



# NUCLEARE: BRIEF DEL WWF ITALIA

## LA POSIZIONE DEL WWF

**Il WWF non è favorevole a nessun nuovo impianto nucleare nell'ambito delle tecnologie attualmente disponibili. Non ritiene il nucleare una tecnologia utile nella transizione energetica, visti i tempi e i costi di realizzazione.**

**La posizione del WWF è basata sull'evidenza che:**

- **La costruzione di nuove centrali nucleari è più costosa di altre alternative a basso contenuto di carbonio. L'apertura di centrali nucleari richiede inoltre più tempo delle altre energie a basso contenuto di carbonio.**
- **La produzione di energia nucleare genera scorie radioattive che durano migliaia di anni.**
- **L'energia prodotta da fonti nucleari è ad alta intensità idrica.**
- **Esistono diverse alternative energetiche pulite all'energia nucleare.**

## NUCLEARE OGGI: BREVE ANALISI TECNICA

Questa scheda analizza alcuni dei principali problemi tecnici, economici, ambientali e sociali dell'energia nucleare allo stato attuale delle conoscenze e delle tecnologie disponibili.

Le criticità che ruotano intorno al nucleare sono molte e non sono state risolte dai limitati progressi tecnologici avvenuti negli ultimi anni.

## CONTRIBUTO DEL NUCLEARE NEL MIX ENERGETICO

Secondo i dati dell'Agencia Internazionale per l'Energia (IEA)<sup>1</sup> la produzione nucleare oggi copre circa il 9 % della generazione elettrica a livello mondiale rispetto al 30% delle fonti rinnovabili. In sostanza il nucleare ha prodotto nel 2022 circa 2.682 TWh contro, ad esempio, i circa 4.378 TWh dell'idroelettrico. In termini di energia primaria, per la IEA, il contributo del nucleare sarebbe tra il 4 e il 5% ma secondo uno dei lavori di Storm van Leeuwen si scendeva a 1,6%<sup>2</sup>, questo studio infatti considera il contenuto energetico del combustibile fissile che risulta realmente sfruttabile, ossia convertibile in elettricità, la restante energia è invece dissipata sotto forma di calore che per ragioni tecniche non può essere recuperato.

Sempre dal citato Outlook IEA vediamo come nel periodo 2010-2022 la produzione di energia elettronucleare non sia aumentata passando da 2.756 TWh a 2.682 TWh, nello stesso periodo l'energia eolica è invece passata da 342 TWh a 2.125 TWh.

## Impianti nucleari nel mondo

Oggi sulla carta nel mondo ci sarebbero operativi 411 reattori con un'età media di circa 31 anni (ad esempio quelli USA superano i 41 anni e quelli francesi sfiorano i 37 anni)<sup>3</sup>, un'età che è andata aumentando nel tempo soprattutto per ragioni economiche (alti costi del decommissioning) che hanno spinto molti operatori in diversi paesi (ad esempio Francia) a voler prolungare da 40 a 60 anni la vita degli impianti, questo con un evidente aumento dei rischi per usura e infragilimento dei materiali esposti alle radiazioni del processo di fissione. Parallelamente si è anche verificato un non sufficiente ingresso di nuove unità così nelle due decadi che vanno dal 2002 al 2021 a fronte di 98 nuovi ingressi si sono verificate 105 chiusure. Oltre la metà dei nuovi reattori è stato realizzato in Cina.

Attualmente nel mondo sarebbero in costruzione 53 nuove unità, con tempi di realizzazione molto diversi<sup>4</sup>. Tecnicamente il numero di nuovi reattori non sarà in grado di sostituire quelli che dovranno essere dismessi per raggiunti limiti di età.

---

<sup>1</sup> IEA. World Energy Outlook 2023

<sup>2</sup> Jan Willem Storm van Leeuwen. Climate change and nuclear power. October 2017

<sup>3</sup> Mycle Schneider, Antony Froggatt. **The World Nuclear Industry** Status Report 2022

<sup>4</sup> Mycle Schneider, Antony Froggatt. **The World Nuclear Industry** Status Report 2022

**La maggior parte dei reattori in funzione sono ancora di II generazione**, quindi con tecnologie degli anni '70 con sistemi di sicurezza attiva (quindi tramite intervento di un operatore) e caratterizzati da una consistente produzione di scorie radioattive. Solo una piccola frazione (circa un 10%) sono di III generazione, si tratta di una diretta evoluzione degli impianti di II generazione che è stata messa in linea a partire dalla seconda metà degli anni '90. I miglioramenti ad esempio hanno riguardato alcuni aspetti della sicurezza (anche passiva), dell'efficienza, della gestione del combustibile. Si tratta comunque di impianti che non hanno certo azzerato il rischio di incidente e, soprattutto, non hanno risolto il problema della produzione di scorie che continuano ad essere difficili da gestire (tema che verrà affrontato anche successivamente).

