Frédéric e Irène Joliot-Curie**, figlia di Marie Curie, effettuarono ricerca sulla struttura dell'atomo, in particolare sul **nucleo atomico**, dando un contributo essenziale alla scoperta del **neutrone**. Nell'ottobre del 1934, nel laboratorio di **Fisica Nucleare** di via Panisperna a Roma; un gruppo di scienziati italiani, sotto la guida del

fisico **Enrico Fermi**, (costituito dai fisici Rasetti, Amaldi, Segrè e Pontecorvo), tra quali si distingueva la figura del fisico **catanese Ettore Majorana**, (scomparso misteriosamente nel 1938); sperimentarono il **bombardamento di nuclei atomici** mediante i **neutroni**; riuscirono a dividere un nucleo di uranio in due parti pressoché uguali tramite bombardamento con neutroni.



Il vantaggio di questa scelta stava nel fatto che il neutrone, essendo elettricamente neutro, poteva penetrare nel nucleo atomico senza subire la repulsione da parte delle cariche presenti in esso.

Gli studi furono portati avanti; nel 1939 con la scoperta della **fissione nucleare** (prendendo spunto dagli esperimenti di Fermi del 1934), ad opera dei fisici tedeschi, **Otto Hahn**, **Fritz Strassmann** e della fisica austriaca ebrea **Lise Meitner** (assistente di Hahn).

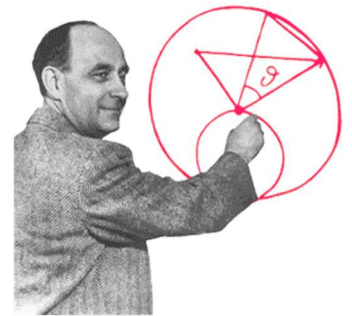


L'impatto del neutrone con l'atomo di uranio dava luogo alla divisione del nucleo e al rilascio di una quantità considerevole di energia ciò rendeva possibile la realizzazione di una reazione a catena che permetteva la produzione di notevoli quantità di energia.

---

## STORIA DEL NUCLEARE ... APPLICAZIONI

A Chicago il 2 dicembre 1942, il **fisico italiano Enrico Fermi**, innescò la **prima reazione nucleare a catena** controllata della storia: utilizzò uranio naturale all'interno di un blocco di grafite pura che rallentava i neutroni: la "**pila atomica**", fu questo il primo "reattore nucleare" sperimentale-dimostrativo funzionante. Inizia l'**era atomica**.



Nel corso della **seconda guerra mondiale** (1939/1945), la ricerca sul nucleare si intensificò, al fine di creare una **super bomba** in grado di **segnare la superiorità tecnologica** di almeno uno dei paesi in conflitto.

Gli americani, riuscirono per primi a conquistare la prima applicazione nucleare con la costruzione della **bomba atomica**.

---

Stabilitosi negli Usa, **Fermi**, partecipò attivamente alla creazione della prima bomba atomica; fu inoltre, uno dei direttori tecnici (La direzione scientifica, venne affidata al fisico statunitense Robert Oppenheimer del segretissimo **Progetto Manhattan** (Manhattan Project) portato a termine nei laboratori di **Los Alamos**.

Il mattino del 6 agosto 1945 alle 8:16, l'Aeronautica militare statunitense (un Boeing B-29 Superfortress chiamato Enola Gay, sganciò la **bomba atomica "Little Boy"** sulla città giapponese di **Hiroshima**, seguita tre giorni dopo, dal lancio dell'ordigno "**Fat Man**", ad opera del bombardiere Bockscar su **Nagasaki** (alle 11:02 del 9 agosto 1945).

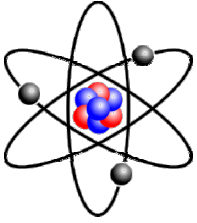


Un evento che segnò la fine della guerra e una morte orrenda per la popolazione inerme delle due città giapponesi.

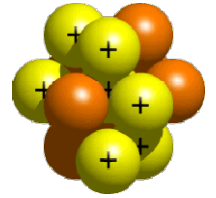
Da quel giorno il mondo **non ha conosciuto più** altri **conflitti bellici mondiali** anche grazie alla contrapposizione degli armamenti nucleari a disposizione dei due blocchi (**guerra fredda**).

