



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia  
di Roma



*Evento realizzato in collaborazione con:*



**Reattori in esercizio e in  
costruzione per la produzione di  
energia elettronucleare**

**Survey internazionale**

***Presentazione del Quaderno Io Roma  
N. 4S/2023 - Commissione Ricerca e  
Reattori Innovativi  
Area Nucleare***

**Commissione Ricerca e Reattori Innovativi**  
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma

**Giovedì, 11 Luglio 2024**

## **TAVOLA ROTONDA**

*Panorama internazionale sullo sviluppo dell'energia  
nucleare. Progetti in costruzione e in via di sviluppo.  
La ripresa del nucleare italiano. Obiettivi e  
presupposti.*

***Prof. Agostino Mathis***

***Prof. Agostino Mathis – Via Bertero, 61 – 00156 ROMA (Italy)***  
***Cell. 338-1901198; E-mail: amathisit@yahoo.com***

Table 2 · Nuclear Reactors “Under Construction” (as of 1 July 2023)<sup>38</sup>

| Country                                                                                                                                       | Units<br>(Domestic<br>Design) | Other<br>Vendor          | Capacity<br>(MW net) | Construction<br>Start | Grid<br>Connection | Units<br>Behind<br>Schedule |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------|----------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------------|
| China                                                                                                                                         | 23 (19)                       | Russia: 4                | 24 408               | 2016 – 2023           | 2023 – 2028        | 1                           |
| India                                                                                                                                         | 8 (4)                         | Russia: 4                | 6 028                | 2004 – 2021           | 2024 – 2027        | 6 <sup>(a)</sup>            |
| Russia                                                                                                                                        | 5 (5)                         | –                        | 2 810                | 2018 – 2022           | 2025 – 2027        | 2                           |
| Turkey                                                                                                                                        | 4 (0)                         | Russia: 4                | 4 456                | 2018 – 2022           | 2024 – 2027        | 1                           |
| Egypt                                                                                                                                         | 3 (0)                         | Russia: 3                | 3 300                | 2022 – 2023           | 2028 – 2030        | –                           |
| South Korea                                                                                                                                   | 3 (3)                         | –                        | 4 020                | 2013 – 2018           | 2024 – 2025        | 3                           |
| Bangladesh                                                                                                                                    | 2 (0)                         | Russia: 2                | 2 160                | 2017 – 2018           | 2024               | 1                           |
| U.K.                                                                                                                                          | 2 (0)                         | France: 2                | 3 260                | 2018 – 2019           | 2027 – 2028        | 2                           |
| Argentina                                                                                                                                     | 1 (1)                         | –                        | 25                   | 2014                  | 2027               | 1                           |
| Brazil                                                                                                                                        | 1 (0) <sup>(b)</sup>          | –                        | 1 340                | 2010                  | 2028?              | 1                           |
| France                                                                                                                                        | 1 (1)                         | –                        | 1 630                | 2007                  | 2024               | 1                           |
| Iran                                                                                                                                          | 1 (0)                         | Russia: 1                | 974                  | 1976                  | 2024               | 1                           |
| Japan                                                                                                                                         | 1 (1)                         | –                        | 1 325                | 2007                  | 2025?              | 1                           |
| Slovakia                                                                                                                                      | 1 (0)                         | Russia: 1 <sup>(c)</sup> | 440                  | 1985                  | 2024               | 1                           |
| UAE                                                                                                                                           | 1 (0)                         | South<br>Korea: 1        | 1 310                | 2015                  | 2023               | 1                           |
| U.S.                                                                                                                                          | 1 (1)                         | –                        | 1 117                | 2013                  | 2023               | 1                           |
| <b>Total</b>                                                                                                                                  | <b>58</b>                     |                          | <b>58 603</b>        | <b>1976 – 2023</b>    | <b>2023 – 2030</b> | <b>24</b>                   |
| <b>Total per Vendor Country:</b><br><b>Russia: 24 – China: 19 – India: 4 – South Korea: 4 – France: 3 – U.S.: 1 – Argentina: 1 – Japan: 1</b> |                               |                          |                      |                       |                    |                             |

Sources: Various, compiled by WNISR, 2023

## Notes:

(a) - Of the eight reactor projects under construction, all are delayed or likely to be delayed, with all Kudankulam reactors under construction “likely to be impacted” by the war in Ukraine. Six is the number of reactors “formally” delayed. See [section on India in Annex 1](#), and [Annex 3](#).