### GENERAZIONE III+

Al momento gli impianti più avanzati ad uno stadio, per così dire, commerciale sono quelli della cosiddetta generazione III+. Si tratta di reattori che dovrebbero aver aggiunto alcuni miglioramenti nei sistemi passivi di sicurezza, ma che non hanno risolto il problema della produzione delle scorie.

In Europa sono noti come esempi i due EPR (European pressurized reactor) di Flamanville in Francia e Olkiluoto in Finlandia. Questi impianti di grande taglia (ognuno con potenza di 1.600 MW) hanno però incontrato notevoli problemi tecnici durante la loro costruzione e questo si è ripercosso sia sui tempi di realizzazione sia sui costi. Nel caso di Olkiluoto che aveva avviato il cantiere nel 2005 e avrebbe dovuto concludere i lavori entro il 2009, i tempi di costruzione si sono dilatati di oltre tre volte, così nel 2022 si parlava già di tempi di costruzione di 17 anni contro i 5 previsti<sup>5 6 7</sup>, ma poi si è andati ancora oltre arrivando alla reale operatività solo nel 2023<sup>8</sup> e parallelamente i costi sono lievitati nello stesso modo. Un discorso assolutamente speculare si può fare per l'impianto di Flamanville che aveva avviato i lavori nel 2007 e doveva completarli nel 2012 ma che ad oggi non è ancora operativo<sup>9</sup> e che il

---

<sup>5</sup> <https://www.worldnuclearreport.org/Europe-s-First-EPR-13-Years-Behind-Schedule-Olkiluoto-3-in-Finland-Starts-Up.html>

<sup>6</sup> [Olkiluoto 3 postpones full energy production again | News | Yle Uutiset](#)

<sup>7</sup> [Full electricity generation at Olkiluoto 3 delayed yet again | News | Yle Uutiset](#)

<sup>8</sup> <https://www.tvonen.fi/en/index/production/plantunits/ol3.html>

<sup>9</sup> <https://www.edf.fr/centrale-nucleaire-flamanville3>

caricamento del combustibile nucleare sarebbe ancora stato rimandato al 2024 <sup>10</sup>. Allo stesso tempo i costi dell'impianto sarebbero già arrivati a 13,2 miliardi, ossia quasi quattro volte quelli preventivati nel 2004.

## IV GENERAZIONE

Di IV generazione nucleare si parla da oltre 20 anni, il forum internazionale (GIF) che se ne occupa fu infatti fondato nel 2001 <sup>11</sup>. Scopo della nuova generazione di reattori veloci autofertilizzanti dovrebbe essere quello di migliorare l'efficienza di impiego del combustibile nucleare e parallelamente ridurre il problema della produzione delle scorie, aumentare i livelli di sicurezza rispetto a possibili incidenti, ridurre gli elevati costi del nucleare attuale, ecc. Al momento non ci sono evidenze tecniche che detti obiettivi siano stati raggiunti o che lo saranno, quanto meno in tempi brevi. Questo perché attualmente non esistono reattori commerciali di questo tipo. Siamo ancora in piena fase sperimentale, ossia esistono solo alcuni impianti (ad esempio in Russia e in Cina) che potremmo ricondurre a tecnologie di IV generazione, ma sono appunto ad un livello sperimentale. Per passare alla fase di commercializzazione, ossia per sapere se la loro commercializzazione sarà realmente fattibile, occorre prima realizzare una serie di impianti dimostrativi al fine di verificare tecnicamente se funzionano come ipotizzato a livello teorico e se effettivamente risolvono i problemi delle precedenti generazioni di reattori (es. reale capacità autofertilizzante, sicurezza, riduzione della produzione di scorie, ecc.) e, allo stesso tempo, per comprenderne il reale livello di economicità. Solo dopo tutti questi passaggi, se gli esiti fossero positivi, si potrebbe passare ad una loro eventuale commercializzazione. Il GIF, che si ricorda nasce per promuovere la IV generazione, attualmente stima che i primi impianti commerciali potrebbero essere immessi sul mercato nel periodo 2030-2040 <sup>12</sup>, ma in termini di previsioni su nuove tecnologie nucleari non sarebbe la prima volta che una data venga spostata in avanti. Comunque stando ai fatti, i dati ad oggi disponibili non sembrano dare prove adeguate che questo avverrà e, peraltro, alcuni problemi saranno destinati a persistere, come ad esempio la produzione di scorie che potrà forse essere ridotta rispetto ad oggi ma non azzerata o anche alcuni aspetti inerenti alla sicurezza magari legati a potenziali tensioni di tipo geopolitico.

