



L'ENERGIA DELLA MATERIA

KIT 16

Dossier

I materiali **WattAbout** sono stati prodotti nel progetto EnergiaFuturo, con il sostegno della Fondazione Gebert R f

Coordinamento:

Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana
Dipartimento formazione e apprendimento / Alta scuola pedagogica

In collaborazione con:

Ticino Energia, AET, AIL, Dipartimento del Territorio della Repubblica e Cantone Ticino,  ducation21 e RSI EDU.

L'energia della materia
Kit 16
Versione 1.1
Gennaio 2026

   NC Switzerland

www.wattabout.ch

**WISSENSCHAFT.
BEWEGEN**
GEBERT R F STIFTUNG



Indice

Introduzione	4
1. L'energia nucleare in Svizzera e nel mondo	5
Dalle scoperte scientifiche alla realizzazione delle prime centrali	5
Centrali nucleari in Svizzera	7
Centrali nucleari nel mondo	9
2. Produzione e uso: qualche dato	11
L'importanza dell'energia nucleare per l'approvvigionamento elettrico	13
3. Energia nucleare: che cos'è?	14
Fonte primaria in Svizzera: Uranio-235	14
I processi di fissione e fusione nucleare	15
Come funziona una centrale nucleare	17
4. Energia nucleare e sostenibilità	18
Energia nucleare e clima	18
5. Sfide	19
6. Opportunità e soluzioni future	23
7. L'energia nucleare nella politica energetica	25
La discussione a livello europeo	25
L'energia nucleare nella Strategia Energetica 2050	26
Accordo sulla produzione di elettricità a zero emissioni di CO ₂	27
Fonti	28

Introduzione

In questo kit parliamo dell'energia nucleare, che è quella contenuta nel nucleo degli atomi. Viene liberata in processi di fissione (divisione di un nucleo) o di fusione (unione di nuclei). È l'energia prodotta in un reattore nucleare o nelle stelle. Una centrale nucleare è un impianto industriale in cui l'energia nucleare viene trasformata in energia elettrica e termica grazie alla **fissione nucleare**.

Un impianto nucleare ha la caratteristica di produrre **grandi quantità di energia elettrica in maniera solitamente affidabile e continua**, con **emissioni dirette di CO₂ estremamente basse**. La produzione è caratterizzata da un'elevatissima **inerzia operativa**, ciò significa che le centrali nucleari non possono aumentare o ridurre rapidamente la loro produzione di energia: **ogni variazione richiede tempi molto lunghi**, e possono servire **molte ore, se non interi giorni**, per accenderle, spegnerle o adattarle a una nuova domanda. Tuttavia, resta un sistema di produzione di energia elettrica abbastanza flessibile.

L'energia nucleare è utilizzata in tutto il mondo per queste caratteristiche, ma resta oggetto di dibattito per i rischi legati alla sicurezza e alla gestione delle scorie radioattive. Dal punto di vista strategico, l'energia nucleare garantisce **fornitura stabile e costante**, in particolare durante i mesi invernali, contribuendo alla **sicurezza energetica del Paese**.

1. L'energia nucleare in Svizzera e nel mondo

Dalle scoperte scientifiche alla realizzazione delle prime centrali

La storia dell'energia nucleare, come sempre nelle grandi rivoluzioni tecnologiche, nasce molto prima dell'avvento delle prime centrali. Nasce dal pensiero, dallo studio e dalla sperimentazione di moltissimi scienziati. Ad inizio Novecento, le scoperte scientifiche nel campo della fisica furono notevoli e stravolsero le conoscenze dell'epoca. Nel 1938, a Berlino Otto Hahn e Fritz Strassmann dimostrarono in maniera sperimentale la fissione nucleare: irradiarono l'uranio con neutroni e questo produsse i prodotti di fissione dell'uranio. Un anno più tardi Lise Meitner e Otto Frisch diedero la spiegazione fisico-teorica della fissione nucleare e solo quattro anni dopo, nel 1942 avvenne la prima reazione di fissione a catena controllata negli USA. Il noto fisico Enrico Fermi (Nobel per la fisica nel 1938), seguiva infatti il progetto "Chicago Pile 1": il primo reattore nucleare funzionante al mondo. Questo progetto specifico era però inserito in un quadro generale più ampio, che aveva come scopo finale la costruzione di armi nucleari, attraverso il "Progetto Manhattan". Dopo soli tre anni si assisteva già ai primi test sulla bomba atomica e successivamente ai bombardamenti di Hiroshima e Nagasaki, durante la Seconda Guerra mondiale [1].

Il 1951 è l'anno della svolta per quella che sarebbe stata la produzione di energia elettrica. Per la prima volta, infatti, si riuscì a produrre elettricità da una reazione nucleare nella centrale sperimentale EBR-I, in Idaho - negli Stati Uniti d'America, con l'accensione di quattro lampadine e nonostante ai nostri occhi questo possa sembrare banale, fu un momento storico fondamentale per la storia dell'energia. La produzione su larga scala di energia elettrica iniziò poi in una centrale russa (Obninsk) nel 1954 e successivamente, due anni più tardi, ne iniziò la commercializzazione nel Regno Unito, grazie alla centrale di Calder Hall.

In Svizzera, l'avventura nucleare inizia un po' più tardi, nel 1964, con l'avvio dei lavori per la centrale di Lucens, nel Canton Vaud. L'impianto ebbe però vita breve: nel 1969 fu definitivamente spento a causa del surriscaldamento degli elementi di combustibile e della contaminazione delle acque, penetrate attraverso la struttura incastonata nella roccia. Si trattò di uno degli incidenti nucleari più gravi della storia [2], che tuttavia non intaccò la determinazione elvetica ad utilizzare l'energia atomica. Nello stesso anno, infatti, entrò in funzione la centrale di Beznau I, nel Canton Argovia, segnando l'inizio della produzione commerciale di energia nucleare in Svizzera.

Seguirono la centrale di Mühleberg nel 1971, nel Canton Berna, poi disattivata nel 2019, e successivamente quelle di Gösgen (1979) e Leibstadt (1984). Queste centrali segnarono l'ingresso della Svizzera nell'era dell'energia nucleare, contribuendo in modo significativo alla produzione elettrica nazionale per decenni.



Centrale nucleare di Gösgen-Däniken [3]

Centrali nucleari in Svizzera

In Svizzera le centrali nucleari sono:

- Beznau unità I e II (Argovia)
- Gösgen (Soletta)
- Leibstadt (Argovia) [4]
- Mühleberg, fuori servizio (Berna)

La Tabella sotto riporta per ogni centrale nucleare della Svizzera il nome, il numero di reattori, il periodo di attività, lo stato (i.e. attivo/ in disattivazione), così come alcune caratteristiche relative alla potenza installata, alla produzione annua e al tipo di reattore nucleare installato (i.e. PWR - Pressurized Water Reactor/Reattore ad acqua sotto pressione, oppure BWR - Boiling Water Reactor/ Reattore ad acqua bollente).

