

UNIVERSITÀ DELLA VALLE D'AOSTA
UNIVERSITÉ DE LA VALLÉE D'AOSTE

DIPARTIMENTO DI SCIENZE ECONOMICHE E POLITICHE
CORSO DI LAUREA IN SCIENZE POLITICHE E DELLE RELAZIONI
INTERNAZIONALI

ANNO ACCADEMICO 2021/2022

TESI DI LAUREA

Energia nucleare nell'Unione europea: quanto viene sfruttata e perché dovrebbe
essere utilizzata di più

DOCENTE relatore: Prof. Nicola Strazzari

STUDENTE: Matricola 19F02468

Michel Comé

INDICE

INTRODUZIONE	1
1 Stato attuale dell'energia nucleare nell'Unione europea	5
1.1 Principali caratteristiche e problematiche del sistema energetico europeo	5
1.1.1 Il quadro della legislazione e della visione GREEN europea	8
1.1.2 Le conseguenze della guerra in Ucraina per il mercato dell'energia europeo	9
1.2 Stato dell'arte dello sfruttamento dell'energia nucleare nell'Unione europea.	11
1.3 Analisi degli Stati europei che sfruttano l'energia nucleare.	15
1.4 Analisi degli Stati europei che non sfruttano l'energia nucleare	19
1.5 Focus sulla situazione italiana.	23
1.5.1 Storia dell'energia nucleare in Italia	24
2 Costi e benefici dell'energia nucleare	28
2.1 Lotta al cambiamento climatico e decarbonizzazione	28
2.2 Sicurezza ed indipendenza energetica	30
2.3 Vantaggi economici dell'energia nucleare	33
2.4 Aspetti geopolitici e legati alle relazioni internazionali	35
2.4.1 Conflitti ed energia	35
2.4.2 Implicazioni a livello di relazioni internazionali	36
2.5 Principali svantaggi dell'energia nucleare	38
2.5.1 Gestione dei rifiuti radioattivi	38
2.5.2 Pericolosità degli incidenti nucleari	39
2.5.3 Costi elevati di progettazione e costruzione	41
3 L'opportunità di un'Unione energetica europea basata sull'energia nucleare	43
3.1 Panorama giuridico, normativo e ruolo dell'Euratom	43
3.1.1 Panorama giuridico a livello italiano ed europeo	43
3.1.2 Storia, ruolo e funzioni dell'Euratom	45
3.2 Perché creare una politica energetica comune nell'Unione europea	49
3.2.1 Benefici derivanti dalla creazione di un'Unione energetica europea	49
3.2.2 Cronistoria del dibattito sull'Unione energetica	50
3.2.3 Fattibilità di un'Unione europea energetica basata sull'energia nucleare	52
3.3 Esempio di cooperazione: il progetto ITER	54
3.3.1 Paesi membri e scopo del progetto ITER	55
3.3.2 L'importanza del progetto ITER	57
CONCLUSIONI	60
BIBLIOGRAFIA	64

INTRODUZIONE

La presente tesi di laurea si pone l'obiettivo di illustrare perché l'Unione europea farebbe bene a sviluppare, aumentare ed incentivare lo sfruttamento dell'energia nucleare tra i propri Stati membri. A sostegno di questa tesi sono presentati e spiegati i benefici che si ricaverebbero da un utilizzo più importante di questa fonte energetica e perché essa possa risultare fondamentale per il raggiungimento degli obiettivi in materia energetica ed ambientale che l'Unione europea si è posta per il prossimo futuro. L'energia nucleare potrebbe, infatti, risultare un valido alleato nella complessa strada verso la lotta al cambiamento climatico, integrandosi nel *Green Deal* europeo e contribuendo alla decarbonizzazione e verso il raggiungimento dell'indipendenza energetica, contribuendo alla diminuzione dell'utilizzo delle fonti energetiche fossili. Questa tematica è stata affrontata adottando una visione eurocentrica, in quanto la problematica è comune a tutti gli Stati dell'Unione europea e le risposte più impattanti e le soluzioni più efficienti non possono che nascere, per svariati motivi analizzati nella tesi, che a livello comunitario.

La scelta dell'argomento di questa tesi di laurea è strettamente legata all'intenzione di affrontare un tema di forte attualità che influenza in molteplici modalità la nostra vita quotidiana. In questo periodo segnato da cambiamenti climatici sempre più impattanti e dall'instabilità internazionale, la questione energetica diventa sempre più importante e sfaccettata e può essere affrontata utilizzando svariate prospettive. Una di queste è legata all'utilizzo e allo sfruttamento dell'energia nucleare che può essere considerata, fin dagli albori dello sviluppo di questa tecnologia, come la fonte di energia più divisiva tra l'opinione pubblica e nel dibattito politico, sia a livello nazionale che internazionale. La concezione e la stesura di questo elaborato sono, dunque, fortemente intrise della prospettiva favorevole che il sottoscritto nutre verso l'energia nucleare.

La ricerca è iniziata cercando materiali che potessero aiutare a delineare una situazione generale del mercato energetico europeo, per capire punti di forza e debolezze. Si è, in seguito, cercato di capire se e come il nucleare possa essere sviluppato maggiormente in questo contesto e, soprattutto, quali benefici esso può apportare all'Unione europea.

A questo proposito, è stata effettuata un'analisi economica andando a comparare i costi del nucleare rispetto alle altre fonti energetiche *green*. Infine, si è cercato di capire se la creazione di un'Unione energetica europea possa diventare realtà e come il nucleare possa rapportarsi con essa, andando anche alla ricerca di altri esempi di cooperazione internazionale sull'atomico per dimostrare l'importanza che esso può avere. Per analizzare il tema e sostenere la tesi sono state sfruttate svariate pubblicazioni di istituzioni nazionali, europee ed internazionali che si occupano del tema energetico e, in particolare dell'energia nucleare. Per la natura legata all'attualità di vari passaggi dell'elaborato sono stati, inoltre, consultati articoli di importanti ed attendibili riviste scientifiche e giornali online. Alcune pubblicazioni accademiche e di ricerca sono state utilizzate per capire meglio ed approfondire alcuni concetti più teorici.

Il primo capitolo getta le basi del testo andando ad analizzare la situazione attuale del sistema energetico europeo, presentando le sue principali problematiche e le sfide che sta affrontando e dovrà affrontare nei prossimi decenni. Due sono gli aspetti che sono presentati in maniera più approfondita: la lotta al cambiamento climatico tramite la transizione ecologica e gli effetti causati dallo scoppio della guerra in Ucraina sul mercato energetico europeo. Risulta dunque di fondamentale importanza l'ingresso dell'energia nucleare nella tassonomia verde europea¹, entrando nell'*European Green Deal* che guiderà le scelte europee in materia energetica dei prossimi decenni. Gli effetti dell'invasione russa dell'Ucraina sul mercato energetico europeo, inoltre, dimostrano ancora una volta come sia particolarmente importante diminuire la dipendenza energetica ed anche su questo tema l'energia nucleare può risultare uno strumento importante. In seconda battuta è analizzato lo stato odierno dello sfruttamento dell'energia nucleare sul territorio europeo, andando a suddividere gli Stati membri dell'Unione europea in due grandi categorie: Paesi che sfruttano il nucleare e Paesi che non lo sfruttano. Ad oggi 13 dei 27 Stati europei utilizzano questa fonte energetica e tramite essa viene prodotta circa il 26% dell'energia totale.² Nell'ultimo paragrafo è, invece, sviluppato un approfondimento sulla situazione energetica italiana e sulla lunga e travagliata storia dell'energia nucleare in Italia. Il nostro Paese, infatti, fu uno dei più importanti produttori al mondo di energia nucleare

¹ KATE ABNETT, *EU parliament backs labelling gas and nuclear investments as green*, 06/07/2022, <https://www.reuters.com/>

² *Energy statistical country datasheet*, Commissione UE, 29/04/2022

negli anni sessanta e settanta ma allo stesso tempo qui si è indetto il primo referendum per vietare lo sfruttamento di questa fonte.

Il secondo capitolo analizza i principali benefici e i costi derivanti dallo sfruttamento di questa fonte energetica. Gli aspetti positivi vengono suddivisi in quattro grandi tematiche: la lotta al cambiamento climatico e la decarbonizzazione, la sicurezza e l'indipendenza energetica, i vantaggi di natura economica e gli aspetti geopolitici e legati alle relazioni internazionali. L'energia nucleare, infatti, ha una *Carbon Intensity*³ inferiore rispetto ad altre fonti *green* ed in più può contare su un ciclo produttivo molto più lungo. Grazie alla possibilità di poter immagazzinare quantità di carburante utile ad alimentare un reattore per più anni la Commissione europea considera il nucleare come una fonte indigena⁴ e per questa ed altre caratteristiche il nucleare può essere cruciale nella corsa all'indipendenza energetica. Sono, infine, presentati e in parte confutati i principali svantaggi affibbiati all'energia nucleare. Essi possono essere raggruppati in tre grandi categorie: la gestione dei rifiuti radioattivi, la pericolosità ed i costi elevati. Le scorie nucleari non rappresentano, in realtà, un grande problema in quanto esse sono prodotte in piccola quantità e possono essere immagazzinate in totale sicurezza.⁵ Di incidenti gravi ne sono stati registrati solo due in più di sessant'anni di sfruttamento di questa tecnologia. I costi, infine, risultano essere concorrenti o in alcuni casi inferiori rispetto alle altre fonti *green*.⁶

Il terzo capitolo, invece, conclude l'elaborato andando a chiedersi se sia possibile la creazione di un'Unione energetica europea basata sullo sfruttamento dell'energia nucleare. Per dare una risposta esaustiva a questo quesito è, inizialmente, analizzato il contesto giuridico e normativo sia nazionale che internazionale e, in maniera più approfondita, il ruolo e la storia dell'Euratom. Viene poi spiegato perché la creazione di sistema energetico comune possa aiutare l'Unione europea e si affrontano le manovre giuridiche e legislative comunitarie già intraprese che vanno verso questa direzione. Un paragrafo è orientato a capire se, tra i vari Stati europei, esiste un'effettiva volontà politica ed amministrativa verso la creazione di un sistema comune e il ruolo che l'energia nucleare può ricoprire in questo processo. Per

³ Quantità di grammi di CO² emessi per kWh di elettricità prodotti

⁴ *Nuclear Power in the European Union*, October 2022, <https://www.world-nuclear.org/>

⁵ *Storage and Disposal of Radioactive Waste*, Gennaio 2023, <https://www.world-nuclear.org/>

⁶ *Projected Costs of Generating Electricity*, 2022, IEA

concludere la tesi viene presentato uno dei più importanti esempi di cooperazione internazionale sul tema dell'energia nucleare: il progetto ITER. La scelta di approfondire questo progetto è legata principalmente alla grande portata dei suoi scopi e delle sue sperimentazioni e all'importanza degli Stati che vi partecipano, caratteristiche che lo rendono il più importante esperimento sul nucleare al mondo. Lo scopo di ITER è quello di riuscire ad utilizzare la fusione nucleare per produrre energia sicura, pulita ed illimitata, caratteristiche che la renderebbero una fonte di energia "perfetta" per il futuro dell'umanità. La partecipazione ad esso di gran parte degli Stati più potenti e più ricchi al mondo, come Cina, Corea del Sud, Giappone, India, Russia, Stati Uniti d'America e l'Unione europea, fa sì che il progetto ITER possa disporre di un *budget* molto importante.