(b) - Angra-3 in Brazil is a Konvoi design originally developed by Siemens/KWU now owned by EDF/Framatome. The construction completion is managed by the Brazilian state-controlled ENBpar. It remains unclear who will be carrying out the work.

(c) - Mochovce -4 is a Russian VVER design being completed by a Czech-led consortium.

Quest'anno, e nei prossimi due anni, il ritmo dei reattori che verranno completati e posti in funzione si mantiene comunque notevole, anche se, evidentemente, non si vedono ancora le conseguenze delle recenti nuove aperture al nucleare da parte dei "Paesi Occidentali" che si sono manifestate a livello della Commissione Europea e della COP28 a Dubai:

---

*From:* [Surge in New Nuclear Power Completions | NextBigFuture.com](#)

Quest'anno, e nei prossimi due anni, il ritmo dei reattori che verranno completati e posti in funzione si mantiene comunque notevole, anche se, evidentemente, non si vedono ancora le conseguenze delle recenti nuove aperture al nucleare da parte dei "Paesi Occidentali" che si sono manifestate a livello della Commissione Europea e della COP28 a Dubai:

From: [Surge in New Nuclear Power Completions | NextBigFuture.com](#)

### NextBigFuture.com

Unit 2 of the Shin Hanul nuclear power plant in South Korea has entered commercial operation, Korea Hydro & Nucl...

| Start † |                       | Reactor        | Model       | Gross MWe |
|---------|-----------------------|----------------|-------------|-----------|
| 2024    | Bangladesh            | Rooppur 1      | VVER-1200   | 1200      |
| 2024    | China, CNNC           | Xiapu 1        | CFR600      | 600       |
| 2024    | China, Guodian & CNNC | Zhangzhou 1    | Hualong One | 1212      |
| 2024    | China, SPIC & Huaneng | Shidaowan 1    | CAP1400     | 1500      |
| 2024    | France, EDF           | Flamanville 3  | EPR         | 1650      |
| 2024    | India, NPCIL          | Kalpakkam PFBR | FBR         | 500       |
| 2024    | Korea, KHNP           | Saeul 3        | APR1400     | 1400      |
| 2024    | Slovakia, SE          | Mochovce 4     | VVER-440    | 471       |

...continua...

...continua...

|      |                       |               |             |      |
|------|-----------------------|---------------|-------------|------|
| 2025 | Bangladesh            | Rooppur 2     | VVER-1200   | 1200 |
| 2025 | China, CGN            | Taipingling 1 | Hualong One | 1200 |
| 2025 | China, Guodian & CNNC | Zhangzhou 2   | Hualong One | 1212 |
| 2025 | China, SPIC & Huaneng | Shidaowan 2   | CAP1400     | 1500 |
| 2025 | India, NPCIL          | Kudankulam 3  | VVER-1000   | 1000 |
| 2025 | India, NPCIL          | Kudankulam 4  | VVER-1000   | 1000 |
| 2025 | Korea, KHNP           | Saeul 4       | APR1400     | 1400 |
| 2025 | Russia, Rosenergoatom | Kursk II-1    | VVER-TOI    | 1255 |
| 2025 | Russia, Rosenergoatom | Kursk II-2    | VVER-TOI    | 1255 |
| 2025 | Turkey                | Akkuyu 1      | VVER-1200   | 1200 |

...continua...