Impianto	Reattori	Inizio attività	Stato	Note
Beznau I & II (Argovia)	2	1969 / 1971	Attivo	PWR Produzione ~5.5 TWh/ anno Potenza 2x 365 MW
Gösgen (Soletta)	1	1979	Attivo	PWR Produzione ~8 TWh/anno Potenza 1'010 MW
Leibstadt (Argovia)	1	1984	Attivo	BWR Produzione ~8 TWh/anno Potenza 1'233 MW
Mühleberg (Berna)	1	1972—2019	Spento/in disattivazione	Disattivazione in corso fino al 2034

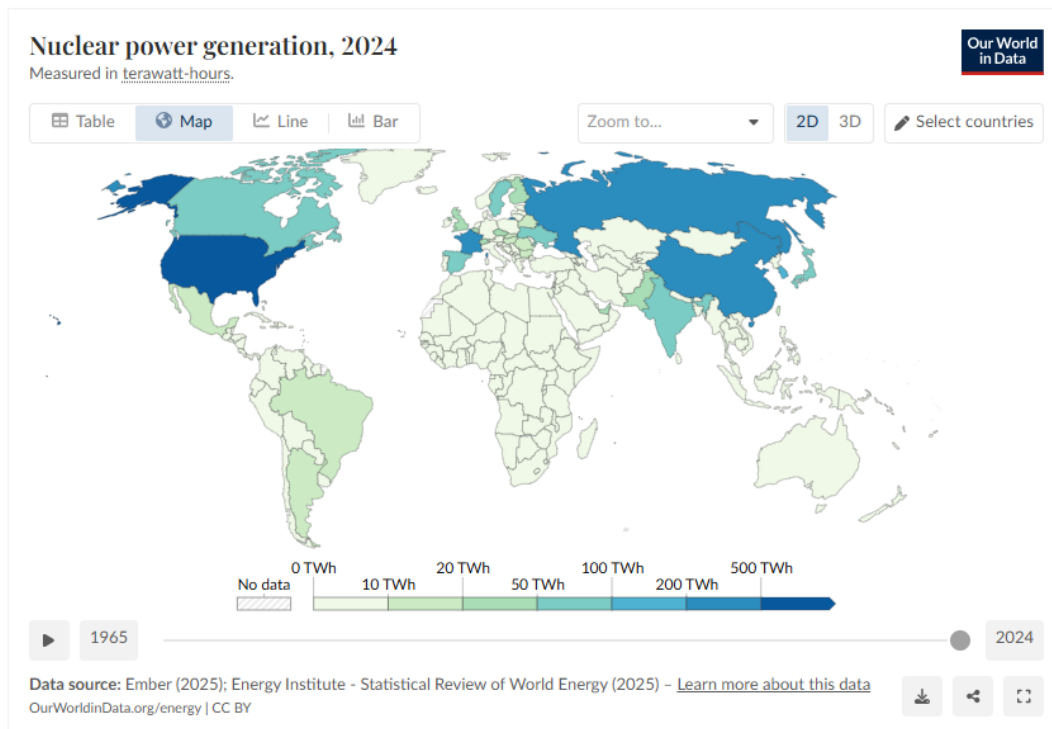
Tabella riassuntiva Impianti nucleari in Svizzera, elaborata da dati [4;5]

Oltre alle centrali nucleari vi sono alcuni reattori presso istituti di ricerca: al Politecnico federale di Losanna (EPFL), all'Istituto Paul Scherrer (PSI) di Würenlingen, e all'Università di Basilea [4; 5]. Questi reattori sono impiegati esclusivamente per scopi di ricerca e non producono elettricità destinata alla rete.

IFSN-Mappa degli impianti nucleari in Svizzera [5]

Centrali nucleari nel mondo

Le centrali nucleari sono diffuse in molti Paesi del mondo e contribuiscono in modo significativo alla produzione di elettricità. Attualmente, oltre 30 nazioni utilizzano l'energia nucleare, e gli Stati Uniti, la Francia, la Cina e la Russia sono tra i principali produttori. La Francia, in particolare, copre circa tra il 65% e il 70% del suo fabbisogno elettrico con il nucleare [8].



Produzione di energia nucleare, 2024 [9]

A marzo 2024, nel mondo, erano attive 415 centrali nucleari, con una potenza installata totale di 373,257 GW, di cui 167 in Europa; altre 57 centrali erano in fase di costruzione per una capacità aggiuntiva di 59,22 GW [10].

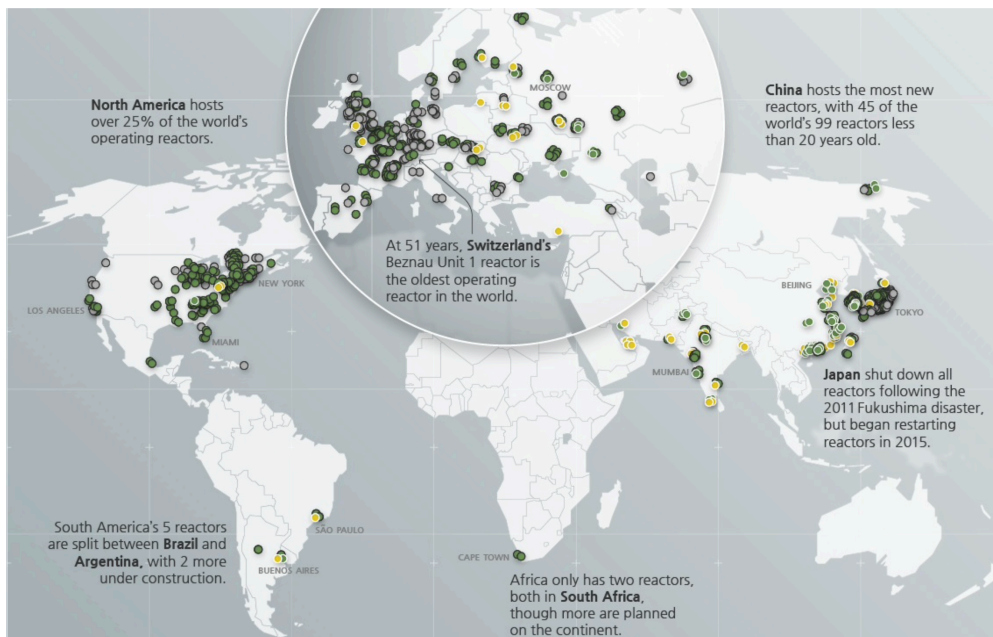
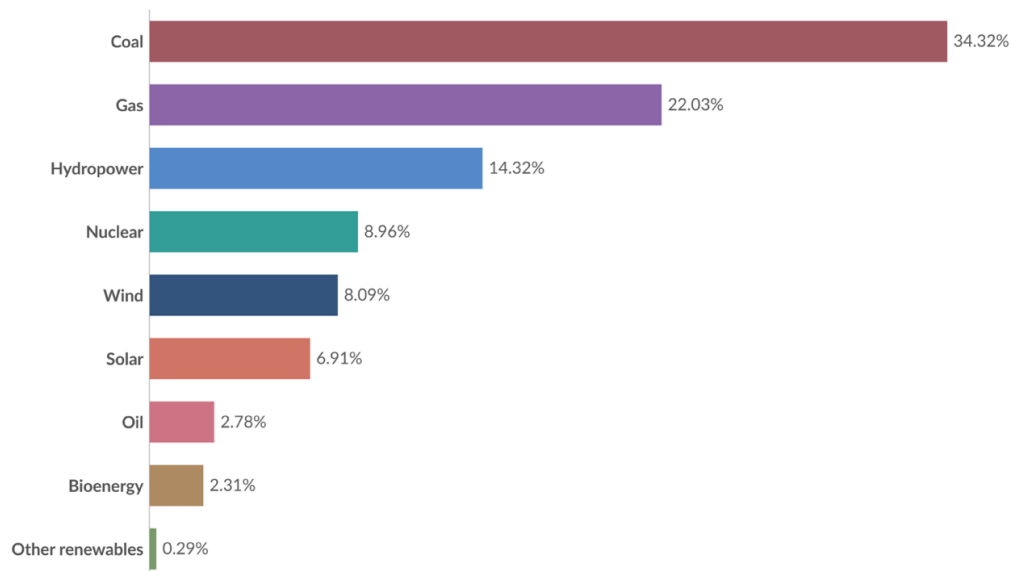


Immagine tratta da Visual Capital — Mappa panorama mondiale dei reattori nucleari, con dimensioni proporzionali alla loro capacità. Si nota una concentrazione elevata in Nord America, Europa e Asia Orientale. Verde: in funzione, Giallo: in costruzione [11].