CAPITOLO PRIMO

Stato attuale dell'energia nucleare nell'Unione europea

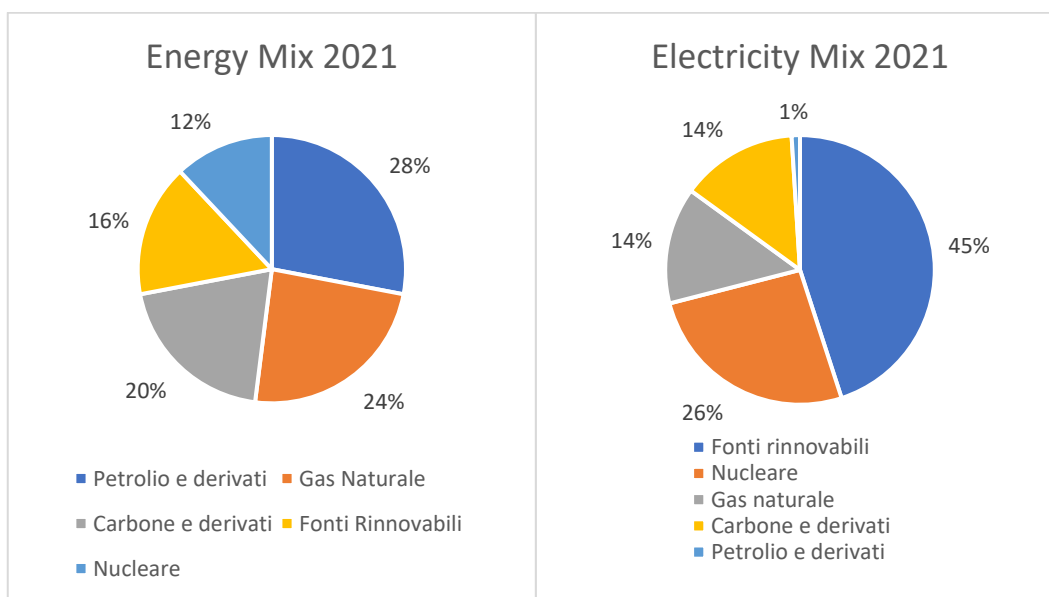
1.1 Principali caratteristiche e problematiche del sistema energetico europeo

Nell'esaminare la situazione generale degli ultimi anni del sistema energetico europeo non si può fare a meno di notare come l'invasione dell'Ucraina da parte delle forze armate della Federazione Russa, iniziata il 24 febbraio 2022, rappresenti un fattore esogeno di particolare importanza che è stato in grado di destabilizzare fortemente il funzionamento del modello energetico degli Stati europei, mettendone in serio pericolo la sua effettiva efficacia. Questo perché in risposta alle pesanti sanzioni imposte alla Russia dall'Unione europea, supportata dalla maggioranza degli Stati del globo, il Cremlino ha deciso di diminuire in maniera sostanziale le forniture di gas verso il vecchio continente, chiudendo i vari gasdotti. Il fatto che, in forma più o meno importante, la maggioranza degli Stati europei dipendevano, per quanto riguarda la propria produzione di energia, dalle importazioni russe ha portato allo scoppio di una vera e propria crisi energetica che ha colpito, in maniera più o meno pesante, tutti i Paesi dell'Unione europea. Nel tentativo di risolvere questa crisi, o almeno di mitigarne i suoi effetti, sono state prese delle decisioni a livello politico, sia da parte dei singoli Stati che a livello comunitario, che hanno rivoluzionato in maniera radicale il sistema energetico europeo, sia sul breve che sul lungo periodo. Questo evento ha, quindi, messo in luce alcune delle principali problematiche dell'attuale modello energetico e, andandosi a sommare ad altri fenomeni, sta portando ad un ripensamento del suo funzionamento attuale e dei suoi sviluppi futuri. Per poter effettuare un'indagine esaustiva e, soprattutto, attuale su questo argomento occorre, dunque, fare una distinzione tra la situazione antecedente e quella successiva all'invasione russa dell'Ucraina, e alla conseguente crisi energetica.

Per analizzare la situazione generale del sistema energetico europeo al 2021, dunque senza tenere conto dell'effetto degli eventi citati precedentemente, bisogna,

innanzitutto, esaminare le fonti attraverso le quali vengono prodotte energia ed elettricità sul territorio dell'Unione europea e capire quale sia l'impatto di ognuna di esse sul totale dei consumi dei cittadini. Per effettuare questo approfondimento, prendiamo in considerazione due statistiche fondamentali: l'*energy mix* e l'*electricity mix*. Il primo dato non si riferisce solo alla mera produzione di elettricità ma tiene conto anche, per esempio, dell'approvvigionamento di carburanti per i trasporti e del riscaldamento e/o della climatizzazione di edifici sia industriali che residenziali. Il secondo si riferisce, invece, solo all'output di energia elettrica ed è l'indicatore più rilevante per quanto riguarda l'energia nucleare, in quanto essa viene prevalentemente sfruttata per la generazione di elettricità. Al 2021, dunque, l'*energy mix* e l'*electricity mix* riferito alla totalità dei 27 Stati dell'Unione europea è ripartito nella seguente maniera.

Figura 1 – Energy Mix ed Electricity Mix europei al 2021



Fonte: *State of the Energy Union 2022*, https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-strategy/energy-union/seventh-report-state-energy-union_en, 18/10/2022

Nel corso del 2020 il consumo di energia, a livello europeo, è stato pari a 907 Mtoe¹, dato ovviamente in calo rispetto alla media degli anni precedenti a causa della

¹ Milioni di tonnellate equivalenti di petrolio

pandemia da COVID-19, e sono stati generati un totale di 2781,33 TWh² di elettricità, prodotti tramite le ripartizioni riportate nella figura 1³.

Non avendo a disposizione, sul proprio territorio, una quantità sufficiente a soddisfare il proprio bisogno di materie prime destinate alla generazione di energia, l'Unione europea dipende, e questo rappresenta una prima importante problematica del sistema energetico comunitario, al 59.2% dall'importazione di combustibili destinati alla produzione di energia.⁴ Una percentuale significativa di questa dipendenza è data dall'acquisto di materie prime provenienti dalla Russia. Sempre nel 2020, infatti, rispettivamente il 44%, il 26% e il 54% di gas, petrolio e carbone venivano importati dallo stato russo.⁵ Questo dato non sembrava destinato a cambiare, anzi, a inizio settembre del 2021 la multinazionale Gazprom ha annunciato il completamento della costruzione del gasdotto Nord Stream 2, che se attivato avrebbe permesso di raddoppiare le importazioni di gas naturale russo verso l'Unione europea bypassando l'Ucraina⁶. Questa nuova infrastruttura sottomarina che si sviluppa tra Russia e la Germania attraversando il Mar Baltico, però, non è mai entrata in funzione, inizialmente perché le autorità tedesche non avevano ancora rilasciato il via libera al pompaggio del gas e, in seguito, perché l'invasione russa dell'Ucraina ne ha rimandato l'attivazione a tempo indeterminato.

Un ulteriore dato allarmante riguarda la povertà energetica. Al 2021, infatti, il 6,9% delle famiglie europee non riesce a mantenere la propria casa sufficientemente riscaldata mentre il 6,4% di esse è in ritardo sul pagamento delle bollette legate all'elettricità.⁷ Questi numeri dimostrano che l'aumento del prezzo dell'energia elettrica degli ultimi anni, prima ancora dei forti rialzi dovuti alla crisi energetica del 2022, stia colpendo duramente una fetta sempre più importante dei cittadini europei e rappresenti un fenomeno che l'Unione europea deve affrontare efficacemente.

Se da un lato gli Stati europei dipendono ancora fortemente dall'importazione di combustibili fossili e di gas naturale è, altresì vero, che da alcuni decenni l'Unione

² Terawattora

³ *Energy statistical country datasheet*, Commissione UE, 29/04/2022

⁴ *EU27 Energy Snapshot 2022*, Commissione UE, 18/10/2022

⁵ Vedi nota 4

⁶ VLADIMIR SOLDATKIN, *Russia completes Nord Stream 2 construction, gas flows yet to start*, 2021, <https://www.reuters.com/>

⁷ Vedi nota 4

europea sta puntando fortemente sullo sviluppo delle fonti di energia rinnovabile che rappresentano una fetta sempre più crescente dell'*energy* e dell'*electricity mix* comunitario. A partire dal 2013, infatti, rappresentano il principale metodo di produzione elettrica, superando il nucleare, e la tendenza è in continua crescita. Nel 2020, l'insieme di: energia idroelettrica, eolica, solare, geotermica, mareomotrice e dei biocarburanti e biogas, generava un totale di 1086,09 TWh di elettricità, un dato più che raddoppiato rispetto al 2007, quando ne venivano prodotti solo 527,25 TWh.⁸