|      |                       |                  |             |      |
|------|-----------------------|------------------|-------------|------|
| 2026 | China, CGN            | Cangnan/San'ao 1 | Hualong One | 1150 |
| 2026 | China, CGN            | Taipingling 2    | Hualong One | 1202 |
| 2026 | China, CNNC           | Changjiang SMR 1 | ACP100      | 125  |
| 2026 | China, CNNC           | Tianwan 7        | VVER-1200   | 1200 |
| 2026 | China, CNNC           | Xiapu 2          | CFR600      | 600  |
| 2026 | China, Huaneng & CNNC | Changjiang 3     | Hualong One | 1200 |
| 2026 | India, NPCIL          | Rajasthan 7      | PHWR-700    | 700  |
| 2026 | India, NPCIL          | Rajasthan 8      | PHWR-700    | 700  |
| 2026 | Russia, Rosatom       | BREST-OD-300     | BREST-300   | 300  |
| 2026 | Turkey                | Akkuyu 2         | VVER-1200   | 1200 |

Da queste tabelle si nota che la quasi totalità dei reattori in costruzione e prossimi ad entrare in funzione sono di III generazione ad acqua in pressione, di potenze superiori, anche di molto, ai 1000 MWe. Fanno eccezione i reattori a neutroni veloci CFR-600 in Cina, PFBR in India e BREST-300 in Russia, i reattori PHWR-700 ad acqua pesante in India, il reattore ACP100 in Cina e il vecchio reattore VVER-440 in Slovacchia, che viene completato anche con la partecipazione dell'ENEL.

**Di fatto, la quasi totalità dei 60 impianti nucleari oggi in costruzione nel mondo sono reattori di alta potenza, ad acqua in pressione (PWR), di III generazione, e, avendo «vite utili» di 60-80 anni, serviranno tutto il XXI secolo!**

Il nuovo **Piano Nazionale Integrato Energia e Clima (PNIEC)** dell'Italia, recentemente inviato alla Commissione Europea, come noto, apre al nucleare, e, nell'ipotesi migliore, **prevede al 2050 una potenza installata di 16 GWe, in grado di fornire circa 120 TWh all'anno, pari a circa il 20% dei consumi elettrici italiani previsti per il 2050.**

Il che presuppone che **i consumi elettrici previsti per l'Italia al 2050 siano  $120 \times 5 = 580$  TWh all'anno**, quasi tre volte gli attuali: si tratta di **una previsione molto ottimistica**, vista anche la stagnazione dei consumi elettrici italiani negli ultimi decenni.

**Ma l'energia elettrica in Italia rappresenta tuttora poco più del 20% dei consumi totali di energia**, mentre tutto il resto è richiesto dai cosiddetti **settori hard-to-abate** (“difficili da abbattere”, in termini di carbonio): **industria, trasporti e residenziale**. Attualmente, non esistono alternative su larga scala per sostituire carbone, petrolio e gas naturale per i settori dell'acciaio, della plastica e dell'ammoniaca (alla base dei concimi chimici). Occorre quindi rivolgersi a **fonti «carbon free»**, come la **nucleare**, in grado di fornire **non solo elettricità, ma anche e soprattutto calore, a bassa ed alta temperatura**. Senza una buona base di generazione nucleare, sotto forma sia elettrica che termica per calore di processo e teleriscaldamento, la Pianura Padana sarà condannata ad una inevitabile deindustrializzazione e ad un persistente inquinamento atmosferico.

Allora, se **l'Italia** volesse veramente programmare **un riequilibrio, entro una ventina di anni, del suo mix energetico**, oggi fortemente sbilanciato dalle importazioni di gas e petrolio, dovrebbe **avviare immediatamente la costruzione di una decina reattori nucleari da circa 1,5 GWe ciascuno**, con cui si può coprire un carico di base equivalente a **quei 120 TWh all'anno**, considerando un fattore di capacità al 90%.

**Riguardo invece agli Small Modular Reactors (SMR)**, il loro utilizzo in Italia per migliorarne il mix energetico appare **una opzione inefficace**: gli SMR non sono ancora sul mercato, a parte gli **SMR russi derivati dai motori nucleari dei rompighiaccio**: ora essi sono in uso anche per la centrale galleggiante Akademik Lomonosov e in costruzione anche per località terrestri della Siberia. Ma si tratta di reattori da 50 MWe: **ce ne vorrebbero  $16 \times 20 = 320$ , sparsi per l'Italia o lungo le sue coste, con ovvi enormi problemi di localizzazione e di gestione.**

## Nucleare di successo: Svezia e Francia (1/2)

Due programmi del passato (**anni '70 e '80 del secolo XX**) si sono rivelati degli **innegabili successi** per il fine che si erano posti (**l'indipendenza energetica** dalle importazioni degli idrocarburi), ma che hanno avuto come **effetto collaterale** una **drastica riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>** dei Paesi interessati.