Share of electricity production by source, World, 2024

Our World in Data



Data source: Ember (2025); Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2025)
Note: "Other renewables" include geothermal, wave, and tidal.

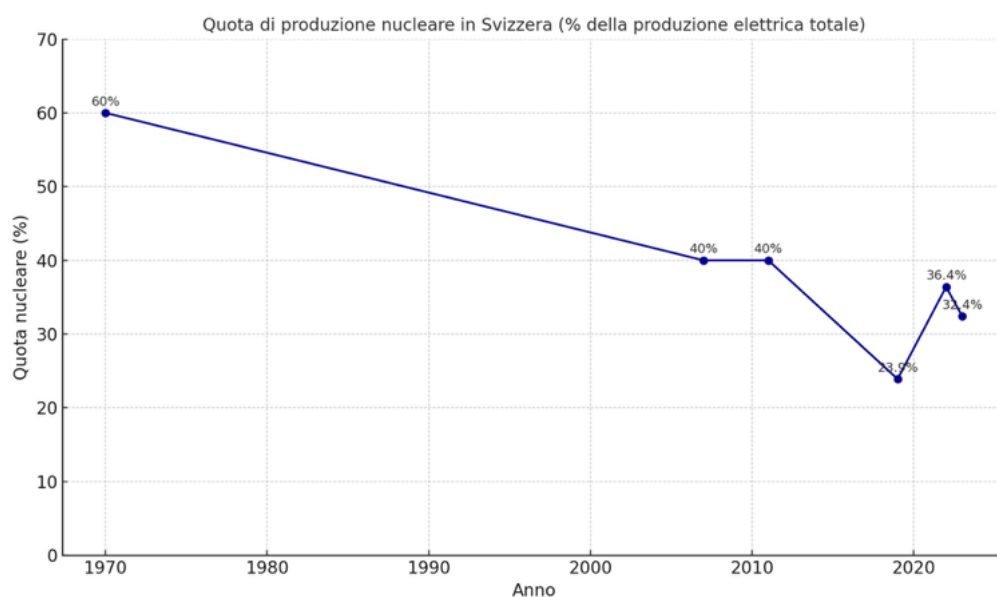
OurWorldinData.org/energy | CC BY

Quota di produzione di energia elettrica per fonte nel mondo, 2024 [12]

Nel 2024, la percentuale di energia elettrica prodotta nel mondo, grazie al nucleare, era di circa il 9%, paragonabile a quella generata grazie all'eolico (8%) e solare (7%) [12].

2. Produzione e uso: qualche dato

Nel **2024**, la Svizzera ha prodotto energia nucleare dai quattro reattori in funzione (nelle tre centrali operative di Beznau I e II, Gösgen e Leibstadt, aventi una capacità totale di circa 3 GW) i quali in totale hanno prodotto **23 miliardi di kilowattora** (mia kWh), pari a **circa il 30%** della produzione netta elettrica nazionale dell'anno 2024 (76.2 mia kWh) [13].

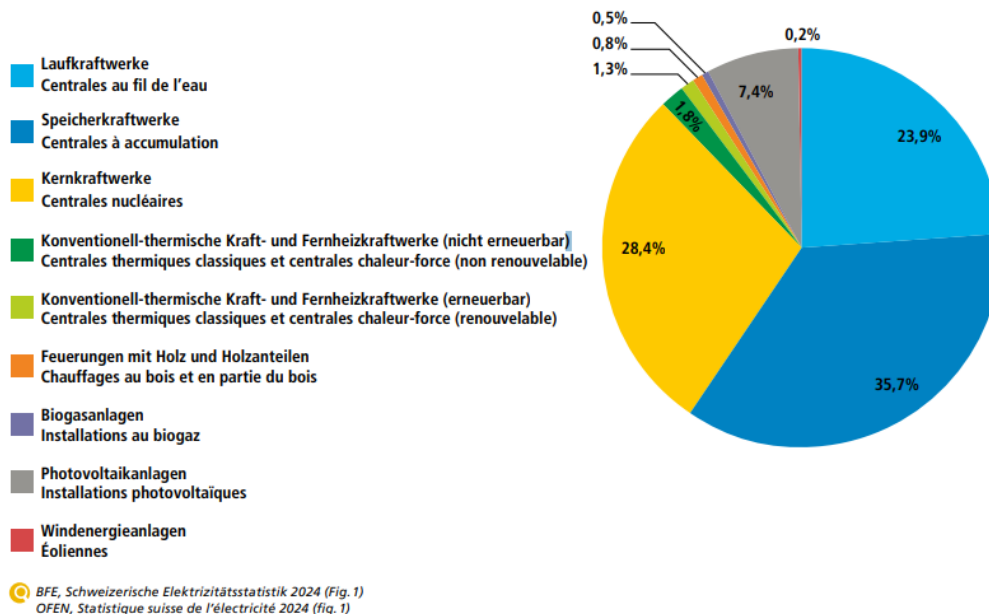


Evoluzione della quota di energia nucleare nella produzione in Svizzera (anni 1970—2024)

La quota di energia nucleare nella produzione elettrica svizzera ha raggiunto circa **il 60% negli anni '70**, in una fase iniziale di rapido sviluppo. Tra il **2007 e il 2011**, la percentuale si è stabilizzata intorno al **40%**. A seguito dell'incidente di **Fukushima nel 2011** e della successiva decisione della Svizzera di uscire gradualmente dal nucleare, la quota ha subito un calo costante. Con la **chiusura della centrale di Mühleberg nel 2019**, è scesa sotto il **25%**, per poi risalire al **36%** circa, nel 2022, stabilizzandosi infine attorno al **30% nel 2024** [13; 14; 15].

Dunque, le centrali nucleari attualmente in funzione coprono ancora una parte considerevole della produzione elettrica in Svizzera [16].

Fig. 1 Stromproduktion 2024 nach Kraftwerkskategorien
Production d'électricité en 2024 par catégories de centrales



Produzione di energia elettrica nel 2024 per categoria di centrale [Fig.1, Pag. 2] [13].

In Svizzera l'energia nucleare è impiegata principalmente per la produzione di elettricità. Esistono però altri utilizzi dell'energia nucleare: in ambito medico (macchinari diagnostici e alcune terapie), nell'industria e nella ricerca [17; 18] e, a livello internazionale, anche in campo bellico - ma non per la Svizzera.

Il calore residuo generato da una centrale nucleare può inoltre essere sfruttato direttamente, ad esempio per alimentare reti di teleriscaldamento: è il caso delle centrali di Beznau, che fornisce calore a oltre 2.600 edifici pubblici e privati e di Gösgen, che fornisce calore industriale a due cartiere [19].

L'importanza dell'energia nucleare per l'approvvigionamento elettrico

L'energia nucleare riveste un ruolo strategico nell'assicurare la sicurezza dell'approvvigionamento elettrico della Svizzera.

Grazie alla loro capacità di fornire energia elettrica **in modo costante e stabile**, le centrali nucleari sono un pilastro per la stabilità della rete elettrica. Esse garantiscono il cosiddetto *carico di base* (*baseload*), essenziale per coprire la domanda elettrica minima prevista **24 ore su 24**, e sono particolarmente preziose nei periodi di alta domanda o di bassa produzione da fonti rinnovabili - ad esempio in inverno, quando la produzione solare cala e le riserve idriche nei bacini sono ridotte.