Negli anni '50 gli studi sull'energia nucleare furono portati avanti per la realizzazione dei primi reattori nucleari e delle **prime centrali elettro-nucleari**.

---



Tutta la materia esistente nell'Universo, esseri viventi compresi, è costituita da **molecole**, che a loro volta sono formate da **atomi strutture** di forma rozzamente sferica.



Gli atomi potrebbero essere descritti, in un modo superficiale, così: un **nucleo** centrale (circa 10.000 volte inferiori a quelle atomiche, dove si concentra la quasi totalità della massa dell'atomo) costituito da un certo numero di **protoni** di carica elettrica **positiva** e di **neutroni**, di carica **neutra** (non necessariamente in quantità eguali), ad una grande distanza ruotano gli **elettroni** di carica **negativa**.

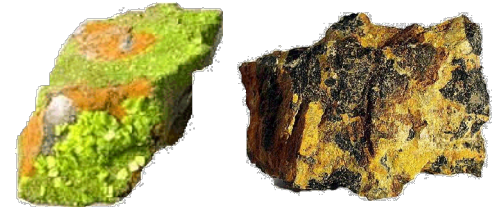
La trasformazione della **massa** in **energia**, avviene appunto nel **nucleo**.

Il **neutrone** è **neutro**, e quindi non è soggetto a repulsione elettrica, ha quindi un'elevata capacità di penetrazione nel **nucleo**.

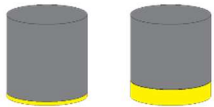
Il procedimento attraverso il quale è possibile ottenere energia dalla materia viene chiamato **fissione**. La parola deriva dal latino **findere**, ovvero spaccare. Vediamo come si è arrivati allo sfruttamento di questo tipo di e

Le centrali nucleari si utilizzano come **combustibile nucleare** due elementi come: l'**Uranio** (simbolo è U), e il **Plutonio** (simbolo è Pu).

L'**uranio**, il suo numero atomico 92 (*numero dei protoni presenti nel nucleo dell'atomo*); è presente in molte rocce, ma in quantità più elevate in minerali quali: la **pechblenda** (uraninite o biossido di Uranio UO<sub>2</sub>) e la **carnotite**; Viene definito **fissile**, (poiché sviluppa una reazione a catena con i neutroni), è composto da un miscuglio di **isotopi** (*atomi di un elemento che hanno lo stesso n. di protoni e un n. diverso di neutroni*): l'**uranio 238**, che non è fissile e l'**uranio 235** (in percentuale solo dello 0'7%), materiale fissile più usato, il cui atomo contiene **92 protoni** ed **elettroni** e **143 neutroni** quindi ha un **nucleo instabile** e si può **fissionare**.



Pechblenda Carnotite



L'Uranio prima di essere utilizzato nei reattori nucleari deve subire il processo di **arricchimento**: gli isotopi dell'uranio sono separati per aumentare la concentrazione di U-235 rispetto a U-238; **rendendolo fissile**. Quindi ridotto i pastiglie cilindriche che serviranno per alimentare il reattore.



Il **plutonio**, il suo, numero atomico 94, naturale è rarissimo, principalmente si ottiene dall'Uranio 238, la produzione avviene proprio nei reattori nucleari, gli stessi che usano le centrali per ottenere energia.

L'**uranio impoverito**, deriva dal processo di arricchimento dell'uranio, ma anche dal riprocessamento del combustibile nucleare esaurito che contiene tutta una serie di radionuclidi non presenti in natura ed estremamente pericolosi per l'uomo e per l'ambiente (ad esempio il Plutonio).