---

<sup>10</sup> <https://www.edf.fr/en/the-edf-group/dedicated-sections/journalists/all-press-releases/update-on-the-flamanville-epr-0>

<sup>11</sup> [https://www.gen-4.org/gif/jcms/c\\_9260/public](https://www.gen-4.org/gif/jcms/c_9260/public)

<sup>12</sup> [https://www.gen-4.org/gif/jcms/c\\_40962/home](https://www.gen-4.org/gif/jcms/c_40962/home)

## SMALL MODULAR REACTORS (SMR)

I piccoli reattori modulari (SMR), che secondo la definizione dell'Agenzia Internazionale per l'Energia Atomica (IAEA) sono quelli sotto i 300 MW di potenza, rappresentano probabilmente oggi uno dei temi maggiormente toccati nel dibattito sul nucleare. Occorre precisare da subito che di questi impianti, in realtà, si parla da moltissimi anni come evidenza non solo una certa letteratura tecnica<sup>13</sup> ma anche la stessa storia dei reattori nucleari, non si tratta cioè necessariamente di una tecnologia rivoluzionaria. Altra cosa che va notata è che malgrado ingenti investimenti in molti paesi del mondo (es. Stati Uniti, Canada, Regno Unito, ma anche Cina, ecc.), ad oggi i risultati appaiono non in linea con le aspettative.

Nel mondo esistono infatti decine di potenziali progetti di SMR, ma ancora nulla sul piano commerciale, cioè realmente operativo e replicabile su vasta scala. Ma forse ancora di più, dal punto di vista tecnico, quello che appare evidente è che nessuno dei progetti in questione abbia ancora mai risolto i problemi che affliggono il nucleare tradizionale, un aspetto che era stato evidenziato già diversi anni fa come testimoniava ad esempio un articolo tecnico del 2010<sup>14</sup> in cui si affermava come questi impianti non sarebbero stati in grado di risolvere problemi di sicurezza, di gestione delle scorie, economici o di contrasto al cambiamento climatico. Ma anche altri lavori, anche più robusti, negli anni hanno confermato come gli SMR non fossero la soluzione dei problemi ma potessero finire con aggravarli<sup>15</sup> o anche di come non sia possibile risolvere contemporaneamente tutti i problemi che affliggono il nucleare<sup>16</sup>. **Dal punto di vista economico quello che emerge è che i costi saranno anche superiori rispetto a quelli già troppo alti del nucleare tradizionale per il problema noto come economia di scala<sup>17</sup>**, occorre infatti non tanto considerare il costo

---

<sup>13</sup> Small Modular Reactors: Challenges and Opportunities. NEA, OECD 2021

<sup>14</sup> Arjun Makhijani and Michele Boyd. *Small Modular Reactors: No Solution for the Cost, Safety, and Waste Problems of Nuclear Power*. September 2010

<sup>15</sup> The economic failure of nuclear power and the development of a low carbon electricity future: why small modular reactors are part of the problem, not the solution. Mark Cooper, Ph.D. Senior Fellow for Economic Analysis Institute for Energy and the Environment Vermont Law School, May 2014

<sup>16</sup> M.V. Ramana, Zia Mian. One size doesn't fit all: Social priorities and technical conflicts for small modular reactors. 2014

<sup>17</sup> M. V. Ramana. "Small Modular and Advanced Nuclear Reactors: A Reality Check," in IEEE Access, vol. 9, pp. 42090-42099, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3064948.

dell'impianto ma quello del MWh prodotto: si stima che un SMR da 200 MW costerà il 40% di un impianto tradizionale da 1.000 MW ma genererà solo il 20% dell'elettricità, pertanto avrebbe un costo specifico circa doppio.