Nonostante la progressiva uscita dal nucleare, dopo l'incidente al reattore di Fukushima, le **centrali nucleari svizzere** (Beznau, Gösgen e Leibstadt) forniscono ancora oggi, come già detto, oltre il **30% della produzione elettrica nazionale**, e quindi rappresentano una colonna portante della stabilità e continuità dell'approvvigionamento **del sistema elettrico** nazionale.

3. Energia nucleare: che cos'è?

L'energia nucleare è l'energia liberata durante le trasformazioni di nuclei atomici. Tali trasformazioni si hanno principalmente attraverso processi **di fissione** (su cui si fonda la tecnologia per la produzione di energia nucleare, nonché la bomba atomica) o **di fusione** (alla base dell'energia prodotta nelle stelle e della bomba a idrogeno). Nella materia che compone l'universo - almeno quella che conosciamo - esistono elementi naturalmente più inclini alle reazioni nucleari, e quindi utilizzabili per produrre energia. Si tratta di elementi radioattivi come **uranio, plutonio e torio**, caratterizzati da nuclei molto grandi e pesanti, intrinsecamente instabili e facilmente scindibili [20].

What is Nuclear Energy? The Science of Nuclear Power

Fonte primaria in Svizzera: Uranio-235

In Svizzera l'energia nucleare è prodotta tramite la fissione dell'uranio-235 arricchito [21]. Si tratta di una miscela di isotopi dell'uranio che si differenzia dall'uranio naturale per il maggiore contenuto dell'isotopo U-235, l'unico presente in natura in quantità significative in grado di subire fissione nucleare e liberare energia. Nei reattori commerciali ad acqua leggera si impiega uranio a basso arricchimento (*Low Enriched Uranium*, LEU), con una concentrazione di U-235 compresa tra il 3% e il 5% [22]. La fissione nucleare rilascia energia sotto forma di calore e radiazioni; nelle centrali, il calore viene convertito in elettricità [23].

L'uranio naturale impiegato in Svizzera è estratto all'estero, e proviene soprattutto da **Canada, Australia, Kazakhstan e Niger**. Dopo l'estrazione, viene arricchito e trasformato in elementi di combustibile in Europa, principalmente in **Francia, Germania e Spagna**.

L'uranio è l'elemento prediletto nella fissione nucleare per tre motivi principali:

1. **Abbondanza e disponibilità** rispetto ad altri elementi fissili.
2. **Tecnologie collaudate e ben regolamentate** per il suo impiego nei reattori.
3. **Produzione stabile e continua di energia**, ideale per garantire il *carico di base* della rete elettrica.

I reattori svizzeri sono progettati per funzionare con uranio arricchito [2-Arricchimento dell'uranio].

I processi di fissione e fusione nucleare

La **fissione nucleare** è il processo mediante il quale il nucleo di un atomo pesante (come l'uranio-235, U-235) **si divide in due nuclei più leggeri**, liberando una grande quantità di energia termica. Durante il processo, si formano prodotti radioattivi e vengono emessi diversi neutroni liberi. Questi neutroni possono colpire altri nuclei fissili, innescando una reazione a catena controllata in un reattore, fornendo energia fintanto che il carburante nucleare non si esaurisce [24].

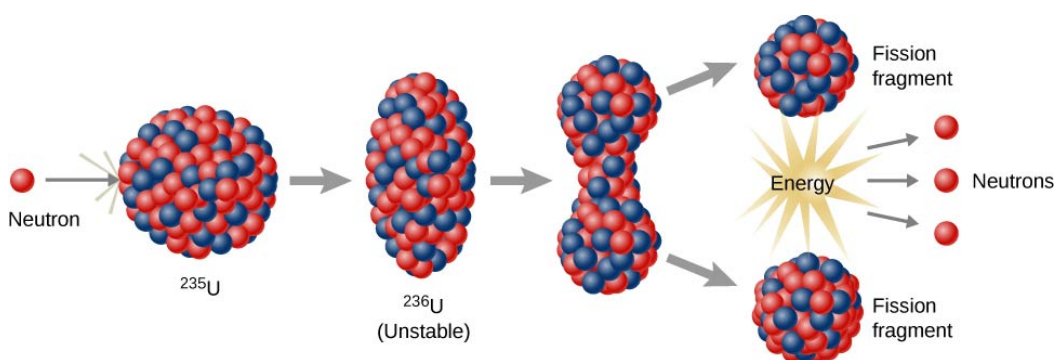


Immagine Modello a goccia liquida della fissione nucleare Autore: BC Open Textbooks.[25]

La **Fusione nucleare** è invece il processo in cui **due nuclei atomici leggeri**, come gli isotopi di idrogeno (deuterio e trizio), **si uniscono per formare un nucleo più pesante**, liberando enormi **quantità di energia**. È il meccanismo che alimenta il sole e le altre stelle.

La fusione nucleare non è ancora sfruttata commercialmente a causa delle elevate sfide fisiche e tecnologiche, come il confinamento del plasma a temperature di milioni di gradi, e degli alti costi di investimento necessari per costruire e gestire reattori complessi [26], [27]. Nonostante ciò, la ricerca continua a fare progressi significativi, con l'obiettivo di realizzare in futuro una fonte di energia pulita, sicura e praticamente inesauribile.