1.1.1 Il quadro della legislazione e della visione GREEN europea

Il forte sviluppo delle fonti rinnovabili, a discapito dello sfruttamento dei combustibili fossili, è dovuto alla crescente importanza che la lotta al cambiamento climatico e la transizione ecologica hanno nel dibattito politico europeo. Da alcuni decenni, infatti, l'Unione europea sta promuovendo un uso massiccio delle fonti rinnovabili tramite la creazione di meccanismi e di leggi ad hoc. Uno dei primi esempi riscontrabili è l'istituzione nel 2005 dell'EU ETS (*European Union Emission Trading System*). Questo meccanismo opera secondo il principio "cap and trade", cioè viene stabilito un tetto massimo alle quantità di emissioni di sostanze inquinanti (principalmente anidride carbonica, ossido di azoto e perfluorocarburi) prodotte dalle aziende europee che operano nella produzione di energia elettrica e calore, nei settori industriale ad alta intensità energetica e nell'aviazione civile e per rimanere dentro questo limite le imprese possono acquistare o vendere quote in base alle loro esigenze.⁹ L'EU ETS è in continuo aggiornamento e sviluppo e, a partire dal 1° ottobre 2023, sarà affiancato dal CBAM (*Carbon Border Adjustment Mechanism*) sviluppato per prevenire il rischio rilocizzazione delle emissioni verso Paesi extra europei con legislature meno stringenti¹⁰. La svolta definitiva si è concretizzata, però, nel 2020 con la creazione e l'approvazione dell'*European Green Deal*, in riferimento al quale dovranno essere prese tutte le scelte, anche e soprattutto quelle energetiche, sia a livello comunitario che a livello nazionale da ognuno dei 27 Paesi membri. Il piano è un insieme di iniziative strategiche studiate per affrontare la transizione ecologica, col fine ultimo di

⁸ *Energy statistical country datasheet*, Commissione UE, 29/04/2022

⁹ *EU Emissions Trading System (EU ETS)*, Commissione UE, https://commission.europa.eu/index_en

¹⁰ *Carbon Border Adjustment Mechanism*, Commissione UE, https://commission.europa.eu/index_en

rendere l'Unione europea climaticamente neutrale nel 2050 e di diminuire di almeno il 55% le emissioni di gas serra entro il 2030 rispetto ai livelli del 1990.¹¹ Questo insieme di azioni che ha cambiato e sta cambiando la legislazione europea esistente in merito al clima non si occupa, però, solo di energia ed emissioni di sostanze inquinanti ma vuole essere un piano omnicomprensivo e, infatti, rientrano in esso anche temi come: l'economia circolare, la biodiversità, l'agricoltura e via discorrendo. È da notare che, dopo una lunga battaglia politica portata avanti dagli Stati contrari come l'Austria, la Germania, il Lussemburgo e la Spagna, che ha rallentato in maniera importante l'iter istituzionale, il parlamento europeo, nel luglio del 2022, ha votato a favore dell'equiparazione, almeno in determinate istanze, del nucleare e del gas naturale a fonti di energia rinnovabile.¹² Dal 2023, dunque, entreranno a far parte della tassonomia verde europea e gli investimenti su queste forme di produzione di energia saranno considerati ecologicamente sostenibili.

1.1.2 Le conseguenze della guerra in Ucraina per il mercato dell'energia europeo

Ovviamente la situazione energetica dell'Unione europea è stata messa a dura prova dagli eventi del 2022. Il rialzo del prezzo del gas e delle altre materie prime susseguito all'invasione dell'Ucraina da parte dell'esercito russo e lo scoppio della conseguente crisi energetica hanno obbligato l'Unione europea e i singoli 27 Stati a cambiare le proprie strategie energetiche ed a intervenire in maniera importante per affrontare questo periodo di difficoltà.

Inizialmente si è dovuto sopperire alla restrizione delle quantità di gas naturale russo immesso nei gasdotti europei e al drastico aumento del suo prezzo, che stavano mettendo in forte difficoltà la produzione industriale europea. La percentuale di gas naturale importato dalla Russia è scesa, infatti, dal 44% del 2020 al 9% del settembre 2022.¹³ Per sopperire ad un taglio così drastico l'Unione europea ha puntato fortemente sull'utilizzo del gas naturale liquefatto (LNG) che ora ammonta al 32% delle importazioni totali di gas.¹⁴ Questo cambiamento è stato il frutto di importanti accordi

¹¹ *European Green Deal*, Consiglio dell'Unione europea, <https://www.consilium.europa.eu/en/>

¹² KATE ABNETT, *EU parliament backs labelling gas and nuclear investments as green*, 06/07/2022, <https://www.reuters.com/>

¹³ *State of the Energy Union*, Commissione UE, 18/10/2022

¹⁴ Vedi nota 13

commerciali stipulati con la Norvegia e gli Stati Uniti d'America, che rappresentano i principali fornitori di questa materia prima. Il prezzo medio europeo all'ingrosso del gas è aumentato in maniera vertiginosa nel corso del 2022 arrivando a toccare la quota record di 339,20 €/KWh il 26 agosto.¹⁵ Da quella data, anche grazie agli sforzi fatti dall'Unione Europe si è assistito ad un continuo abbassamento del costo, che all'inizio del 2023 è tornato sotto i 60 €/KWh, cioè intorno al prezzo riscontrabile prima dell'invasione russa dell'Ucraina.¹⁶

In conseguenza alla volatilità del valore del gas naturale si è riscontrato un rialzo, altrettanto vertiginoso, del prezzo dell'elettricità. Il suo costo all'ingrosso medio per i 27 Paesi dell'Unione europea, che ad aprile del 2020 si attestava su circa 25 €/MWh e risultò in costante aumento da quel periodo, ha superato i 350 €/MWh nel luglio del 2022, con una crescita estremamente importante proprio a partire dal febbraio dello stesso anno.¹⁷ Anche in questo caso la curva è tornata a scendere anche se in maniera meno importante rispetto a quella relativa al costo del gas naturale. Questo andamento si è, ovviamente, riversato in gran parte sul prezzo finale al consumatore che, seppur essendo molto diverso nei vari Stati, è aumentato in maniera proporzionale nell'Unione europea. È da notare che, oltre alla situazione in ucraina, anche l'estate particolarmente calda ha contribuito all'innalzamento dei prezzi, sia a causa della maggiore domanda di elettricità per la climatizzazione sia, soprattutto, per la scarsità d'acqua che ha creato problemi, per motivi diversi, sia all'industria nucleare che a quella idroelettrica.¹⁸

Questa impennata dei prezzi ha rappresentato uno dei temi più caldi dell'agenda politica europea, sia a livello nazionale che a livello comunitario, per tutto il 2022 e rappresenta un'altra problematica non indifferente per il sistema energetico continentale. Come confermato dalla Commissione europea, però, tutti gli Stati dell'Unione hanno implementato delle misure, più o meno impattanti, per affrontare il rincaro dei prezzi, che si vanno a sommare a quelle istituite a livello europeo. La Commissione europea, infatti, ha risposto alle dinamiche energetiche create dall'invasione russa dell'Ucraina progettando REPowerEU. Il piano, supportato da

¹⁵ Numeri ricavati dall'archivio dati del Natural Gas EU Dutch TTF, <https://tradingeconomics.com/>

¹⁶ Vedi nota 15

¹⁷ *EU27 Energy Snapshot*, Commissione UE, 18/10/2022

¹⁸ *State of the Energy Union*, Commissione UE, 18/10/2022

azioni finanziarie e legislative, si pone tre scopi principali: il risparmio di energia, l'incentivo e l'aumento della produzione di energia verde e la diversificazione delle fonti di approvvigionamento energetico.¹⁹

1.2 Stato dell'arte dello sfruttamento dell'energia nucleare nell'Unione europea.

Attualmente 13 dei 27 Stati che compongono l'Unione europea sfruttano il nucleare per la produzione di energia, a questi Paesi bisogna, inoltre aggiungere la Lituania e la Polonia che hanno in programma l'attivazione di centrali nucleari nel prossimo decennio.²⁰ A settembre 2022 sono 103 i reattori funzionanti sul territorio europeo. Ne sono attualmente in costruzione altri 3, 2 in Slovacchia e 1 in Francia, mentre risale al marzo 2022 l'attivazione dell'ultima centrale situata in Finlandia. Inoltre, è già stata pianificata l'attivazione di ulteriori 7 reattori in vari Stati europei; sono, infine, 18 le nuove costruzioni proposte che stanno procedendo secondo i rispettivi iter burocratici.²¹ Nel 2021 l'energia elettrica totale prodotta sfruttando il nucleare nell'Unione europea ammontava a 698,9 TWh, che corrispondono al 26% dell'elettricità totale prodotta in Europa.²² Più della metà di essa viene prodotta in un solo Paese: la Francia che con i suoi 56 reattori produce annualmente 363,4 TWh, dietro solo a Stati Uniti d'America e Cina a livello globale.²³

L'energia nucleare è, inoltre, fortemente sfruttata da alcuni degli Stati confinanti con l'Unione europea. Sono, infatti presenti centrali nucleari sul territorio di Bielorussia, Regno Unito, Russia, Svizzera e Ucraina e Turchia, che sta procedendo con la costruzione di 4 reattori nucleari. Da questo punto di vista è interessante la posizione di Regno Unito, Svizzera e, dal 2022, anche dell'Ucraina che essendo collegati alla rete elettrica europea possono facilmente vendere elettricità prodotta mediante il nucleare ai Paesi dell'Unione.²⁴

¹⁹ REPowerEU, Commissione EU, 18/05/2022

²⁰ Nuclear Power in the European Union, Ottobre 2022, <https://www.world-nuclear.org/>

²¹ Vedi nota 20

²² Energy statistical country datasheet, Commissione UE, 29/04/2022

²³ Nuclear Power in France, Gennaio 2023, <https://www.world-nuclear.org/>

²⁴ Vedi nota 20

L'Euratom, conosciuto in passato anche come Comunità Europea per l'Energia Atomica (CEEa), è l'organizzazione europea che si occupa di supervisionare e coordinare lo sviluppo dell'energia atomica, sia dal punto di vista commerciale che della ricerca. Secondo il report annuale dell'*Euratom Supply Agency*²⁵ le strutture nucleari europee hanno ricevuto un totale di 11975 tonnellate di uranio, che rappresentano circa il 18% della domanda globale.²⁶ La maggior parte di queste acquisizioni sono avvenute tramite contratti di lungo termine firmati dall'Euratom, circa il 96%.²⁷ Il prezzo medio, relativamente proprio ai suddetti contratti pluriennali, è di 89 €/kgU, più alto del 24% rispetto al 2020.²⁸ Le 5 nazioni dalle quali l'Unione europea ha importato la maggiore quantità di uranio sono:²⁹

- 24% Niger
- 23% Kazakhstan
- 20% Russia
- 16% Australia
- 14% Canada

L'arricchimento dell'uranio naturale acquistato nel 2021 è stato realizzato per circa il 30% dalla multinazionale francese Orano, per il 25% sia dalla canadese Cameco che dalla russa Rosatom ed il 14% da CoverDyn, azienda con sede negli Stati Uniti d'America.³⁰ Per l'ottavo anno consecutivo, gli impianti europei hanno utilizzato più materiale per far funzionare i reattori di quanto ne sia stato comprato, questo fenomeno sta portando ad una continua diminuzione delle scorte che alla fine del 2021 ammontavano a 36,810 tonnellate di uranio naturale equivalente, circa il 25% in meno rispetto allo stesso periodo del 2017.³¹ Sempre secondo lo stesso report, 2197 tU totale di combustibile sono state caricate nei reattori commerciali europei nel corso del 2021. Questo carburante è stato prodotto utilizzando 15380 tU di uranio naturale, circa il 96%, e da 642 tU di uranio riprocessato, che rappresenta il restante 4%.³²