Si tratta dei **programmi di costruzione delle centrali elettronucleari di Svezia e Francia**, che hanno permesso a quei due Paesi di disporre, ormai da molti anni, di **sistemi elettrici sostanzialmente "carbon-free"**, basati sull'integrazione di **nucleare e idroelettrico**.

## Nucleare di successo: Svezia e Francia (2/2)

Questi Paesi inoltre da tempo stanno **estendendo sistematicamente l'uso dell'elettricità, così decarbonizzata**, anche in altri settori tradizionalmente grandi consumatori di fonti fossili, come:

# la **climatizzazione degli edifici** (con **radiatori elettrici** e/o **pompe di calore**) ed

# i **trasporti** (con **veicoli elettrici**, ed in futuro forse anche a **idrogeno**, ottenibile sia per elettrolisi che per scissione diretta dell'acqua in reattori nucleari ad alta temperatura).

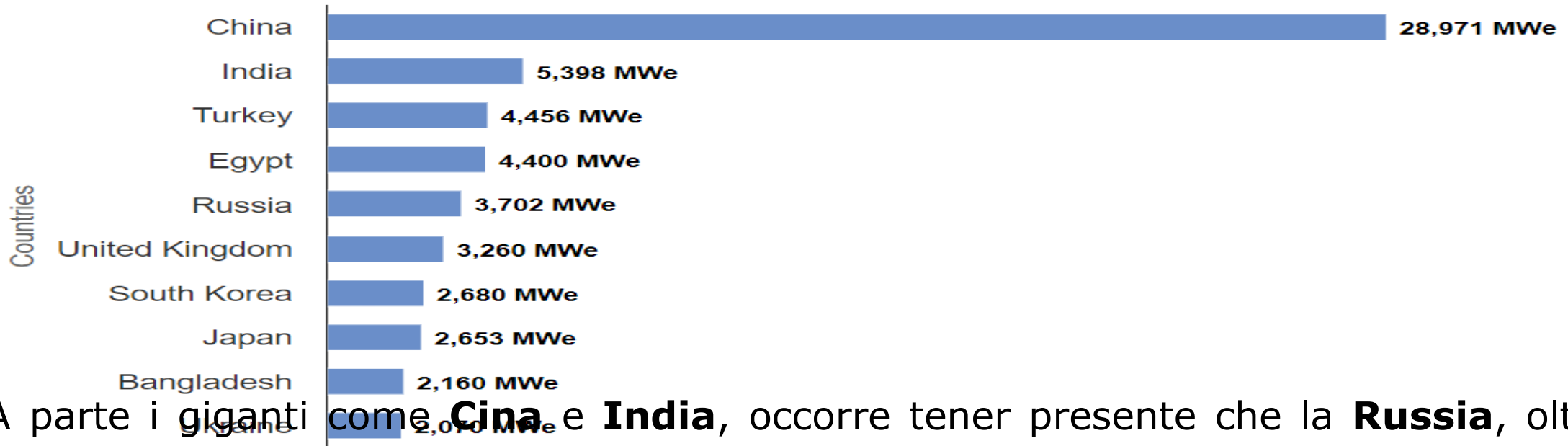
# Un compito per la nuova Commissione Europea

**La nuova Commissione Europea** dovrebbe fare proprie le precedenti esperienze, e **promuovere apertamente una simile politica energetica in tutti i Paesi Membri**. Tale scelta infatti permetterebbe di disporre di **grandi quantità di energia decarbonizzata, sotto forma elettrica e termica**, continuativa ed a costi prevedibili e stabili. Essa sarebbe **utilizzabile direttamente e senza limiti anche per la climatizzazione decarbonizzata dell'enorme patrimonio edilizio continentale, evitando di intraprendere irrealistici ed insostenibili programmi** per l'isolamento termico degli edifici esistenti e la sostituzione dei bruciatori domestici con pompe di calore.