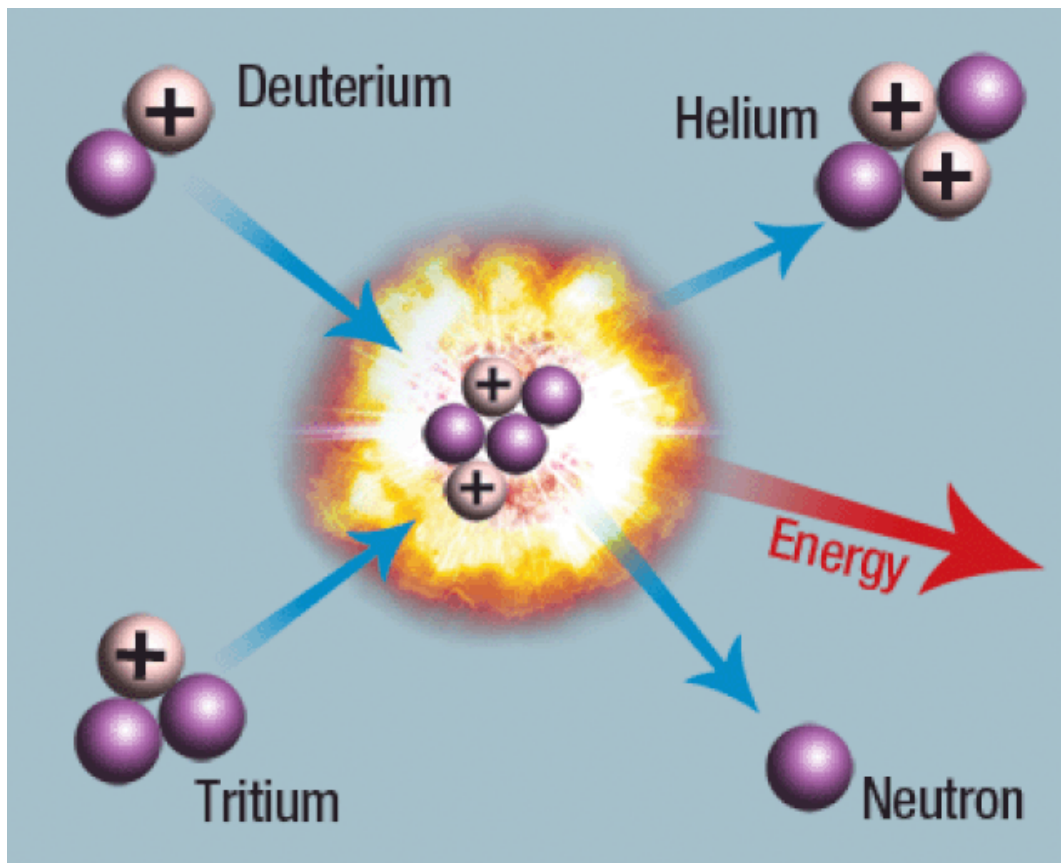
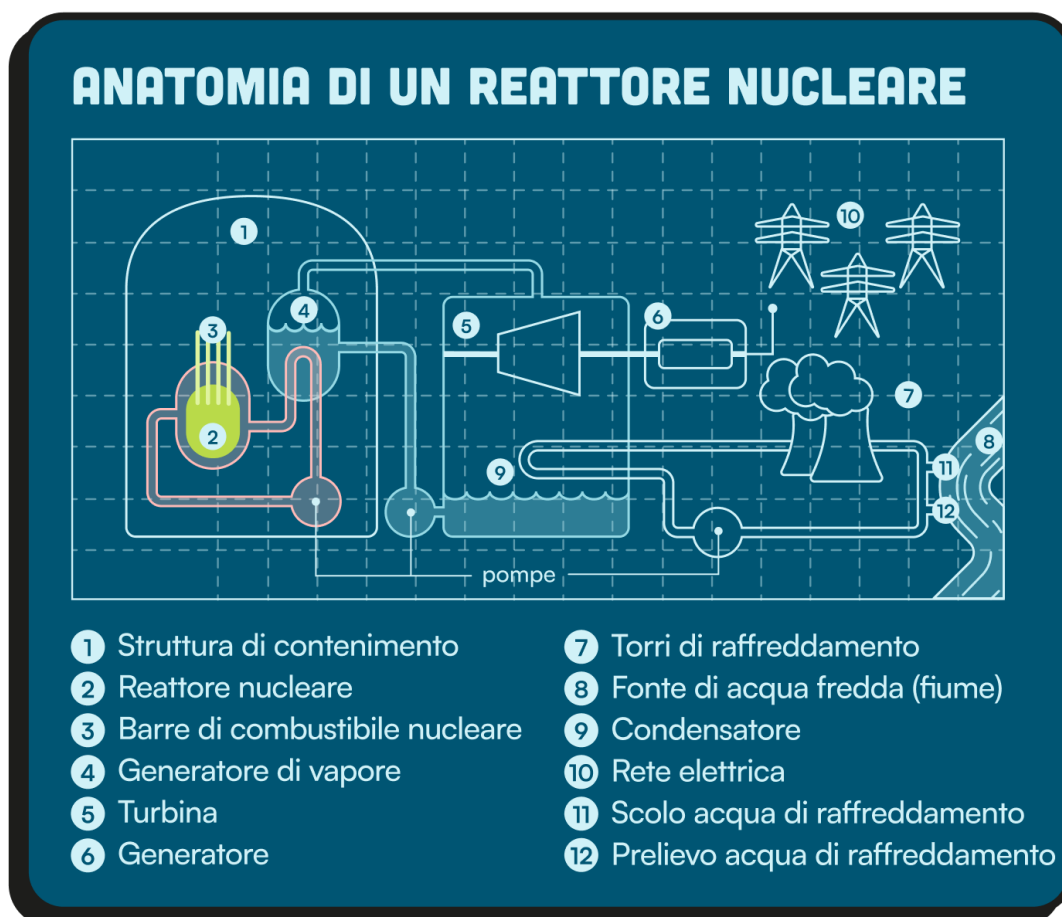


Immagine Fusione nucleare Autore: N.P. [28]

Come funziona una centrale nucleare

Le centrali nucleari producono elettricità sfruttando il calore liberato dalla fissione degli atomi di uranio.

L'uranio, contenuto in barre metalliche immerse in acqua all'interno del reattore, viene bombardato da neutroni per innescare la reazione di fissione. Quando i nuclei di uranio si dividono, rilasciano altri neutroni che a loro volta provocano ulteriori fissioni, generando una reazione a catena e una grande quantità di energia sotto forma di calore. Questo calore riscalda l'acqua circostante, producendo vapore che viene convogliato verso una turbina, che trasforma l'energia termica in elettricità. Le centrali nucleari sono dunque delle **centrali termo-elettriche**.



Schema WattAbout - ispirato a Andy Brunning / Compound Interest. How do nuclear reactors generate electricity? [29].

4. Energia nucleare e sostenibilità

Energia nucleare e clima

L'energia nucleare è spesso considerata climaticamente neutra e, in diversi studi e politiche, viene definita “verde” grazie alle emissioni estremamente basse generate durante l'intero ciclo di vita, comparabili o inferiori a quelle delle energie rinnovabili (i.e. vento, acqua, sole) [31; 32]. Infatti, pur basandosi su una risorsa non rinnovabile (i.e. l'uranio), il processo di fissione nucleare causa emissioni di CO₂ davvero ridotte.

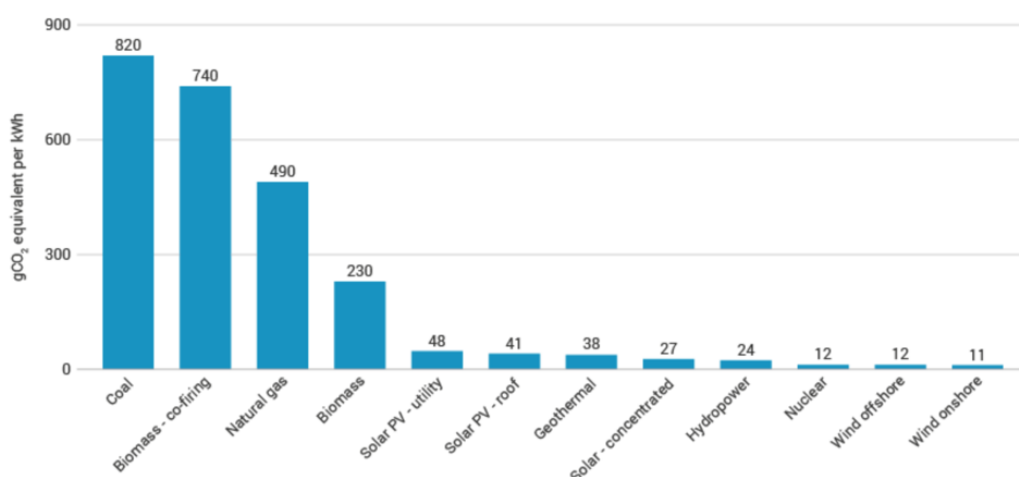


Figure 1: Average life-cycle CO₂ equivalent emissions (source: IPCC)

Emissioni di CO₂ nel ciclo di vita delle opzioni elettriche IPCC [33]

Secondo l'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), le emissioni di gas serra associate al nucleare si attestano tra 10 e 15 g CO₂e/kWh [31], un valore simile a quello dell'eolico e inferiore a quello del fotovoltaico. Questi dati si riferiscono a un'analisi del ciclo di vita (Life Cycle Assessment, LCA), che considera tutte le fasi, dall'estrazione dei materiali alla dismissione dell'impianto. Inoltre, il nucleare non produce durante la generazione emissioni di CO₂, SO₂ o NO₂ [34].

L'Agenzia Internazionale per l'Energia Atomica (IAEA) nel 2021 stimava che, negli ultimi cinquant'anni, l'energia nucleare ha evitato cumulativamente l'emissione di circa 70 gigatonnellate di CO₂, continuando a evitare oltre 1 Gt di CO₂ ogni anno [35].