²⁵ EURATOM Supply Agency Annual Report 2021, ESA, 2021

²⁶ Vedi nota 25

²⁷ Vedi nota 25

²⁸ Vedi nota 25

²⁹ Vedi nota 25

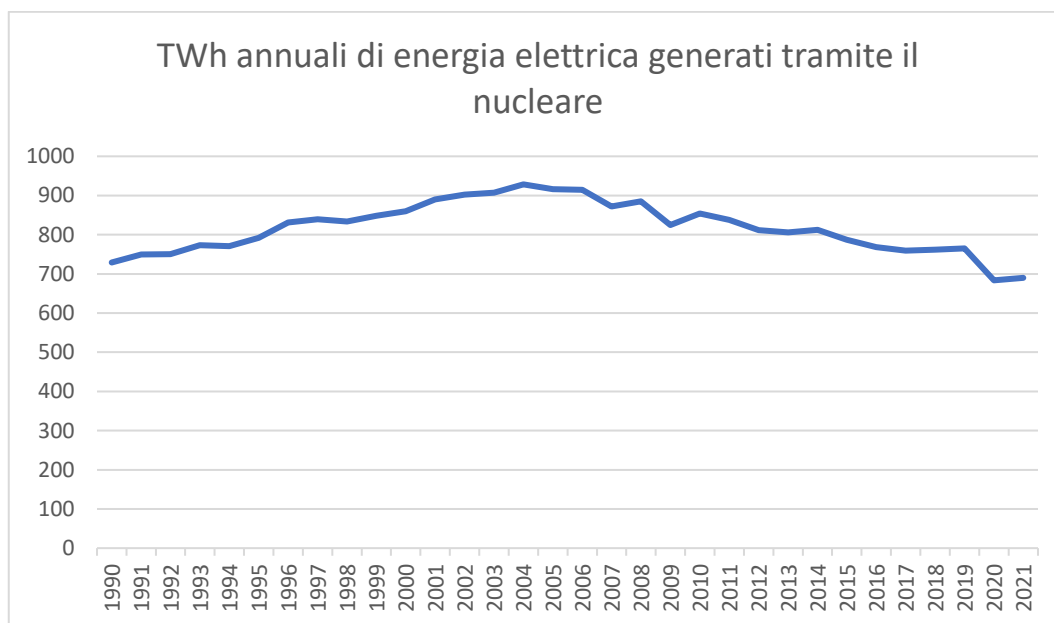
³⁰ Vedi nota 25

³¹ Vedi nota 25

³² Vedi nota 25

L'Unione europea rende pubblici ed aggiorna ogni anno i dati sulla produzione e sul consumo di energia, con un campionamento dei dati iniziato nel 1990, ed è dunque possibile effettuare un'analisi storica dello sfruttamento dell'energia nucleare in Europa.

Figura 2: TWh annuali di elettricità generati sfruttando l'energia nucleare nell'Unione europea dal 1990 al 2021



Fonte: Energy Statistical Country Datasheet, EU Commission, 29/04/2022

Come si può notare nella figura 2, nel 1990 vennero generati 729,11 TWh di elettricità e per tutto il corso degli anni Novanta e fino alla metà degli anni 2000 si può notare un aumento costante della produzione annua di energia elettrica tramite l'utilizzo del nucleare. Il 2004 è l'anno in cui si realizza il record di energia nucleare prodotta nell'Unione europea per un totale di 928,44 TWh, che all'epoca corrispondevano al 44% dell'elettricità totale generata sul territorio europeo. A partire dall'anno seguente la tendenza si inverte e si assiste ad un graduale calo della produzione fino ad arrivare ai 698,9 TWh del 2021, la produzione ad oggi è dunque complessivamente calata rispetto al 1990.³³

³³ Energy Statistical Country Datasheet, Commissione UE, 29/04/2022

Si può notare, inoltre, che fino al 2012 il nucleare rappresentava la fonte principale dalla quale generare energia elettrica nell'Unione europea ed è stato superato l'anno seguente dalla forte crescita delle fonti rinnovabili intese come macrocategoria, quindi l'insieme di idroelettrico, eolico, biogas, biocarburanti, solare, geotermico... Questo calo che sta caratterizzando gli ultimi due decenni è attribuibile, principalmente, alla obsolescenza di gran parte delle centrali nucleari europee. Svareti reattori, infatti, sono stati chiusi per aver completato il loro ciclo produttivo oppure devono essere sottoposti ad importati lavori di manutenzione che ne inficiano la produzione di energia per lunghi periodi. Alcuni Stati europei, inoltre, stanno realizzando piani pluriennali di *decommissioning* per svincolarsi completamente dalla produzione di energia nucleare, in particolare Belgio, Germania e Spagna. La costruzione di nuovi impianti nucleari nei vari Stati europei, d'altro canto, è spesso accomunata da iter politici e amministrativi particolarmente travagliati ed impegnativi, anche a causa dell'opposizione di partiti politici e di ampie fette di popolazione, e ciò causa un aumento dei costi e dei tempi previsti, anche nei Paesi generalmente più propensi al suo utilizzo. Esiste, dunque, una forte spaccatura sull'energia nucleare nell'Unione europea che vede da una parte gli Stati favorevoli al suo utilizzo, capitanati dalla Francia e sempre di più dai Paesi dell'Europa centro-orientale, e dall'altra i governi che si oppongono ferocemente al suo sfruttamento, su tutti Austria e Lussemburgo. Lo scoppio della crisi energetica, però, del 2022 ha riportato in auge il nucleare nel dibattito politico europeo. La Germania e il Belgio, per esempio, hanno rallentato i propri piani di *decommissioning* per sopperire alla carenza di elettricità³⁴ mentre in altri Paesi, come Polonia e Paesi Bassi, si è assistito ad un rafforzamento dei progetti nucleari già programmati. Il futuro dell'energia nucleare nell'Unione europea, dunque, non pare essere già scritto e, anzi, rappresenterà un tema ancora centrale delle scelte energetiche europee dei prossimi anni.

³⁴ EURONEWS, *Nuclear energy: Belgium postpones phase-out by 10 years due to Ukraine war*, <https://www.euronews.com/>

1.3 Analisi degli Stati europei che sfruttano l'energia nucleare.

Belgio

In Belgio sono attualmente attivi 6 reattori nucleari, che con una produzione di energia elettrica pari a 48.0 TWh ricoprono il 51% del fabbisogno nazionale di elettricità.³⁵ Dal 2003 il governo belga ha iniziato una dismissione graduale dei suoi reattori nucleari, che però, a partire dal 2022, è stata ritardata di 10 anni per poter fare da contraltare all'innalzamento dei prezzi del gas naturale seguito all'invasione russa dell'Ucraina. Dal 2026, comunque, rimarranno in funzione solo i 2 reattori di più recente costruzione che finiranno il proprio ciclo produttivo non prima del 2036.³⁶

Bulgaria

In Bulgaria sono attualmente attivi 2 reattori nucleari, che con una produzione di energia elettrica pari a 15,8 TWh ricoprono il 35% del fabbisogno nazionale di elettricità.³⁷ È prevista la costruzione di una terza centrale nucleare e il governo bulgaro ha proposto la costruzione di altri due impianti, per un totale di 3000 MWe netti di potenza. Il governo bulgaro, inoltre, sta trattando con la Grecia per la costruzione e la gestione congiunta di un impianto nucleare che possa servire la rete elettrica di entrambi i Paesi.³⁸

Repubblica Ceca

In Repubblica Ceca sono attualmente attivi 6 reattori nucleari, che con una produzione di energia elettrica pari a 29,0 TWh ricoprono il 37% del fabbisogno nazionale di elettricità.³⁹ È prevista la costruzione di un'ulteriore centrale nucleare e il governo ceco ha proposto la costruzione di altri tre impianti, per un totale di 4800 Mwe netti di potenza. La Repubblica Ceca, inoltre, è uno degli Stati che più si sta impegnando a livello politico per lo sviluppo di un piano energetico nucleare a livello europeo.

³⁵ *Nuclear Power in the European Union*, Ottobre 2022, <https://www.world-nuclear.org/>

³⁶ EURONEWS, *Nuclear energy: Belgium postpones phase-out by 10 years due to Ukraine war*, <https://www.euronews.com/>

³⁷ Vedi nota 35

³⁸ EMILIYA MILCHEVA – KRASEN NIKOLOV – YORGOS ALIMONOV, *Bulgaria and Greece advance nuclear project talks*, 12/04/2022, <https://www.euractiv.com/>

³⁹ Vedi nota 38

Finlandia

In Finlandia sono attualmente attivi 5 reattori nucleari, che con una produzione di energia elettrica pari a 22,6 TWh ricoprono il 33% del fabbisogno nazionale di elettricità.⁴⁰ È prevista la costruzione un'ulteriore centrale nucleare da 1170 Mwe.