**Due sono i processi fondamentali per ottenere energia nucleare: la fissione e la fusione nucleare, uno l'opposto dell'altro:**

1. **La Fissione nucleare** (dall'uranio) rottura di un nucleo pesante,
2. **La Fusione nucleare** dal deuterio e dal trizio) unione dei nuclei leggeri come quelli dell'idrogeno

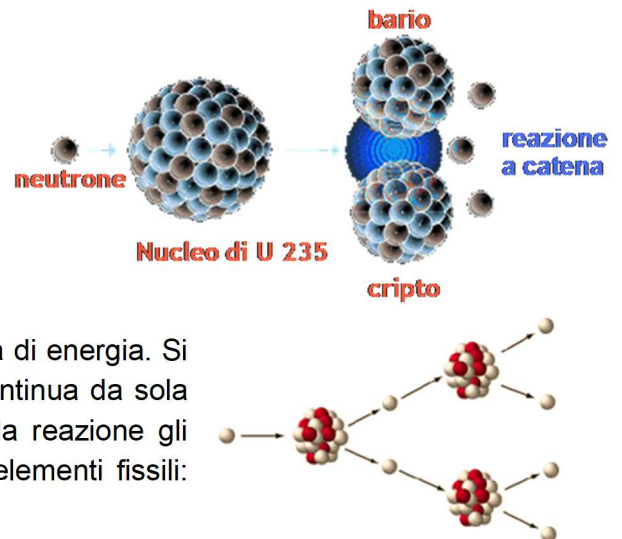
## FISSIONE NUCLEARE

Per provocare la **fissione atomica** di un atomo pesante come quello di **uranio** o quello plutonio, occorre bombardare il **nucleo** con **neutroni** ad alta velocità. Il nucleo colpito assorbe il neutrone, e si divide in due nuclei di altri due nuclei di altri elementi (bario-141 e kripton-92), che e sono radioattivi, liberando 3 neutroni:

**1 neutrone + U235 --> U236 -> Ba144 + Kr89 + 3 neutroni.** Se, a loro volta, essi colpiscono un nucleo di  $^{235}\text{U}$  lo rompono.

E così si avvia una reazione a catena che libera una quantità di energia. Si tratta di una **reazione a catena**, che una volta innescata continua da sola **liberando quantità sempre crescenti di energia**. Dopo la reazione gli elementi usati che sono molto fertili danno origine ad altri elementi fissili: (plutonio, torio, nettunio...)

L'energia può essere liberata istantaneamente, come avviene in una bomba atomica, o fluire in modo regolare e **controllato**, come avviene in un reattore nucleare per la produzione di energia elettrica per la quale è sufficiente un arricchimento dell'uranio al 3%. Quindi, l'uranio 235 al arricchimento al 3-7% è destinato all'utilizzo come combustibile delle centrali nucleari a fissione, l'uranio 235 all'80% è invece utilizzato per fini militari, in particolar modo per la costruzione delle bombe A.



## FUSIONE NUCLEARE



La fusione avviene naturalmente nel Sole e nelle stelle a milioni di gradi e consiste nell'unione di due nuclei leggeri, quelli dell'idrogeno per formare un nucleo pesante: l'elio.



Fondendo un nucleo di **deuterio** (2 neutroni) con un nucleo di **trizio** (3 neutroni) si ottiene un nucleo di **ELIO** (4 neutroni) è appunto la **differenza** (1 neutrone) che genera una a generare la **reazione incontrollata** che una volta innescata, però produce 10 volte energia più della fissione, e si autoalimenta: **deuterio + trizio --> elio -> 1 neutrone**

Sulla terra gli scienziati sono riusciti a realizzare la fusione nucleare solo in forma **non controllata**, la fusione di due nuclei di deuterio e trizio, si può ottenere solo a temperature di almeno **100 000 000° C**, per cui non si è ancora potuto ottenere un uso pratico di tale processo; Attualmente la fusione viene utilizzata solo per la produzione di micidiali ordigni nucleari (bombe H o ad idrogeno).

In Francia è partito il progetto **ITER** per la produzione della **Fusione a Freddo** (senza calore) che condurrà entro 30-40 anni alla realizzazione delle centrali nucleari a fusione (*progetto DEMO*).



## FUSIONE FREDDA

La **fusione fredda Cold Fusion** (CF), si avvale dello stesso principio fisico della fusione termonucleare ma a temperatura ambiente.

A temperature basse è difficilissimo: comprimere nuclei l'uno così vicino all'altro, lavorando contro le forze di repulsione elettrica, tanto da permettere la fusione.