# Grandi nuovi reattori in costruzione o previsti

## REACTORS UNDER CONSTRUCTION NET CAPACITY (TOP 10)

From: <https://world-nuclear.org/nuclear-reactor-database/summary>



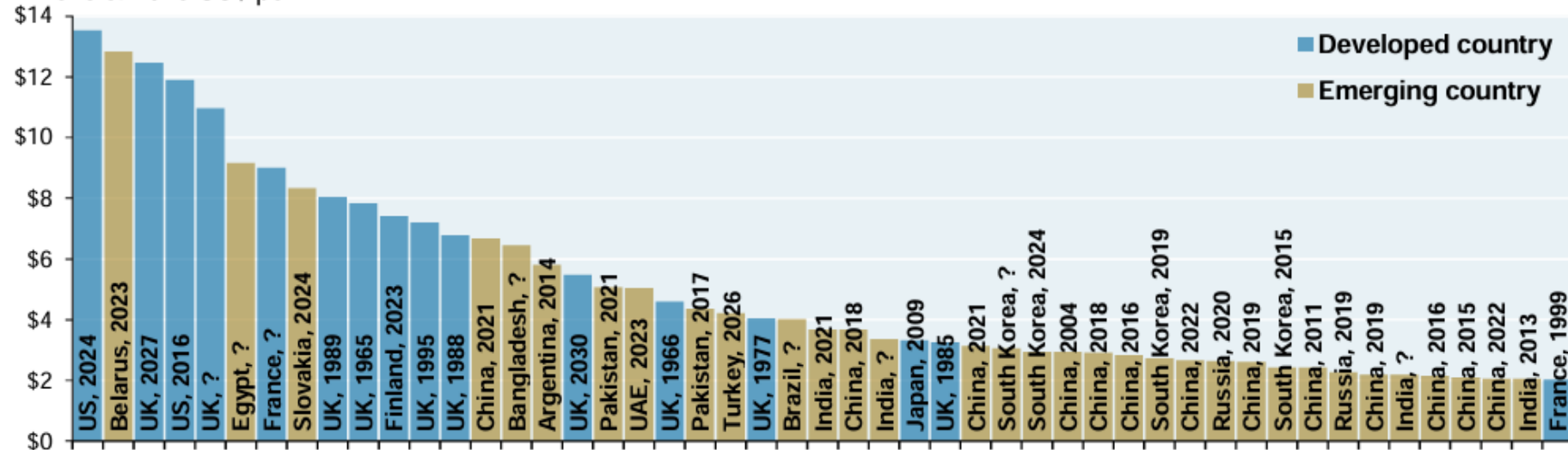
A parte i giganti come **Cina** e **India**, occorre tener presente che la **Russia**, oltre a costruire i propri reattori, costruisce **anche quelli in Turchia, Egitto e Bangladesh, ed alcuni anche in Cina e in India**. Tanti **Paesi a noi vicini**, poi, intendono costruirne molti altri: **Francia, UK, Ungheria, Polonia, Repubblica Ceca, Romania, Bulgaria, Slovenia**.

## Nuclear power: Elusive measures of true cost, German decommissioning/deindustrialization and NY State

The most elusive questions in energy, other than those related to commercialized fusion<sup>18</sup>, revolve around real-world costs of building nuclear fission plants. In December 2023, leaders from 22 countries announced plans to triple nuclear capacity by 2050 and extend the life of existing plants. How much will it cost to build new plants? It depends on which countries you look to as examples. Regional differences explain most of the variations below and these differences are unlikely to go away. The size of a fission plant and type (boiling or light water, pressurized water, fast breeder, etc) do not explain cost differences in any meaningful way. Recent large cost overruns in the US, UK, France and Finland are a logical starting point for any plant undertaken in the West<sup>19</sup>.

### **Nuclear capital costs by country and year of completion**

Millions of 2023 US\$ per MW



Source: Britain Remade, World Nuclear News, Reuters, Bloomberg, AP News, IEEFA, 2023

What about the “once we build more of them, the price will go down” argument? In the US, nuclear construction would have to really reignite for this effect to materialize. I’m not even sure that 5 plants a year would do it; a pace of 5-10 plants per year might be needed for such synergies to appear.