Nel marzo del 2022 è stato connesso alla rete finlandese il quinto reattore nucleare, un EPR (*European Pressurized Reactor*) da 1600 Mwe netti, che è, anche, la centrale nucleare di più recente attivazione a livello europeo.⁴¹

Francia

In Francia sono attualmente attivi 56 reattori nucleari, che con una produzione di energia elettrica pari a 363,4 TWh ricoprono il 69% del fabbisogno nazionale di elettricità. È in costruzione un altro reattore nucleare da 1650 Mwe netti a Flamanville.⁴² La Francia è lo Stato con la più elevata percentuale di energia nucleare generata a livello globale, nonché, il terzo Paese per produzione totale dopo Stati Uniti d'America e Cina. Grazie ai bassi costi di produzione lo Stato transalpino è il maggior esportatore al mondo di elettricità ed ogni anno guadagna 3 miliardi di € ed anche l'export delle tecnologie e di prodotti legati al nucleare è particolarmente redditizio.⁴³ Sono momentaneamente spenti 9 reattori per poter effettuare delle ispezioni finalizzate ad evidenziare la presenza di problematiche legate all'usura e quasi tutti gli impianti francesi sono stati o verranno controllati nei prossimi anni. È, infine, importante notare che la Francia è l'unico Stato appartenente all'Unione europea ad avere a propria disposizione circa 290 testate nucleari.⁴⁴

Germania

In Germania sono attualmente attivi 3 reattori nucleari, che con una produzione di energia elettrica pari a 65,4 TWh ricoprono il 12% del fabbisogno nazionale di elettricità.⁴⁵ In Germania procede da anni un piano di decommissioning sia delle centrali nucleari che di quelle a carbone per puntare in maniera massiccia sulle fonti rinnovabili. Nel 2011 erano 17 i reattori funzionanti sul territorio tedesco ma la

⁴⁰ *Nuclear Power in the European Union*, Ottobre 2022, <https://www.world-nuclear.org/>

⁴¹ *Nuclear Power in Finland*, Gennaio 2023, <https://www.world-nuclear.org/>

⁴² Vedi nota 40

⁴³ *Nuclear Power in France*, Gennaio 2023, <https://www.world-nuclear.org/>

⁴⁴ *Nuclear Weapons: Who Has What at a Glance*, Gennaio 2021, <https://www.armscontrol.org/>

⁴⁵ Vedi nota 40

maggior parte di essi sono stati chiusi. 3 reattori sono stati spenti nel 2021 mentre lo spegnimento dei restanti reattori, previsto per l'aprile del 2023, è stato posticipato per affrontare la crisi energetica.⁴⁶

Ungheria

In Ungheria sono attualmente attivi 4 reattori nucleari, che con una produzione di energia elettrica pari a 15,1 TWh ricoprono il 47% del fabbisogno nazionale di elettricità. È prevista la costruzione di altri 2 reattori nucleari per una potenza totale di 2400 Mwe netti.⁴⁷ L'impianto sarà edificato dalla multinazionale russa Rosatom, che finanzia i 10 dei 12,5 miliardi di € necessari, e dovrebbe diventare operativo a partire dal 2032.⁴⁸ L'accordo tra lo Stato ungherese e l'agenzia statale russa non è stato confermato nell'estate del 2022 ed è un'ulteriore riconferma dei buoni rapporti che corrono tra Victor Orbán e Vladimir Putin, presidenti dei rispettivi paesi.

Lituania

In Lituania non è attualmente attiva nessuna centrale nucleare ma è stata proposta la costruzione di 2 reattori nucleari per una potenza totale di 2700 Mwe.⁴⁹ Il Paese baltico poteva contare su due reattori di origine sovietica, che rimasero operativi dagli anni Settanta fino al 2009, quando furono spenti come stipulato dagli accordi firmati per poter entrare nell'Unione europea.

Paesi Bassi

Nei Paesi Bassi è attualmente attivo 1 reattore nucleare, che con una produzione di energia elettrica pari a 3,6 TWh ricopre il 3% del fabbisogno nazionale di elettricità. È stata proposta la costruzione di altri 2 reattori nucleari per una potenza totale di 2000 Mwe.⁵⁰ Il piano, che sembra aver guadagnato momentum con la crisi legata alla guerra in Ucraina, prevede l'attivazione degli impianti entro il 2035.⁵¹

⁴⁶ REUTERS, *Explainer: How will Germany implement its nuclear power extension?*, 18/10/2022, <https://www.reuters.com/>

⁴⁷ *Nuclear Power in the European Union*, Ottobre 2022, <https://www.world-nuclear.org/>

⁴⁸ SAMUELE DAMILANO, *Il nucleare russo arriva in Ungheria. Via libera ai reattori firmati Rosatom*, 27/08/2022, <https://it.euronews.com/>

⁴⁹ Vedi nota 47

⁵⁰ Vedi nota 47

⁵¹ ISABEAU VAN HALM, *The Netherlands opens the door to new nuclear with €5bn*, <https://www.energymonitor.ai/>

Polonia

In Polonia è stata proposta la costruzione di 6 reattori nucleari per una potenza totale di 6000 Mwe.⁵² I lavori di costruzione della prima centrale sono pianificati tra il 2026 ed il 2033, i due reattori sfrutteranno tecnologia americana. Il secondo impianto, anch'esso composta da due reattori usufruita, invece, di tecnologia coreana.

Romania

In Romania sono attualmente attivi 2 reattori nucleari, che con una produzione di energia elettrica pari a 10,4 TWh ricoprono il 18% del fabbisogno nazionale di elettricità. È prevista la costruzione di altre 2 centrali nucleari per una potenza di 1440 Mwe ed è prevista la realizzazione di un ulteriore reattore da 720 Mwe.⁵³ Come altri Paesi dell'Europa centro-orientale anche la Romania punta fortemente sull'energia nucleare per il proprio futuro.

Slovacchia

In Slovacchia sono attualmente attivi 4 reattori nucleari, che con una produzione di energia elettrica pari a 14,6 TWh ricoprono il 52% del fabbisogno nazionale di elettricità. Sono attualmente in costruzione 2 centrali nucleari per una potenza totale di 942 Mwe netti ed è stata proposta la realizzazione di un ulteriore impianto da 1200 Mwe netti.⁵⁴ Ad agosto 2022 la centrale di Mochcove ha ottenuto l'autorizzazione di attivare il suo terzo reattore che inizierà a produrre elettricità dopo un periodo di test.⁵⁵

Slovenia

In Slovenia è attualmente attivo 1 reattore nucleare, che con una produzione di energia elettrica pari a 5,4 TWh ricopre il 36,9% del fabbisogno nazionale di elettricità. Il governo sloveno ha proposto la costruzione di un secondo reattore da 1200 Mwe netti.⁵⁶ La centrale di Krško viene gestita insieme in maniera congiunta con la Croazia, come reminiscenza del periodo jugoslavo durante il quale venne costruita. L'impianto è, anche, l'unico a livello europeo situato in territorio a medio-alto rischio sismico, ma anche durante il forte sisma che ha colpito la Croazia nel 2020 non ha subito danni,

⁵² *Nuclear Power in the European Union*, October 2022, <https://www.world-nuclear.org/>

⁵³ Vedi nota 52

⁵⁴ Vedi nota 52

⁵⁵ REUTERS, *New Slovak nuclear plant moves closer to launch*, 24/10/2022, <https://www.reuters.com/>

⁵⁶ Vedi nota 52

seppur la produzione venne fermata per precauzione.⁵⁷ La Slovenia è uno degli Stati europei che è più convinto della bontà dell'energia nucleare.

Spagna

In Spagna sono attualmente attivi 7 reattori nucleari, che con una produzione di energia elettrica pari a 54,2 TWh ricoprono il 21% del fabbisogno nazionale di elettricità.⁵⁸ Come in altri Paesi europei, anche lo Stato iberico ha previsto un piano di *decommissioning* che dovrebbe portare alla chiusura di tutte le centrali nucleari tra il 2027 ed il 2035.⁵⁹ La Spagna si è, inoltre, dichiarata contraria all'ingresso dell'energia nucleare nella “tassonomia verde” europea.

Svezia

In Svezia sono attualmente attivi 6 reattori nucleari, che con una produzione di energia elettrica pari a 51,4 TWh ricoprono il 31% del fabbisogno nazionale di elettricità.⁶⁰ Proprio ad inizio 2023 il governo svedese ha avviato una revisione della legge sul nucleare per rendere possibile la costruzione di nuovi reattori nucleari. Secondo un sondaggio il 59% degli svedesi è favorevole all'ampliamento del proprio parco nucleare.⁶¹

1.4 Analisi degli Stati europei che non sfruttano l'energia nucleare

Austria

Nel 1978, tramite un referendum, l'Austria decise di non attivare la prima ed unica centrale nucleare costruita sul proprio territorio. Il governo austriaco, con il supporto di gran parte delle forze politiche del Paese, è, inoltre, uno degli Stati che più si è opposto all'ingresso dell'energia nucleare e del gas naturale nella “tassonomia verde” europea, addirittura arrivando a proporre insieme al Lussemburgo di chiedere alla

⁵⁷ IAEA, *IAEA Informed by Slovenian Authority that Krško Nuclear Power Plant in Safe Shutdown Following Earthquake*, 29/12/2020 <https://www.iaea.org/>

⁵⁸ *Nuclear Power in the European Union*, Ottobre 2022, <https://www.world-nuclear.org/>

⁵⁹ REUTERS, *Spain plans to close all nuclear plants by 2035*, 13/02/2019, <https://www.reuters.com/>

⁶⁰ Vedi nota 58

⁶¹ ANSA, *Crisi energia, la Svezia punta sul nucleare*, 12/01/2023, <https://www.ansa.it/>

Corte di Giustizia dell'Unione europea di eliminare queste due fonti dalla "tassonomia verde".

Cipro

Le acque che circondano l'isola del Mediterraneo sono ricche di gas naturale e di petrolio ed è, soprattutto per questo motivo, che lo Stato cipriota è al centro di forti tensioni politiche, energetiche e militari tra la Turchia e gli alleati europei ed occidentali del Paese isolano.

Croazia

Non sono presenti reattori nucleari sul territorio croato ma l'impianto situato a Krško, in Slovenia, fu costruito come joint venture dai due Stati, all'epoca membri della Jugoslavia, nel 1983. Dal 2002 la gestione della centrale nucleare è congiunta tra i due Paesi ed è prevista la realizzazione di un nuovo reattore. Circa un quinto dell'energia elettrica utilizzata in Croazia è prodotto da questo impianto.

Danimarca

Lo Stato danese è spesso considerato come uno degli Stati più green al mondo ed infatti le fonti rinnovabili, in particolare l'energia eolica, rappresentano rispettivamente il 50% ed il 76% dell'*energy* e dell'*electricity mix* del Paese.⁶²

Estonia

L'economia dello Stato baltico è quella con la maggior intensità di carbonio nell'Unione europea, il 57% del suo mix energetico deriva, infatti, dal carbone e dai suoi derivati.⁶³ Sono, inoltre, sfruttate fortemente le sabbie bituminose per produrre petrolio, un procedimento fortemente impattante a livello ambientale. Per contrastare questa criticità l'Estonia sta pianificando la costruzione di un reattore nucleare modulare di piccola taglia (SMR) che dovrebbe diventare operativo in circa dieci anni e lo Stato baltico si andrebbe ad aggiungere ai Paesi europei produttori di energia nucleare.⁶⁴

⁶² *Denmark Energy Snapshot*, Commissione UE, 18/10/2022

⁶³ *Estonia Energy Snapshot*, Commissione UE, 18/10/2022

⁶⁴ PEEKA VANTTINEN, *Estonia plans to build Europe's first small scale nuclear reactor*, 11/02/2021, <https://www.euractiv.com/>

Grecia

Attualmente lo Stato ellenico sta negoziando con la Bulgaria per la costruzione di una centrale nucleare congiunta sul territorio bulgaro. Attualmente le trattative sono rallentate dalla mancata intesa sull'attribuzione delle responsabilità in caso di incidente.⁶⁵

Irlanda

Dal 2012 la rete elettrica irlandese è connessa a quella britannica e, dunque, una parte consistente dell'energia elettrica consumata in Irlanda viene prodotta dalle centrali nucleari inglesi.