Istituzioni internazionali come IAEA, IPCC e UNECE, oltre a numerose agenzie scientifiche, riconoscono il nucleare come una fonte efficace e a basse emissioni, importante per raggiungere gli obiettivi di neutralità climatica [36].

Tuttavia, affinché l'energia nucleare possa essere considerata “verde”, è necessario garantire una rigorosa gestione dei rifiuti e adottare misure di sicurezza molto solide, come previsto dalle normative europee. Permane infatti, il **problema irrisolto delle scorie radioattive a lunga durata**, per le quali non esistono soluzioni globalmente accettate. Inoltre, **i costi elevati di costruzione, smantellamento e sicurezza** contribuiscono ad aumentare il costo complessivo dell'energia.

5. Sfide

Le principali sfide legate all'energia nucleare sono:

1. Rischi di incidente nucleare

Gli incidenti più noti e significativi sono certamente i casi di:

- **Chernobyl, in Ucraina, dove nel 1986** durante un test di sicurezza nella centrale, un grave errore operativo e difetti di progettazione causarono l'esplosione del reattore 4, rilasciando enormi quantità di radiazioni nell'ambiente;
- **Fukushima, in Giappone, dove nel 2011** un terremoto e il successivo tsunami, colpirono la centrale, danneggiando i sistemi di raffreddamento e causando la fusione di tre reattori, con rilascio di materiale radioattivo nell'ambiente.

Entrambi hanno avuto impatti ambientali e sanitari di lungo termine [24] e [37].

La ricostruzione del disastro di Chernobyl, 1986 come e perché si è arrivati all'esplosione del reattore

Accadde a Chernobyl. Anatomia di una catastrofe

Fukushima 2011, il giorno del disastro

*Fukushima: cosa successe l'11 marzo 2011 in Giappone?
La dinamica del disastro nucleare e le cause*

Il disastro nucleare di Fukushima - molto diverso da Chernobyl

Anche se le centrali nucleari svizzere (Beznau, Gösgen, Leibstadt) sono tra le più monitorate d'Europa, **non è possibile azzerare completamente il rischio**. I potenziali pericoli includono:

- **Surriscaldamento del reattore** per guasto al sistema di raffreddamento o blackout.
- **Eventi naturali estremi** (terremoti, inondazioni, caduta di meteoriti).
- **Errore umano**, sabotaggio o malfunzionamenti sistemici [24] [37].

2. Gestione delle scorie radioattive

Quando le barre di combustibile nucleare si esauriscono e non sono più efficienti per la produzione di energia, restano comunque altamente radioattive e ad alta temperatura. Per questo vengono classificate come **scorie radioattive** e devono essere gestite e stoccate in sicurezza per lunghi periodi, affinché non rappresentino un pericolo per la salute umana e ambientale [30].

La gestione dei **rifiuti radioattivi** è una delle sfide più delicate:

- Le **scorie ad alta attività** (i.e. le barre di uranio esaurite) restano **pericolose per oltre 100.000 anni**.
- Attualmente sono stoccate **provvisoriamente a Würenlingen (ZWILAG)**.

- La strategia svizzera prevede la creazione di un deposito geologico profondo a Nördlich Lägern (Cantoni ZH/AG), in esercizio dal 2050 circa. Di questo si occupa il Progetto NAGRA [38].

3. Impatto sul paesaggio

Le centrali nucleari hanno **impianti visibili e infrastrutture estese** (torri di raffreddamento, zone di esclusione). La costruzione di nuove strutture nucleari o depositi, può modificare l'uso del suolo, generando **opposizione locale** [39].

4. Impatto ambientale

Le centrali nucleari utilizzano grandi quantità di acqua di fiume o lago per il raffreddamento, sottraendola temporaneamente al ciclo naturale e agli ecosistemi acquatici. Parte di quest'acqua viene poi rilasciata a temperatura più alta, causando potenziali danni: molte specie sono adattate a temperature specifiche, e l'aumento termico può nuocere direttamente agli organismi o ridurre l'ossigeno disciolto nell'acqua, fondamentale per la loro sopravvivenza [24]. Inoltre, l'energia nucleare genera emissioni in diverse fasi del ciclo di vita: dall'estrazione e arricchimento dell'uranio, alla costruzione e smantellamento delle centrali, con emissioni indirette di gas serra e inquinanti.

Sebbene durante la produzione di energia le emissioni dirette siano basse, il bilancio complessivo considera tutte queste fasi [40].

Riparte la centrale di Beznau

5. Costi elevati di costruzione e smantellamento e tempi lunghi di realizzazione

Nel settore nucleare è anche rilevante la parte della sfera della sostenibilità economica, sia come costi di investimento (per la progettazione e per la costruzione degli impianti), che come costi del costante controllo della loro sicurezza, che come costi per la disattivazione delle centrali - per il loro smantellamento. Inoltre, per i costi dello smaltimento / gestione delle scorie radioattive prodotte durante tutto il ciclo di vita dalla centrale stessa.

Voce	Descrizione	Fonte ufficiale
Tempi di costruzione di nuove centrali nucleari	Per una nuova centrale: circa 20 anni tra referendum, pianificazione e autorizzazioni necessarie in Svizzera e per la costruzione.	BFE / ENSI (ensi.ch) SCNAT Prospettive dell'energia nucleare in Svizzera - Rapporto - Luglio 2025- Capitolo 5.1.3 (Report_Kernenergie_kurz_F_final.pdf)
Costi di costruzione	Investimenti iniziali molto elevati per progettazione e realizzazione di una centrale	BFE / DATEC — “Il nucleare richiede grandi investimenti iniziali e tempi lunghi di realizzazione” (bfe.admin.ch) Gli studi sui costi vengono aggiornati regolarmente, ogni 5 anni. STENFO — Costi contribuiti e attività finanziarie 2021 (https://www.stenfo.ch/fr/couts-contributions-et-actifs-financiers/)
Costi per il costante controllo della loro sicurezza	Per ispezioni, verifiche tecniche, manutenzione preventiva in campo di sicurezza nucleare	L'Ispettorato federale della sicurezza nucleare (IFSN / ENSI) effettua analisi, ispezioni (oltre 300 all'anno), sorveglianza tecnica, per verificare che gli impianti siano sicuri. (https://www.ensi.admin.ch/it/2025/06/30/rapporto-di-sorveglianza-2024-le-centrali-nucleari-hanno-rispettato-le-condizioni-di-esercizio-autorizzate/)
Gestione scorie	Obbligo di stoccaggio geologico profondo, con gestione su orizzonte di secoli-millenni.	ENSI — “Smaltimento delle scorie radioattive” (https://www.ensi.admin.ch/it/temi/smaltimento/?utm)
Costi di smantellamento	Stima totale di 24,6 miliardi CHF per smantellamento centrali e smaltimento scorie	DATEC — Comunicato stampa Aprile 2018 (https://www.news.admin.ch/it/nsb?id=70407) STENFO — Costi contribuiti e attività finanziarie 2021 (https://www.stenfo.ch/fr/couts-contributions-et-actifs-financiers/)
Fondi STENFO	Produttori nucleari versano contributi (≈ 1 cent./kWh) per coprire smantellamento e smaltimento.	STENFO — Fondo federale per smantellamento e smaltimento (stenfo.ch/fr)

6. Opportunità e soluzioni future

L'energia nucleare continua ad offrire importanti opportunità nella transizione energetica, grazie a **centrali di nuova generazione** (Small Modular Reactors e reattori di IV generazione), progettate per garantire **maggiore efficienza, riduzione del rischio di incidente e minore produzione di scorie**.