From: <https://am.jpmorgan.com/content/dam/jpm-am-aem/global/en/insights/eye-on-the-market/electravisio-amv.pdf>

# Analisi del costo dell'energia da fonte nucleare (1/2)

Le proposte sull'adozione dell'energia nucleare spesso vacillano sulla percezione dei costi elevati. Molti detrattori portano come esempio **il progetto della centrale di Hinkley Point C nel Regno Unito**, dove sono in costruzione due reattori nucleari i cui costi sono molto più alti di quanto inizialmente stimato.

Per la centrale di **Hinkley Point C** il governo inglese ha contrattato con EDF un prezzo di vendita del MWh estremamente elevato, **pari a 113 €/MWh** (comunque, ben inferiore ai prezzi dell'energia elettrica raggiunti nel 2021 e nel 2022!).

Ma se si fa un'analisi della ripartizione dei costi, **notiamo che ben il 65% del prezzo è dovuto ai soli tassi di interesse**, e questo perché il **governo inglese** non ha contribuito in alcun modo alla costruzione del reattore ed ha **imposto ad EDF di finanziarsi da sola attraverso prestiti bancari**.

Il principale fattore di **rischio finanziario** è che l'azienda non venda l'energia una volta che la centrale è stata ultimata, o che addirittura la debba smantellare in anticipo rispetto al previsto. Un'eventualità del genere ha una maggiore probabilità di verificarsi **nei paesi ad alta instabilità politica**, dove la decisione di investire in un programma nucleare potrebbe venire ribaltata alla successiva tornata elettorale, e **questo "rischio regolatorio" è essenzialmente il motivo principale per cui in Europa i tassi di interesse per progetti nucleari sono così alti**.

Da: DEFINIZIONE DEI POSSIBILI SCENARI PER IL RAGGIUNGIMENTO IN ITALIA DEGLI OBIETTIVI UE SUI CAMBIAMENTI CLIMATICI ENTRO IL 2050 – Tesi di laurea di Stefano Parisse – Sapienza Università di Roma – Marzo 2021.

*...continua...*

...continua...

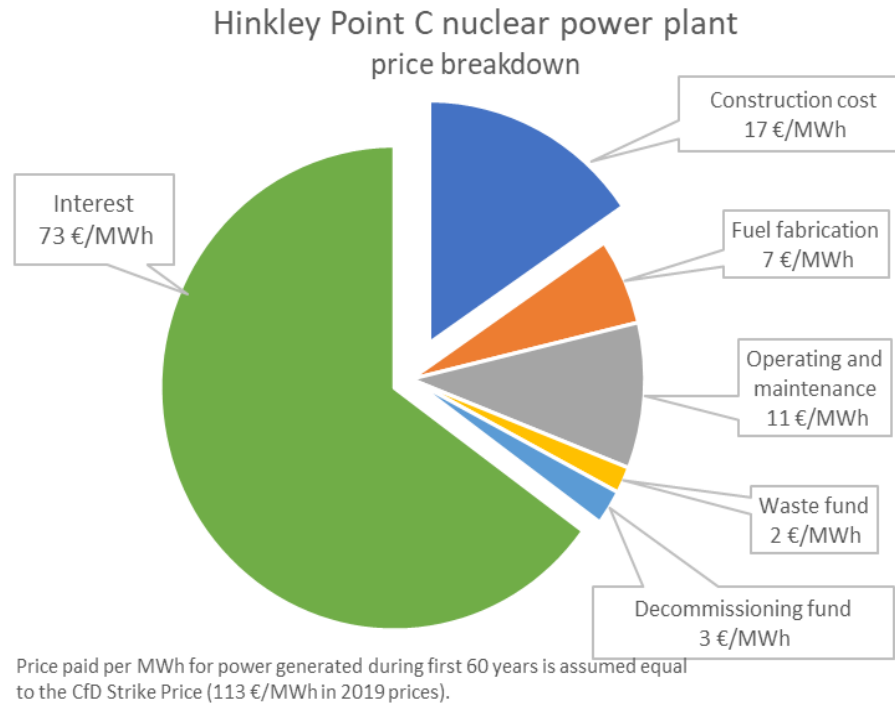
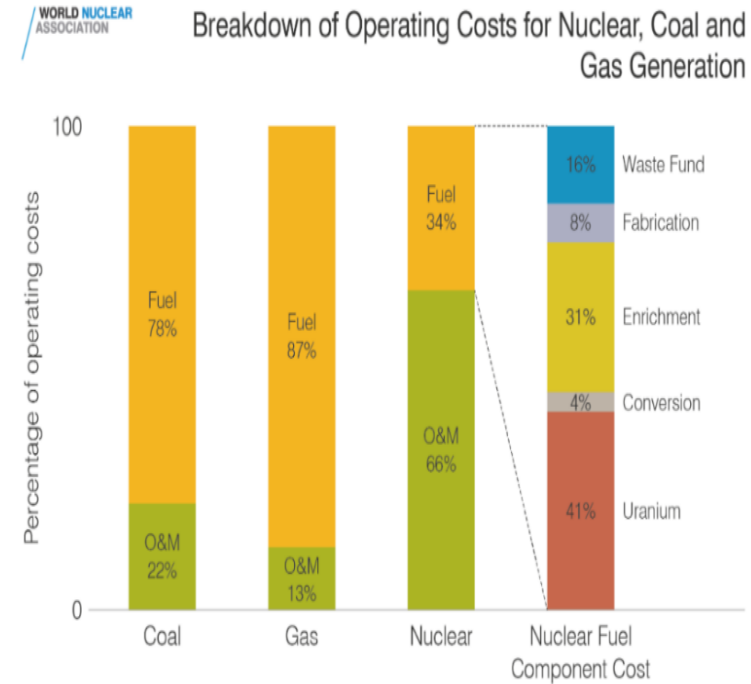