Italia

La situazione italiana verrà trattata in maniera approfondita nel seguente paragrafo.

Lettonia

Anche lo Stato lettone punta fortemente sulle fonti rinnovabili tanto che esse ricoprono rispettivamente il 37% ed il 64% di *energy* ed *electricity mix*, risultando le fonti più importanti in entrambi i casi.⁶⁶

Lussemburgo

L'*electricity mix* del Lussemburgo è composto al 92% dalle fonti rinnovabili mentre l'*energy mix* fa affidamento sul petrolio e sui suoi derivati per il 51%.⁶⁷

Il governo lussemburghese è fortemente restio allo sfruttamento dell'energia nucleare tanto da minacciare, insieme al governo austriaco, di voler ricorrere alla Corte di Giustizia dell'Unione europea per far eliminare il nucleare ed il gas naturale dalla "tassonomia verde" comunitaria.

Malta

La produzione energetica dello Stato maltese dipende praticamente al 100% dall'importazione di gas naturale e del petrolio e dei suoi derivati. Le fonti rinnovabili,

⁶⁵ EMILIYA MILCHEVA – KRASEN NIKOLOV – YORGOS ALIMONOV, *Bulgaria and Greece advance nuclear project talks*, 12/04/2022 <https://www.euractiv.com/>

⁶⁶ *Estonia Energy Snapshot 2022*, Commissione UE, 18/10/2022

⁶⁷ *Luxembourg Energy Snapshot 2022*, Commissione UE, 18/10/2022

inoltre, non sono particolarmente sviluppate coprendo intorno al 10% sia dell'*energy* che del *electricity mix* del Paese.⁶⁸

Portogallo

A partire dal 1971 e fino al 1995 il Portogallo pianificò la costruzione di una centrale nucleare ma i piani non andarono in porto e nel 2004 il governo portoghese ribadì la contrarietà allo sfruttamento del nucleare. Oggi le fonti rinnovabili sono fortemente sviluppate ricoprendo rispettivamente il 41% ed il 61% di *energy* ed *electricity mix*.⁶⁹

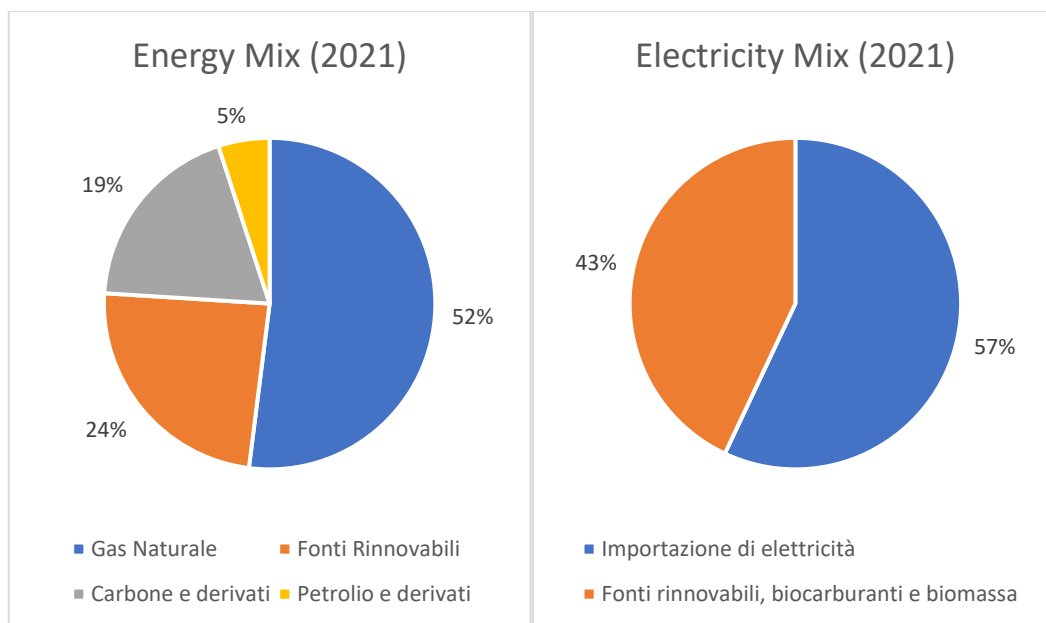
⁶⁸ *Malta Energy Snapshot 2022*, Commissione UE, 18/10/2022

⁶⁹ *Portugal Energy Snapshot 2022*, Commissione UE, 18/10/2022

1.5 Focus sulla situazione italiana.

Attualmente l'Italia è uno dei 14 Stati europei che non sfruttano l'energia nucleare e non sono previsti piani concreti di sviluppare questa opzione nell'immediato futuro. Per analizzare la situazione energetica odierna dell'Italia occorre, innanzitutto, capire in che modo vengono prodotte sia l'energia che l'elettricità consumate sul territorio dello stivale, andando ad esaminare le fonti che compongono l'*energy mix* e l'*electricity mix* italiano.

Figura 1 – Energy Mix ed Electricity Mix italiani al 2021



Fonte: *Italy Energy Snapshot 2022*, Commissione UE, 18/10/2022

L'Italia è, dunque, uno dei maggiori importatori di energia elettrica al mondo. Arriva dall'estero, in particolare da Francia e Svizzera, il 6% del totale dell'energia elettrica utilizzata sul territorio italiano che viene prodotta tramite l'energia nucleare. Anche per questo motivo la crisi energetica del 2022 ha colpito duramente lo Stato italiano con il prezzo medio dell'energia elettrica all'ingrosso che è quasi quintuplicato tra la fine del 2021 e l'agosto del 2022, passando da circa 166 €/MWh a circa 654 €/MWh⁷⁰. I cittadini italiani, inoltre, sono tra gli abitanti europei che più spendono per

⁷⁰ *Energy Power Price Tracker*, Ember Climate, <https://ember-climate.org/>

l'elettricità. Il prezzo medio dei primi sei mesi del 2022 è, infatti, di 0,2998 €/kWh, che a livello europeo si piazza dietro solo a Irlanda, Grecia e Spagna.⁷¹

1.5.1 Storia dell'energia nucleare in Italia

Nella storia italiana, però, il nucleare ha giocato un ruolo molto più importante di quello che ricopre adesso, perché l'Italia è uno degli Stati europei che hanno smesso di produrre energia nucleare arrestando i propri reattori. Tra il 1963 ed il 1990 lo Stato italiano ha, infatti, generato energia elettrica sfruttando 4 centrali nucleari situate sul suo territorio. Fin dalla fine della Seconda guerra mondiale l'Italia si è impegnata a creare un programma nucleare nazionale: nel 1946 fu fondato a Milano il CISE (Centro Informazioni Studi ed Esperienze) ma questo primo tentativo trovò l'opposizione degli Stati Uniti d'America. Grazie all'*Atomic Energy Act* del 1946, infatti, limitarono l'utilizzo delle tecnologie nucleari ai Paesi nemici durante la guerra e con gli accordi di pace del 1947 negarono all'Italia la possibilità di creare un'industria per l'arricchimento del combustibile; il Piano Marshall, inoltre, non prevedeva lo stanziamento di fondi destinati all'implementazione del nucleare. Lo Stato italiano però non desistette e nel 1951 fu fondato l'INFN (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare) e nel 1952 il CNRN (Comitato Nazionale per le Ricerche Nucleari). Visti gli sforzi italiani gli Stati Uniti cambiarono politica e dal 1955 iniziarono a siglare vari accordi per la collaborazione sullo sviluppo di un programma nucleare nazionale, che si sarebbe concretizzato in pochi anni.⁷²

Infatti, i lavori di costruzione del primo impianto nucleare italiano iniziarono nel 1958. Situato a Latina entrò in funzione il 12 maggio del 1963. Il centro era costituito da un singolo reattore che poteva produrre un totale di 210 MW, che lo rese all'epoca il più potente d'Europa. La sua attività cessò nel 1987, a seguito del referendum sul nucleare. La centrale nucleare del Garigliano, situato a Sessa Aurunca in provincia di Caserta, fu il secondo impianto del genere costruito in Italia tra il 1959 ed il 1963. Prodotte energia elettrica tra il 1964 ed il 1982 per un totale di 12.5 miliardi di kWh.⁷³

⁷¹ *Energy Price Visualization Tool*, Eurostat, <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/home>

⁷² ENEA - Ente per le nuove tecnologie, l'energia e l'ambiente, <http://www.archividellascienza.org/it/>

⁷³ *Nuclear Power in Italy*, Luglio 2022, <https://www.world-nuclear.org/>

La centrale nucleare Enrico Fermi situata a Trino, in provincia di Vercelli, venne costruita tra il 1961 ed il 1964. La sua costruzione venne portata avanti da un consorzio misto di enti pubblici e privati, finanziata per più del 50% da fondi pubblici italiani e statunitensi. Rimase in funzione tra il 1964 ed il 1990 e con una potenza di 270 MW il suo unico reattore fu, al momento della sua accensione, il più potente al mondo.⁷⁴

L'ultimo sito nucleare edificato sul territorio italiano, tra il 1970 ed il 1978, è situato a Caorso, in provincia di Piacenza. La produzione commerciale di energia elettrica iniziò nel 1981, basandosi su un unico reattore da 820 MW che venne posto in arresto a freddo nel 1986 ed infine definitivamente spento nel 1990.⁷⁵

Lo sviluppo del piano nucleare italiano fu importante, al punto che nel 1966 l'Italia era il terzo produttore al mondo di energia nucleare dopo gli Stati Uniti d'America ed il Regno Unito.⁷⁶ Questa situazione, però, cambierà completamente perché a partire dall'inizio degli anni Ottanta la questione della sicurezza del mondo dell'energia nucleare divenne un tema preoccupante per l'opinione pubblica sia internazionale che italiana, soprattutto a seguito dei disastri di Three Mile Island, negli Stati Uniti d'America, del 1979 e in particolare di Černobyl', nell'attuale Ucraina che allora era parte dell'URSS, del 1986. Vennero dunque indetti dei referendum abrogativi, che si tennero tra l'otto ed il nove novembre 1987, e tre dei cinque quesiti riguardavano l'energia nucleare: il terzo, il quarto ed il quinto, riportati in seguito come espressi sulle schede sottoposte ai cittadini:⁷⁷