RICERCA

La **gestione delle scorie radioattive** resta una sfida chiave: in Svizzera, e il **progetto NAGRA** ha identificato il sito di **Nördlich Lägern** per il futuro **deposito geologico profondo**, mentre nel **Laboratorio sotterraneo di Mont Terri (JU)** [41] si conduce **ricerca sperimentale sul comportamento delle rocce argillose** per garantire la sicurezza a lungo termine dello stoccaggio. **La Società cooperativa nazionale per lo smaltimento delle scorie radioattive (NAGRA)** il 19.11.2024 ha presentato all'Ufficio federale dell'energia (UFE), le domande di autorizzazione di massima per il deposito in strati geologici profondi che ospiterà le scorie radioattive [38].

RICERCA

la Svizzera partecipa a progetti internazionali, nel campo della **fusione nucleare**, come il programma **ITER** - International Thermonuclear Experimental Reactor - in Francia, che mira a ricreare l'energia del sole sulla Terra, promettendo energia **pulita e potenzialmente illimitata**, sebbene non ancora pronta su scala industriale. ITER è il più grande progetto mondiale per la realizzazione di un **reattore a fusione nucleare sperimentale**, in costruzione **a Cadarache, nel sud della Francia** [42].

PROFESSIONI

Master of Science in Nuclear Engineering-ETH Zurich

Vuoi diventare un'esperta o un esperto di energia nucleare?

I politecnici federali di Losanna e Zurigo (EPFL e ETHZ) offrono un programma di master congiunto in collaborazione con l'istituto di ricerca Paul Scherrer (PSI). Il percorso si svolge su quattro semestri: il primo a EPFL, il secondo a ETH Zurich, il terzo prevede insegnamenti specializzati al PSI e uno stage in industria, mentre l'ultimo è dedicato alla tesi di master. Il programma copre la tecnologia nucleare per la produzione di energia da fissione, il ciclo del combustibile, le applicazioni della fusione nucleare e l'uso delle radiazioni in medicina e industria, oltre a esplorare il ruolo futuro dell'energia nucleare in un sistema energetico sostenibile [43].

7. L'energia nucleare nella politica energetica

La discussione a livello europeo

Il dibattito sull'utilizzo dell'energia nucleare in Svizzera si inserisce in un più ampio confronto a livello europeo. Dopo un dietrofront generalizzato sul nucleare, soprattutto a seguito dell'incidente di Fukushima nel 2011, negli ultimi anni la crisi climatica, le tensioni geopolitiche e la necessità di garantire un approvvigionamento energetico stabile, a basse emissioni, hanno portato a una rivalutazione del ruolo del nucleare sia in Europa che in Svizzera. Nel 2022, l'Unione Europea ha inserito il nucleare (e il gas naturale) nella tassonomia verde per gli investimenti sostenibili, purché rispettino determinati standard ambientali e di sicurezza. Dunque, dal 1° gennaio 2023: “I criteri per le attività specifiche del gas e del nucleare sono in linea con gli obiettivi climatici e ambientali dell'UE e contribuiranno ad accelerare il passaggio dai combustibili fossili solidi o liquidi, compreso il carbone, verso un futuro neutrale dal punto di vista climatico” [44].

Dunque, parte della comunità scientifica e industriale sostiene che il nucleare, pur non essendo una fonte rinnovabile, possa contribuire alla neutralità climatica. Gli oppositori, criticano invece la generazione di ulteriori scarti radioattivi, i lunghi tempi di costruzione che necessiteranno per l'avvio di nuove centrali e gli elevati costi.

In Svizzera, il Consiglio federale nel 2024-2025 ha mostrato segnali di apertura verso una revisione della Strategia Energetica 2050, per affrontare i limiti delle energie rinnovabili intermittenti (solare ed eolico), il crescente fabbisogno di energia elettrica dovuto all'elettrificazione dei trasporti e al riscaldamento con pompe di calore, e la necessità di garantire la sicurezza dell'approvvigionamento anche nei mesi invernali [45].

Sebbene non sia ancora stato approvato un ritorno ufficiale al nucleare, si discute della possibilità di nuove tecnologie più sicure e modulari, come i reattori di quarta generazione, ancora in fase di ricerca e prototipizzazione. Oltre il 2050, inoltre, si nutre la speranza legata alla fusione nucleare, che promette di offrire una fonte energetica pulita, sicura e praticamente inesauribile.

L'energia nucleare nella Strategia Energetica 2050

La **Strategia Energetica 2050 (SE 2050)**, adottata in Svizzera dopo il referendum del 2017, definisce l'orientamento della politica energetica svizzera nel lungo termine. In essa, **l'energia nucleare ha un ruolo transitorio**, (anche se non è stato fissato per legge un limite temporale per l'esercizio delle centrali nucleari, che possono quindi continuare a funzionare), e **non è prevista la costruzione di nuove centrali nucleari** [18]. Infatti, dopo l'incidente nucleare alla centrale di Fukushima in Giappone, nel 2011, il Consiglio federale e il Parlamento hanno deciso di abbandonare gradualmente lo sfruttamento dell'energia nucleare. **Nel 2018 è pertanto entrata in vigore la nuova legge sull'energia**, che vieta appunto il rilascio di autorizzazioni per nuove centrali nucleari e quelle attualmente in funzione continueranno ad operare finché potrà essere garantita la loro sicurezza [17] e [18].

Accordo sulla produzione di elettricità a zero emissioni di CO₂

Nel Dicembre 2023 Svizzera, Germania, Francia, Belgio, Austria, Lussemburgo e Olanda si sono impegnati ad una **produzione di elettricità a zero emissioni di CO₂ entro il 2035**: questo accordo avrà come probabile conseguenza il prolungamento dell'utilizzo dell'energia nucleare oltre i 50 anni pianificati precedentemente [46]. Inoltre, recentemente, l'abbandono del nucleare e il divieto di costruzione di nuove centrali è stato rimesso in discussione [16; 47].

Verso un nuovo capitolo del nucleare?

Il ritorno del nucleare?

Il futuro dell'energia nucleare Telegiornale

Fonti

[1] Ispettorato federale della sicurezza nucleare (IFSN)

<https://ensi.admin.ch/it> - Lo sviluppo del primo reattore

<https://ensi.admin.ch/it/2016/12/14/serie-sulla-radioprotezione-lo-sviluppo-dell-energia-nucleare/>

[2] Swissinfo.ch (SWI). David Eugster, La fine del primo e unico reattore nucleare fabbricato in Svizzera, 21.01.2019

<https://www.swissinfo.ch/ita/politica/lucens-50-anni-fa>

[3] Immagine Centrale nucleare Gösgen-Däniken

<https://www.kkg.ch/de/uns/pressebilder/Pressebilder.html>

[4] Ispettorato federale della sicurezza nucleare (IFSN) - Centrali nucleari

<https://ensi.admin.ch/it/temi/centrali-nucleari/>

[5] Ispettorato federale della sicurezza nucleare (IFSN) - Impianti nucleari

<https://ensi.admin.ch/it/temi/impianti-nucleari/>

[6] Ispettorato federale della sicurezza nucleare (IFSN) - L'organizzazione dell'IFSN

<https://ensi.admin.ch/it/organisation/>

[7] Legge federale sull'Ispettorato federale della sicurezza nucleare (LIFSN)

<https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2007/775/it>

[8] EDF Il nucleare in cifre

<https://www.edf.fr/groupe-edf/comprendre/production/nucleaire/nucleaire-en-chiffres?utm>

[9] Our World in Data. Electricity generation from nuclear. Nuclear power generation, 2024.

<https://ourworldindata.org/grapher/nuclear-energy-generation>

[10] Manera, A.; et al. (01.07.2024). Technology Monitoring of Nuclear Energy. PSI, ETHZ, EPFL.