Che i costi degli SMR siano alti, o meglio più alti di quanto stimato in precedenza, lo attestano anche recenti dati ricordati dal Institute for Energy Economics and Financial Analysis <sup>18</sup> che ha richiamato le pur molto ottimistiche stime aggiornate da un produttore secondo cui il costo per MWh sarebbe già arrivato a 89 dollari, ma che anche solo considerando un tasso d'inflazione del 2%, se l'impianto sarà realizzato entro il 2030, questo si tradurrà in un costo per il contribuente di almeno 102 dollari a MWh. In realtà l'ottimismo dei produttori è messo molto bene in risalto in un dettagliato lavoro scientifico <sup>19</sup> che ha effettuato un ampio ventaglio di stime dei possibili costi dei differenti SMR e quello che ne emerge, oltre ad un'incertezza generale legata a molteplici variabili, è che comunque i costi saranno piuttosto alti con LCOE (Levelized Cost of Energy) mediani che partono da 116 USD/MWh per gli HTR e da 218 USD/MWh per i PWR.

Anche la produzione di scorie (che poi dovranno essere gestite) sarà maggiore sempre per unità di energia generata. E' quanto emerge ad esempio da una recente ricerca condotta dalle Università di Stanford e della British Columbia <sup>20</sup>. In questo lavoro si evidenzia come differenti progetti di SMR (raffreddati ad acqua, sali fusi e sodio) aumenteranno il volume delle scorie nucleari che necessitano di gestione e smaltimento di fattori da 2 a 30.

A tutto questo si aggiungerebbero anche maggiori problemi connessi alla moltiplicazione dei siti in cui localizzare gli impianti (per produrre la stessa quantità di energia di un EPR da 1.600 MW occorrerebbe infatti realizzare 5 o 6 SMR), e questo avrebbe anche evidenti ripercussioni in termini di sicurezza visto che occorrerebbe presidiare militarmente un ben più alto numero di siti. E aumenta anche la movimentazione del "combustibile" radioattivo che a questi deve essere conferito e dei rifiuti (sempre radioattivi) che da questi devono essere allontanati (anche se non si sa dove visto che l'individuazione dei siti di stoccaggio definitivi sono cosa complessa e, ad esempio, in Italia non abbiamo ancora il sito nazionale per lo stoccaggio delle scorie delle vecchie centrali).

---

<sup>18</sup> <https://ieefa.org/resources/eye-popping-new-cost-estimates-released-nuscale-small-modular-reactor>

<sup>19</sup> Björn Steigerwald et al. Uncertainties in estimating production costs of future nuclear technologies: A model-based analysis of small modular reactors. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.128204>

<sup>20</sup> Krall L.M. et al. Nuclear waste from small modular reactors. PNAS 2022 Vol. 119 No. 23. <https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.2111833119>

Del resto che lo stato di avanzamento dei progetti di SMR in diversi paesi del mondo proceda con notevole difficoltà è testimoniato da molti dati, come riporta anche una accurata panoramica esposta nel World Nuclear Industry Status Report 2021 <sup>21</sup>, e ancora più di recente un altro evidente caso di fallimento che ha portato alla chiusura di un decantato progetto negli Stati Uniti <sup>22</sup> dovrebbe suonare come campanello d'allarme anche perché qui non si stava nemmeno cercando di andare su una ipotetica IV generazione ma si faceva ricorso a tecnologie teoricamente consolidate. Il punto è che tutti i dati ci dimostrano come l'opzione SMR sia assai poco percorribile, del resto anche in paesi come la Cina o la Russia, che dovrebbero essere quelli più avanti su questi progetti, non vi sono evidenze del raggiungimento di una reale scala commerciale degli impianti.

## I COSTI ATTUALI

Gli elevati costi del nucleare non riguardano solo i nuovi EPR ma sono un dato storico che ha da sempre accompagnato questa fonte energetica. Emblematico il caso degli Stati Uniti dove storicamente i costi di realizzazione finale hanno superato quelli di preventivo tra le 2 e le 4 volte.

E occorre poi tenere presente come le valutazioni economiche possano risultare anche fortemente sottostimante poiché non tengono conto in modo adeguato dei costi molto elevati di decommissioning e ancor meno di quelli relativi alla gestione delle scorie nucleari che dovranno essere presidiate per tempi molto lunghi o quelli relativi ad incidenti nucleari. Per quanto attiene al decommissioning occorre precisare che non esistono cifre precise ma variano sensibilmente in relazione a molteplici fattori (tecnologia adottata, dimensioni dei reattori, paese, ecc.). In ogni modo, solo per fare un esempio, si richiamano i costi che erano stati stimati nel Regno Unito per lo smantellamento delle sue 8 centrali di seconda generazione per cui (rivedendo al rialzo precedenti stime) sarebbero servite almeno 23,5 miliardi di sterline <sup>23</sup>, e questo senza tenere conto dei molto più alti costi della dimissione e bonifica dell'impianto di Sellafield che pesavano per circa i  $\frac{3}{4}$  dell'intero costo di gestione di tutto il comparto