- Volete che venga abrogata la norma che consente al Cipe (Comitato interministeriale per la programmazione economica) di decidere sulla localizzazione delle centrali nel caso in cui gli enti locali non decidano entro tempi stabiliti? (la norma a cui si riferisce la domanda è quella riguardante "la procedura per la localizzazione delle centrali elettronucleari, la determinazione delle aree suscettibili di insediamento", previste dal 13° comma dell'articolo unico legge 10/1/1983 n.8)

⁷⁴ *Nuclear Power in Italy*, Luglio 2022, <https://www.world-nuclear.org/>

⁷⁵ Vedi nota 74

⁷⁶ ENEA - Ente per le nuove tecnologie, l'energia e l'ambiente, <http://www.archividellascienza.org/it/>

⁷⁷ Referendum abrogativi in Italia del 1987, https://it.wikipedia.org/wiki/Pagina_principale

- Volete che venga abrogato il compenso ai comuni che ospitano centrali nucleari o a carbone? (la norma a cui si riferisce la domanda è quella riguardante "l'erogazione di contributi a favore dei comuni e delle regioni sedi di centrali alimentate con combustibili diversi dagli idrocarburi", previsti dai commi 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12 della citata legge)
- Volete che venga abrogata la norma che consente all'Enel (Ente Nazionale Energia Elettrica) di partecipare ad accordi internazionali per la costruzione e la gestione di centrali nucleari all'estero? (questa norma è contenuta nella legge n. 856 del 1973, che modificava l'articolo 1 della legge istitutiva dell'Enel

I quesiti del referendum, dunque, non avrebbero proibito tassativamente la costruzione di nuove centrali e nemmeno avrebbero obbligato la chiusura dei reattori funzionanti ma dalle votazioni si sarebbe esplicitata, in maniera ufficiale, la posizione del popolo italiano verso l'energia atomica ed essa avrebbe, ovviamente, influenzato i piani politici presenti e futuri sull'energia nucleare. Circa il 65% degli italiani (indicativamente 30 mln di cittadini) si presentò alle urne e vinse il sì per ognuno dei tre quesiti, rispettivamente con l'80,57%, il 79,71% e il 71,86%.⁷⁸ Le ultime due centrali funzionanti (Trino e Caorso) vennero dunque definitivamente dismesse il 1° luglio 1990 e dal 1999 tutti i siti sono di proprietà e gestiti dalla società statale SOGIN (Società Gestione Impianti Nucleari) che si occupa del *decommissioning*, lo smantellamento degli impianti nucleari, e della gestione e messa in sicurezza dei rifiuti radioattivi prodotti da industria, ricerca e medicina nucleare.⁷⁹

Il dibattito politico sul nucleare, però, non si chiude con la chiusura delle ultime centrali e, in particolare, con il governo Berlusconi IV il dibattito sul possibile sfruttamento di questa risorsa si riaffaccia sulla scena politica nazionale. Per far fronte all'impennata dei prezzi di gas e petrolio avvenuta tra il 2005 e il 2008, l'allora ministro per lo sviluppo economico Claudio Scajola sviluppa un piano, supportato da ENEL, Francia e Stati Uniti d'America, per costruire dieci nuove centrali nucleari, che avrebbero prodotto circa il 25% del fabbisogno nazionale di energia elettrica.⁸⁰ Il

⁷⁸ Referendum abrogativi in Italia del 1987, https://it.wikipedia.org/wiki/Pagina_principale

⁷⁹ SOGIN, Sogin 1999-2019, 2019, <https://sogin.it/en>

⁸⁰ ILSOLE24ORE, Scajola, nucleare non solo con le centrali francesi, 19/03/2009, <https://www.ilsole24ore.com/>

progetto viene, ancora una volta, fermato da un referendum, proposto dal partito Italia dei Valori, che, ancora una volta, si svolge all'ombra di un altro disastro nucleare: quello di Fukushima Daiichi del 2011. Tra il 12 ed il 13 giugno dello stesso anno, gli elettori italiani vengono, dunque, chiamati al voto su quattro quesiti ed il terzo, il cui testo recita: "Volete voi che siano abrogati i commi 1 e 8 dell'articolo 5 del decreto-legge 31/03/2011 n.34 convertito con modificazioni dalla legge 26/05/2011 n.75?", proponeva l'abrogazione delle nuove norme che permettevano la produzione di energia elettrica nucleare sul territorio nazionale.⁸¹ Votarono circa il 54% degli italiani e vinse nettamente il sì con il 94% dei votanti, circa 25 milioni di voti.⁸²

Ciclicamente e a maggior ragione nel 2022, alla luce dell'impennata del prezzo del gas naturale seguito all'invasione dell'Ucraina da parte della Russia, la questione del nucleare torna ad occupare la scena politica italiana ma, come deducibile dai dati quasi plebiscitari dei vari referendum negli anni, i cittadini italiani sono sempre stati fortemente restii allo sfruttamento dell'energia nucleare e, anche oggi, questa tendenza non sembra cambiata.

Oltre alle centrali destinate alla produzione di energia elettrica sono esistiti ed esistono tuttora dei reattori di ricerca sparsi sul territorio nazionale. Negli anni Settanta queste strutture erano 18, oggi ne sono rimasti attivi solo 4:⁸³

- Pavia, gestito dall'Università di Pavia e attivo dal 1965
- Palermo, gestito dall'Università Di Palermo e attivo dal 1960
- Santa Maria di Galeria (Roma), gestito dall'ENEA (Ente Nazionale Energia Atomica), attivo tra il 1960 e il 1987 e riattivato nel 2010
- Santa Maria di Galeria (Roma), gestito dall'ENEA (Ente Nazionale Energia Atomica), attivo tra il 1971 e il 1987 e riattivato nel 2010

⁸¹ Referendum abrogativi in Italia del 2011, https://it.wikipedia.org/wiki/Pagina_principale

⁸² Vedi nota 81

⁸³ *Nuclear Power in Italy*, Luglio 2022, <https://www.world-nuclear.org/>

CAPITOLO SECONDO

Costi e benefici dell'energia nucleare

2.1 Lotta al cambiamento climatico e decarbonizzazione

La lotta al cambiamento climatico e la transizione ecologica rappresentano due temi fondamentali delle politiche europee e il raggiungimento o meno degli obiettivi che ci si è posti dipende, in maniera importante, dai provvedimenti che verranno presi in materia energetica. Questo impegno ha portato alla creazione del *Green Deal* europeo. Sviluppato rispettando gli impegni internazionali assunti nel quadro dell'accordo di Parigi del 2015, che prevede due obiettivi principali: la riduzione del 55% delle emissioni entro il 2030, rispetto ai livelli del 1990, e il raggiungimento della neutralità climatica¹ entro il 2050.²

La produzione di energia è, perciò, considerata il target primario per la lotta al cambiamento climatico in quanto il 75% delle emissioni di gas serra nell'Unione europea derivano dalla produzione e dal consumo di energia³ e rappresentano le fonti di emissione di CO² che più sono cresciute negli ultimi decenni.⁴

Lo sviluppo dell'energia nucleare rappresenta, a livello globale, uno delle risposte principali al cambiamento climatico tanto che la maggior parte degli Stati che stanno attualmente costruendo dei reattori nucleari esprimono tra le motivazioni principali che hanno portato alla realizzazione di questi progetti proprio la lotta al cambiamento climatico.⁵ Tra questi Paesi sono presenti anche la Finlandia, la Francia e la Slovacchia che sono gli Stati europei che stanno attualmente edificando centrali nucleari.⁶

¹ Per neutralità climatica si intende una situazione di equilibrio tra le emissioni di sostanze nocive di natura antropica (CO², gas serra...) e l'assorbimento delle stesse. Le emissioni nette di queste sostanze, dunque, sono pari a zero in una situazione di neutralità climatica

² *European Green Deal*, Consiglio dell'Unione europea, <https://www.consilium.europa.eu/en/>

³ Vedi nota 2

⁴ ANNA J. DAVIS, *The Role of Nuclear Energy in the Global Energy Transition*, 2022, *Oxford Institute for Energy Studies*

⁵ Vedi nota 4

⁶ Vedi nota 4

Per capire perché il nucleare rappresenta uno dei sistemi più efficaci per produrre energia verde⁷ bisogna partire dal concetto di *Carbon Intensity*. Con esso si intende la quantità di grammi di CO² emessi per KWh di elettricità prodotti dalle varie fonti di energia.⁸ Secondo questa statistica risulta che il nucleare sia la fonte, assieme all'eolico, che meno produce CO², con un quantitativo che varia tra i 15 e i 50 gCO²/KWh.⁹ Un dato statistico inferiore rispetto alle fonti che vengono solitamente considerate più *green*, come l'idroelettrico e il solare, che producono un quantitativo di emissioni tre volte più grande. Il dato diventa ancora più significativo se si effettua un confronto con i combustibili fossili. Se si tiene conto dell'intero ciclo produttivo delle varie centrali, infatti, il nucleare emette nell'atmosfera un quantitativo di CO² rispettivamente 100 e 50 volte inferiore rispetto al carbone e al gas naturale.¹⁰

Lo sfruttamento delle centrali nucleari, inoltre, produce gas serra solo in maniera indiretta, come l'energia solare ed eolica.¹¹ Per emissioni indirette si intendono quelle sostanze inquinanti che non vengono prodotte durante l'effettivo processo di generazione di energia ma durante altre fasi del ciclo vitale delle centrali. Per quanto riguarda il nucleare esse sono date dalla costruzione dei siti, in particolare per il reperimento di materiali altamente inquinanti come il cemento e l'acciaio, e dall'estrazione e l'arricchimento dell'uranio.¹² Tra le caratteristiche di questa fonte di energia che contribuiscono ad abbassare la sua *Carbon Intensity* risulta particolarmente importante il ciclo produttivo molto più lungo dei reattori nucleari rispetto ad altre fonti rinnovabili. Il ciclo vitale medio degli impianti eolici e solari, infatti, si attesta tra i 20 ed i 25 anni mentre un reattore nucleare può rimanere in funzione per 60 o addirittura 80 anni, se sottoposto a lavori di estensione della durata produttiva.¹³

⁷ Energia che deriva da fonti energetiche a basso tasso di emissioni inquinanti, in particolare di gas serra

⁸ ANNA J. DAVIS, *The Role of Nuclear Energy in the Global Energy Transition, 2022, Oxford Institute for Energy Studies*

⁹ Vedi nota 8

¹⁰ GEORGE DAVID BANKS, *The Impact of Merging Climate and Trade Policy on Global Demand for Nuclear Energy, 2022, Atlantic Council*

¹¹ Vedi nota 8

¹² Vedi nota 8

¹³ Questi lavori sono generalmente competitivi dal punto di vista economico rispetto ad altre fonti di energia rinnovabile, come l'eolico o il solare

Secondo una recente stima sarebbe circa 60 gigatons¹⁴ la quantità di emissioni inquinanti non prodotte grazie allo sfruttamento dell'energia nucleare negli ultimi 50 anni, che corrispondono a circa due anni totali di inquinamento prodotto dall'intera umanità.¹⁵ In Germania, dove dal 2011¹⁶ è in atto un piano di *decommissioning* delle centrali nucleari, si producono ogni anno 36,3 t¹⁷ di CO² in più, che ammontano a circa il 13% delle emissioni totali.