Paul Scherrer Institut, www.psi.ch, Villingen.

<https://energie-wende-ja.com/wp-content/uploads/2024/12/Manera-Pautz-Studie-Oktober24-1.pdf>

[11] Bhutada, G. (2022, April 20). Mapped: The World's Nuclear Reactor Landscape. Visual

Capitalist. Source: International Atomic Energy Agency

<https://www.visualcapitalist.com/mapped-the-worlds-nuclear-reactor-landscape/>

[12] Our World in Data. Source: Ember (2025); Energy Institute - Statistical Review of World Energy

(2025). Share of electricity production by source, World, 2024

<https://ourworldindata.org/grapher/share-elec-by-source?tab=discrete-bar&time=latest>

[13] Ufficio federale dell'energia. Statistica dell'elettricità. Statistique suisse de l'électricité, 2024.

(PDF, 01.07.2025).

https://www.bfe.admin.ch/bfe/it/home/approvvigionamento/statistiche-e-geodati/statistiche-energetiche/statistica-dell_elettricita.html

- [14] Ufficio Federale dell'Energia (SFOE) Bilancio elettrico 2023: Produzione elettrica 2023
<https://www.news.admin.ch/it/nsb?id=100748>
- [15] World Nuclear Association - Switzerland profile (2024): World-nuclear.org.
- Country Profile: Switzerland
<https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-o-s/switzerland>
- [16] DATEC Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni -
UFE Ufficio federale dell'energia - Scheda informativa: iniziativa popolare «Energia elettrica in ogni
tempo per tutti (Stop al blackout)» e controprogetto indiretto
<https://www.news.admin.ch/news/message/attachments/89325.pdf>.
- [17] LE CIFRE DELL'ENERGIA Aprile 2025 - ENERGIA NUCLEARE pag. 14
https://www3.ti.ch/DFE/DR/USTAT/allegati/volume/schede_energia_2025.pdf
- [18] Ufficio Federale dell'Energia- DATEC - UFE - Energia nucleare
<https://www.bfe.admin.ch/bfe/it/home/approvigionamento/energia-nucleare.html>
- [19] Kernkraftwerk Gösgen. Come funziona una centrale nucleare
<http://www.kkg.ch/de/wissen/strom-kernenergie/funktioniert-kernkraftwerk-1111.html>
- [20] Enciclopedia Treccani - Energia nucleare
<https://www.treccani.it/enciclopedia/energia-nucleare/>
- [21] Wikipedia. Uranio arricchito
https://it.wikipedia.org/wiki/Uranio_arricchito
- [22] Geopop Cos'è l'uranio arricchito...
<https://www.geopop.it/cose-luranio-arricchito-a-cosa-serve-e-perche-e-cosi-importante-per-centrali-nucleari-e-bombe-atomiche/>
- [23] IAEA International Atomic Energy Agency - Che cos'è l'energia nucleare?
La scienza dell'energia nucleare
<https://www.iaea.org/newscenter/news/what-is-nuclear-energy-the-science-of-nuclear-power?utm>
- [24] Britannica - Nuclear fission
<https://www.britannica.com/science/nuclear-fission>
- [25] Immagine. Autore: BC Open Textbooks. Modello a goccia liquida della fissione nucleare
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Liquid_drop_model_of_nuclear_fission.jpg
- [26] International Energy Agency - Report: The Path to a New Era for Nuclear Energy
<https://www.iea.org/reports/the-path-to-a-new-era-for-nuclear-energy?utm>
- [27] The Iter Organization - Fusion Energy
https://www.iter.org/fusion-energy/what-will-iter-do?utm_source=chatgpt.com
- [28] Wikimedia Commons — Immagine: Nuclear fusion - Autore: N.P.
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nuclear_fusion.gif

[29] Shema WattAbout - Ispirato a Andy Brunning / Compound Interest.

How do nuclear reactors generate electricity?

www.compoundchem.com

Sostenibilità

[30] Ispettorato federale della sicurezza nucleare (IFSN). — Stoccaggio in profondità

https://ensi.admin.ch/it/temi/smaltimento/?utm_source=chatgpt.com

[31] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

<https://www.ipcc.ch/>

[32] Word Nuclear Assotiation - Emissioni nel ciclo di vita delle opzioni elettriche

<https://world-nuclear.org/information-library/energy-and-the-environment/carbon-dioxide-emissions-from-electricity?utm>

[33] Word nuclear Association Carbon Dioxide Emissions From Electricity

<https://world-nuclear.org/information-library/energy-and-the-environment/carbon-dioxide-emissions-from-electricity?utm>

[34] IAEA International Atomic Energy Agency - Sviluppo sostenibile ed energia nucleare

<https://www.iaea.org/newscenter/statements/sustainable-development-and-nuclear-power?utm>

[35] IAEA International Atomic Energy Agency - IAEA Releases Report on “Nuclear Energy for a Net Zero World” Ahead of COP26 Climate Summit 2021

<https://www.iaea.org/newscenter/pressreleases/iaea-releases-report-on-nuclear-energy-for-a-net-zero-world-ahead-of-cop26-climate-summit?utm> Nuclear Energy Institute

[36] EARTH.ORG What Role Does Nuclear Energy Play in the Race to Net Zero?

<https://earth.org/what-role-does-nuclear-energy-play-in-the-race-to-net-zero/?utm>

[37] IAEA - International Atomic Energy Agency — Ensuring the Safety of Nuclear Installations:

Lessons Learned from the Fukushima Daiichi Accident

<https://www.iaea.org/bulletin/ensuring-the-safety-of-nuclear-installations-lessons-learned-from-the-fukushima-daiichi-accident>

[38] NAGRA — Deposito geologico

<https://nagra.ch/en/why-nagra>

NAGRA: "Il progetto del deposito profondo" - Ufficio federale della sanità pubblica (UFSP): La

Nagra presenta le domande di autorizzazione...

<https://www.news.admin.ch/it/nsb?id=103183>

[39] PSI - Impatto ambientale delle centrali

<https://ensi.admin.ch/it?s=IMPATTO+AMBIENTALE>

[40] Charles McCombie a, Michael Jefferson. Renewable and nuclear electricity: Comparison of environmental impacts. Sept. 2016. Review

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421516301240>

[41] Mont Terri Project — Ricerca su stoccaggio geologico / Ufficio federale dell'energia (BFE)
<https://www.mont-terri.ch/en>

[42] Energia nucleare / ITER — Progetto internazionale di fusione nucleare
<https://www.iter.org/>

[43] ETH Zurich - Master of Science in Nuclear Engineering
<https://master-nuclear.ethz.ch/>

[44] EU taxonomy: Complementary Climate Delegated Act to accelerate decarbonisation -
Last updated on 11 July 2022
https://finance.ec.europa.eu/publications/eu-taxonomy-complementary-climate-delegated-act-accelerate-decarbonisation_en?utm

[45] DATEC Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni
Sicurezza dell'approvvigionamento elettrico.
<https://www.uvek.admin.ch/uvek/it/home/energia/stromversorgungssicherheit.html?ut>

[46] News Service Bund - Il portale del Governo svizzero - Sistema elettrico: la Svizzera adotta una
dichiarazione sulla decarbonizzazione con sei Paesi europei 19 Dic. 2023.
<https://www.news.admin.ch/it/nsb?id=99485>

[47] News Service Bund - Il portale del Governo svizzero - Iniziativa «Stop al blackout»: il Consiglio
federale propone un controprogetto indiretto. Delibera Berna - 28.08.2024.
<https://www.news.admin.ch/it/nsb?id=102240>

Risorse video