Figura A3.1. Ripartizione del costo del MWh prodotto dalla centrale di Hinkley Point C [A3.1]



Source: Nuclear Energy Institute

Figura A3.2. Ripartizione dei costi operativi per impianti nucleari, a carbone e a gas [A3.2]

[A3.1] From: <https://medium.com/generation-atomic/the-hinkley-point-c-case-is-nuclear-energy-expensive-f89b1aa05c27>

[A3.2] From: <https://world-nuclear.org/information-library>

...continua...

...continua...

## Analisi del costo dell'energia da fonte nucleare (2/2)

Per **abbattere di oltre il 50% i costi dell'energia nucleare** basterebbe dunque che gli Stati finanziassero la costruzione dei **reattori a tassi di interesse nulli (o molto ridotti, come avviene per gran parte delle opere di pubblica utilità), cosa che peraltro succede già con le energie rinnovabili.**

Rispetto al costo totale contrattato per **Hinkley Point C**, dalla Tavola precedente si evince che i **costi vivi** dell'impianto, dalla costruzione dell'impianto stesso alla fabbricazione del combustibile, all'operazione e manutenzione, e all'accantonamento dei fondi per la gestione delle scorie e il decommissioning, costituiscono **solo il 35,4%, tra cui il 6% è costituito dal costo del combustibile**, che include l'estrazione del minerale, la conversione, l'arricchimento e la fabbricazione. In realtà, quindi, **solo il 41% della somma dei costi relativi alla fabbricazione del combustibile (7 €/MWh) e alla gestione delle scorie (2 €/MWh) è attribuibile al prezzo del minerale di per sé, cioè solo il 3% del totale contrattato di 113 €/MWh.** Questo mette al riparo da eventuali fluttuazioni nella domanda e nell'offerta dell'uranio, e da eventuali sbalzi nei mercati finanziari; infatti, anche **se il prezzo dell'uranio dovesse decuplicare, il prezzo dell'energia aumenterebbe solamente del 25%.** Da ciò si evince che il prezzo dell'energia è sostanzialmente anelastico rispetto al prezzo dell'uranio.

**Ben diverso è il caso degli impianti a gas naturale, come vediamo oggi: se il prezzo del gas raddoppiasse, anche il costo dell'energia sarebbe praticamente il doppio.**