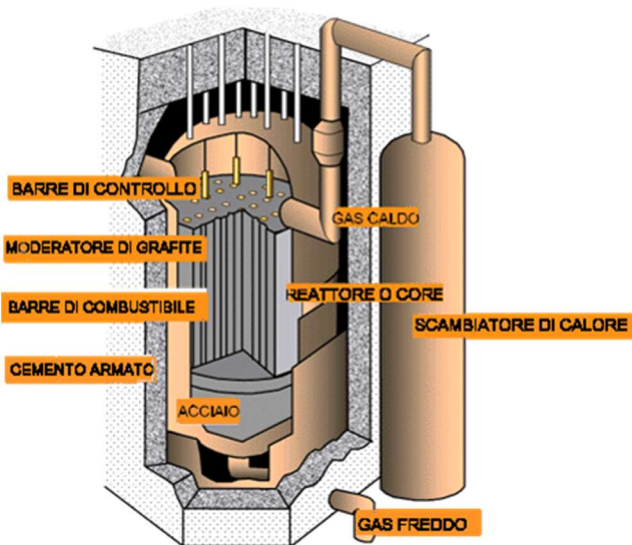


Perché essa avvenga, il gas reagente deve essere riscaldato fino a una temperatura di 50 milioni di gradi. Se riuscissimo a controllare questa reazione già realizzata in esplosioni nucleari, avremmo energia in quantità che non produce scorie nucleari: e 100% energia pulita, ma non esiste un materiale in grado di sopportare queste temperature.

Potremmo usare l'acqua come combustibile (*il deuterio dell'oceano*) e non avremo più problemi di scorie di radiazioni. Ma a tutt'oggi è impossibile riprodurla e molti la ritengono irrealizzabile. Il termine **fusione fredda** divenne molto popolare nel 1989 a seguito dei primi esperimenti di Martin Fleischmann e Stanley Pons dell'Università di Salt Lake City' con la cella elettrolitica.

Le ricerche sullo sviluppo della fusione termonucleare controllata per scopi civili cominciarono negli anni 50, e continuano ancora oggi.

## “LA CENTRALE TERMONUCLEARE”



La parte più importante della centrale è il **reattore nucleare**.

Il reattore è composto da una parte centrale che prende il nome di **nocciolo**, dove avviene la fissione.

Il reattore viene caricato con delle **barre di combustibile** che contengono pastiglie cilindriche di **U235** (materiale fissile più usato).

Durante il processo di fissione il calore prodotto viene controllato da **barre di controllo** (di minio e cadmio), che rallentano il processo. Il reattore è protetto da una campana di rivestimento + 1 sistema di raffreddamento in cui circola acqua.



L'acqua trasformata in **vapore** mette in azione una **turbina** collegata con un **alternatore** che produce **energia elettrica**.

Il vapore viene convogliato sulla turbina che ruotando trasmette la sua energia meccanica all'alternatore che a sua volta la trasforma in energia elettrica.

Dopo l'incidente di **Chernobyl** del 1986, in seguito ad un referendum, in **Italia** sono **state chiuse tutte le centrali**, (ne contava quattro), mentre nel resto dell'Europa ci sono molti Impianti produttivi. La fissione **non**

è **inquinante** e potrebbe risolvere tutti i problemi legati all'energia, il costo di produzione di un kWh elettrico di origine nucleare è inferiore a quello di ogni altra fonte rinnovabile e non rinnovabile, ma **molto pericolose** sono le eventuali fughe di materiale **radioattivo** e le **scorie radioattive**, prodotto di rifiuto, atomi radioattivi che impiegano 4 miliardi di anni per diventare stabili.

## PROBLEMI DEL NUCLEARE

A parità di elettricità prodotta, l'energia nucleare fornisce risorse a minor impatto ambientale. Infatti, **non è fonte di emissioni inquinanti**, responsabili dell'effetto serra.



Il problema ambientale delle centrali nucleari è però costituito dalla rischiosità del processo in caso di incidente e di fuga di materiale radioattivo (**Chernobyl**) o in caso di gravi calamità naturali disastro di **Fukushima** del 2011).