---

<sup>21</sup> Mycle Schneider, Antony Froggatt. **The World Nuclear Industry Status Report 2021**

<sup>22</sup> <https://www.ucsusa.org/about/news/small-nuclear-reactor-contract-fails-signaling-larger-issues-nuclear-energy-development>

<sup>23</sup> <https://committees.parliament.uk/publications/28479/documents/171641/default/>

nucleare inglese già quantificato in oltre 124 miliardi di sterline <sup>24</sup>. Comunque anche senza considerare tutte queste importanti voci di spesa è dimostrato che l'LCOE (Levelized Cost of Energy) del nucleare sia maggiore rispetto a quello delle fonti rinnovabili. Stando ai dati di una fonte autorevole come Lazard <sup>25</sup> si vede ad esempio come l'LCOE del fotovoltaico con annessi sistemi di accumulo sia compreso tra 46 e 102 dollari al MWh mentre il nucleare è tra 141 e 221 dollari al MWh.

A questi se si volesse aggiungere la copertura dei rischi di incidente le cifre diverrebbero quasi incalcolabili come dimostra ad esempio quanto accaduto a Fukushima <sup>26</sup> dove si parla di costi dell'ordine di 600 miliardi di euro. Questo è uno dei motivi per cui storicamente nessun privato si avventura nell'impiantistica nucleare senza una adeguata copertura assicurativa statale.

## NUCLEARE ED EMISSIONI DI CO<sub>2</sub>

Il nucleare non rappresenta una significativa soluzione per il contrasto ai cambiamenti climatici perché occorre considerare l'intera filiera nucleare con un approccio del tipo LCA. Così facendo si scopre come le emissioni di gas serra non siano affatto nulle in considerazione della grande quantità di energia fossile che serve per tutte le attività che vanno dall'estrazione del minerale, al suo arricchimento, alla costruzione della centrale (che richiede cemento e acciaio di elevate qualità e quantità) fino alle fasi di decommissioning e alla molto lunga e complessa gestione delle scorie (per cui non esiste ancora una soluzione veramente definitiva). A queste fasi andrebbero però anche aggiunte le sempre dimenticate operazioni di bonifica e ripristino ambientale delle miniere di uranio. Jean Willem Storm van Leeuwen e Philip Smith <sup>27</sup> già in un lavoro del 2007 considerando l'intero ciclo di vita avevano stimato emissioni pari a 112-165 g CO<sub>2</sub> kWh. Altri lavori successivi avevano confermato questi dati. Si tratta però di valori che, sulla base dei dati esistenti, saranno destinati a salire per il ricorso a giacimenti con concentrazioni di uranio minori che quindi richiederanno maggiore energia per i processi estrattivi. Al riguardo il rapporto Energy Balance of Nuclear

---

<sup>24</sup> <https://www.gov.uk/government/publications/nuclear-provision-explaining-the-cost-of-cleaning-up-britains-nuclear-legacy/nuclear-provision-explaining-the-cost-of-cleaning-up-britains-nuclear-legacy#latest-estimate>

<sup>25</sup> <https://www.lazard.com/research-insights/2023-levelized-cost-of-energyplus/>

<sup>26</sup> [Per Fukushima costi sempre piu' astronomici - Il Sole 24 ORE](#)

<sup>27</sup> "Nuclear power – the Energy balance", Joe Willem Storm van Leeuwen & Philip Smith, October 2007



Power Generation <sup>28</sup> evidenziava come quando la concentrazione del minerale uranifero scende intorno allo 0,01% le emissioni salgono già a 210 g CO<sub>2</sub>/kWh.

Ma soprattutto se si parla di mitigazione climatica occorre porre l'attenzione sul fatto che se si pensasse di incrementare la realizzazione di impianti nucleari proprio nelle lunghe ed energivore fasi di cantiere si avrebbero ingenti emissioni di CO<sub>2</sub>, e questo proprio negli anni ritenuti maggiormente cruciali dalla comunità scientifica internazionale per cercare di rallentare il riscaldamento globale. In pratica immetteremmo in atmosfera più CO<sub>2</sub> proprio quando dovremmo maggiormente ridurla.

---

<sup>28</sup> Austrian Institute of Ecology, Austrian Energy Agency. Energy Balance of Nuclear Power Generation. Life Cycle Analysis of Nuclear Power: Energy Balance and CO<sub>2</sub> Emissions. Vienna 2011