Un altro problema è quello delle **scorie radioattive**, (prodotti di fissione: cesio, stronzio, iodio, rubidio....) questo materiale, emette delle radiazioni penetranti ed è molto radiotossico (una centrale ha un contenuto radioattivo di un miliardo di curie), prodotto di rifiuto, atomi radioattivi che impiegano 4 miliardi di anni per diventare stabili e sono pericolosissime; **oggi** le scorie sono collocate in cassoni di cemento armato, e spesso vengono sepolte in fondo agli oceani o in grandi depositi sotterranei geologicamente stabili, ma rimangono tali per migliaia di anni.

**Politicamente** le centrali nucleari sono **potenzialmente pericolose** se lasciate in mano a paesi interessati alla proliferazione militare.

Sono circa 445 le centrali attive nel mondo. I paesi con maggiore presenza di reattori nucleari sono i seguenti:

- 104 negli USA
- 59 in Francia
- 53 in Giappone

## LE RADIAZIONI

Tutti gli elementi con numero **atomico maggiore di 83** (uranio, plutonio, tinio, radio,..) **emettono spontaneamente radiazioni**.

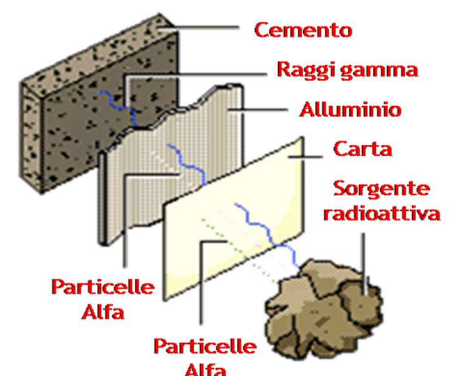
Bombardando nuclei di uranio con neutroni si ottengono moltissime sostanze radioattive.

Dopo un'esplosione nucleare possono avere effetti letali sia immediati che nel tempo su coloro i quali ne vengono esposti.

Sono radiazioni, sia i raggi alfa che i raggi beta, nonché, i raggi ultravioletti, i raggi X ed i raggi gamma.

Dopo gli incidenti nucleari, sono tre gli elementi da tenere sotto controllo per eventuali contaminazioni: lo iodio 131, il cesio 137 e lo stronzio 90. Di solito portano a leucemie e a neoplasie diffuse in tutto il corpo.

Esistono tre forme di radiazione: **particelle alfa**, **particelle beta** e **raggi gamma**.

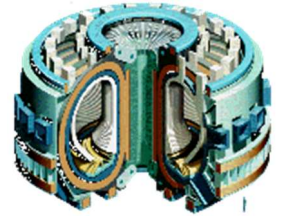


Basta pensare che le **particelle alfa  $\alpha$** , possono essere fermate dalla carta, **quelle beta  $\beta$** , dall'alluminio; i **raggi gamma  $\gamma$** , possono essere fermati solo da uno spessore di piombo o di cemento.

---

## CENTRALI A FUSIONE

Le centrali nucleari dagli anni Cinquanta in poi usano la fissione, allo stato attuale **non esistono** reattori nucleari a fusione operativi per produrre energia elettrica a scopi civili ma impianti **sperimentali** di ricerca in grado di sostenere la reazione di fusione nucleare per un **tempo molto ridotto**; poiché occorre un **reattore** in grado di scaldare la materia fino a **100 milioni** di gradi, perché solo a questa temperatura gli atomi vincono la repulsione reciproca.



E' in corso il **progetto più avanzato** per la costruzione del primo reattore a fusione: **ITER** (International Thermonuclear Experimental Reactor), nel sud della Francia a Cadarache. Il reattore è di tipo **Tokamak**, che racchiudere isotopi di idrogeno (una miscela di Deuterio-Trizio) verrà impiegata per la produzione netta di energia fino a 500 MW e nel quale le reazioni di fusione potranno per la prima volta autosostenersi allo stato di **plasma** (un **gas ionizzato**, costituito da un insieme di elettroni e ioni, globalmente neutro. Ma vengono continuamente sperimentate nuove tecnologie.

La costruzione del reattore richiederà ancora molti anni, 30-40 anni (2040/2050) solo allora, centrali nucleari a fusione sostituiranno le centrali nucleari a fissione.

---