Un ultimo aspetto positivo è dato dal fatto che le centrali nucleari occupano molto meno terreno rispetto ad altre fonti rinnovabili. Un reattore, infatti, occupa circa 12 acri per ogni MW di energia generato mentre il solare e l'eolico hanno bisogno rispettivamente di 43,5 e 70,6 acri per produrre la stessa quantità di elettricità.¹⁸ Da questo punto di vista, dunque, l'energia nucleare ha un impatto meno importante sulla flora e sulla fauna presente nell'ecosistema che circonda il sito della centrale. Il confronto diventa ancora più impietoso se si rapporta all'energia idroelettrica che, tramite la costruzione di dighe e bacini naturali, distrugge interi ecosistemi ittici. L'energia nucleare, per questo motivo, risulta particolarmente adatta a quegli Stati che non hanno a disposizione grandi quantità di terreno edificabile e/o che presentano una densità di popolazione particolarmente elevata.

2.2 Sicurezza ed indipendenza energetica

Per affrontare questo tema bisogna, innanzitutto, dare una definizione di sicurezza energetica, che può essere intesa in più di una maniera. Generalmente si intende la presenza di una scarsa vulnerabilità dei sistemi energetici vitali.¹⁹ Questo significato è fortemente legato alla natura fisica del sistema energetico e, infatti, si basa sulla stabilità e sul corretto funzionamento della rete elettrica e sulla sicurezza delle centrali

¹⁴ 1 miliardo di tonnellate, da non confondere con gigatone (Gt) che corrisponde alla quantità di energia sprigionata da 1 miliardo di tonnellate di tritolo e viene usato, per esempio, per misurare l'energia scaturita dalle esplosioni nucleari

¹⁵ GEORGE DAVID BANKS, *The Impact of Merging Climate and Trade Policy on Global Demand for Nuclear Energy*, 2022, Atlantic Council

¹⁶ BORIS BRENEBACH, *Decommissioning of Nuclear Facilities: Germany's Experience*, 2016, IAEA

¹⁷ tonnellate

¹⁸ Vedi nota 15

¹⁹ ANNA J. DAVIS, *The Role of Nuclear Energy in the Global Energy Transition*, 2022, Oxford Institute for Energy Studies

e delle fonti di energia, anche e soprattutto durante periodi di crisi, di guerre o di catastrofi naturali.²⁰ Con sicurezza energetica si può intendere, anche, la capacità che uno Stato ha di definire autonomamente la propria produzione energetica e, dunque, di non dipendere in maniera compromettente da altri Paesi per rispondere al proprio fabbisogno di energia. Infine, l'ex presidente dell'IEA (*International Energy Agency*) Maria van der Hoeven ha caratterizzato la sicurezza energetica tramite una visione più commerciale definendola la presenza di una sicurezza di domanda per i Paesi esportatori di energia e la presenza di una sicurezza dell'offerta per gli Stati importatori di elettricità. Secondo questa definizione si ha una situazione di sicurezza energetica nel momento in cui è presente un equilibrio tra la domanda e l'offerta dell'energia a livello globale. Questo tema può, dunque, essere affrontato seguendo diverse strade e l'energia nucleare presenta delle caratteristiche positive e dei vantaggi per ognuna di esse.

Un ulteriore aspetto da tenere a mente durante questa analisi è che la Commissione europea ha classificato il nucleare come una fonte energetica indigena,²¹ anche se il combustibile più utilizzato, l'uranio, è scarsamente presente sul territorio europeo e viene, dunque, quasi totalmente importato.²² Questo è possibile perché, a differenza di altre fonti importate, è possibile stoccare grandi riserve di uranio al punto da non dover più fare affidamento sulle importazioni nel breve periodo. Secondo il report annuale del 2021 dell'ESA, infatti, sarebbe già immagazzinata sul territorio europeo una quantità tale di uranio da poter mantenere in funzione tutti i reattori nucleari per almeno i prossimi tre anni.²³ L'industria europea è, inoltre, una dei principali leader nel settore dell'arricchimento e del riprocessamento dell'uranio e, dunque, una fetta importante di questa filiera è elaborata direttamente sul territorio dell'Unione europea.²⁴ È particolarmente importante in questo senso il ruolo della multinazionale

²⁰ ANNA J. DAVIS, *The Role of Nuclear Energy in the Global Energy Transition*, 2022, *Oxford Institute for Energy Studies*

²¹ Con indigena si intende una fonte energetica il cui processo produttivo può essere svolto interamente nel territorio UE. Il nucleare è considerato tale in quanto è possibile stoccare grandi quantità di Uranio

²² *Nuclear Power in the European Union*, Ottobre 2022, <https://www.world-nuclear.org/>

²³ *EURATOM Supply Agency Annual Report 2021*, ESA, 2021

²⁴ Vedi nota 22

francese Orano, che tratta la fetta più importante dell'uranio destinato alle centrali europee.²⁵

Nella seguente tabella verranno, quindi, presentate le caratteristiche principali che permettono all'energia nucleare di rafforzare la stabilità e la sicurezza della fornitura energetica di un Paese.

Tabella 3: Principali caratteristiche dell'energia nucleare che aiutano a rafforzare la stabilità e la sicurezza energetica di un Paese

Affidabilità	I reattori nucleari producono energia sempre al massimo delle loro capacità ed è possibile prevedere la quantità di elettricità generata. ²⁶
Ciclo produttivo lungo	Il ciclo produttivo di una centrale nucleare si attesta generalmente sui 60 anni.
Densità energetica dell'uranio	L'uranio è una fonte di energia fortemente concentrata. Bastano, infatti, 30 t di carburante per alimentare una centrale da 1 GW un anno. ²⁷
Disponibilità geografica dell'uranio	L'uranio è relativamente abbondante in natura e le sue riserve sono sparse in diversi Stati del mondo. ²⁸
Prevedibilità dei costi	Visto lo scarso impatto del costo dell'uranio è facilmente prevedibile il costo dell'energia generata nel ciclo vitale del reattore.
Resistenza delle infrastrutture	Le centrali nucleari sono costruite per resistere a condizioni climatiche estreme. ²⁹
Generazione di calore	Le centrali nucleari rappresentano l'unica fonte a bassa intensità carbonica utilizzabile per generare calore per uso industriale. ³⁰

²⁵ *Nuclear Power in the European Union*, Ottobre 2022, <https://www.world-nuclear.org/>

²⁶ A differenza dell'energia eolica e solare, ma anche per l'idroelettrico che sarà sempre più influenzato dai periodi di siccità sempre più importanti causati dal cambiamento climatico

²⁷ Per produrre la stessa quantità di energia servirebbero tre milioni di tonnellate di carbone

²⁸ *EURATOM Supply Agency Annual Report 2021*, ESA, 2021

²⁹ *Nuclear Power and Energy Security*, Novembre 2022, <https://www.world-nuclear.org/>

³⁰ Vedi nota 29

Le centrali nucleari ucraine, che sono rimaste funzionanti dall'inizio dell'invasione russa, sono un'ulteriore conferma del fatto che i reattori possano rimanere operativi anche in periodo di grossa difficoltà, in questo caso di guerra, proprio grazie alle caratteristiche elencate sopra.³¹ L'ormai tristemente famosa centrale ucraina ora controllata dalle forze militari russe di Zaporizhzhia, il più grande sito di questo tipo in Europa che nella giornata del 4 marzo 2022 fu colpito dall'artiglieria russa senza però subire danni tali da causare la fuoriuscita di sostanze radioattive, rappresenta un esempio quanto siano resistenti queste infrastrutture.³²

Un ulteriore aspetto favorevole è che le centrali nucleari possono essere edificate praticamente ovunque. Esse, come specificato in precedenza, non hanno bisogno di spazi enormi e non devono essere costruite in luoghi precisi, per poterne sfruttare caratteristiche meteorologiche o morfologiche. L'unico requisito è l'accesso a grandi quantità d'acqua per il processo di raffreddamento.

2.3 Vantaggi economici dell'energia nucleare

Innanzitutto, occorre iniziare specificando che il nucleare rappresenta una delle fonti energetiche più economicamente vantaggiose, soprattutto se comparato alle altre fonti *green*. Una comparazione più approfondita sarà effettuata nel successivo paragrafo 2.5.3, sfruttando principalmente l'utilizzo dell'indicatore LCOE (*Levelized Cost Of Electricity*). Ma i vantaggi di natura economica non sono limitati semplicemente alla produzione meno costosa dell'elettricità ma derivano, anche, da altri aspetti del mercato dell'energia e da alcune caratteristiche tipiche dell'energia nucleare.

Il mondo dell'atomico, infatti, rappresenta un business molto redditizio per i Paesi che ne sanno sfruttare le potenzialità. Ovviamente lo sviluppo di una florida industria nucleare dipende da quanto l'organo statale sia impegnato e propenso ad investire sul settore soprattutto perché il governo, nella gran parte degli esempi a livello globale e in maniera ancora più influente a livello europeo, ha il ruolo di essere il principale

³¹ ANNA J. DAVIS, *The Role of Nuclear Energy in the Global Energy Transition*, 2022, *Oxford Institute for Energy Studies*

³² MATTHEW ROSCOE, *No change in radiation levels at Zaporizhzhia despite new "Chernobyl" claims from Ukraine President Zelensky*, 04/03/2022, <https://euroweeklynews.com/>

regolatore di questo mercato. Sono, dunque, molteplici le forme attraverso cui il mondo del nucleare produce ricchezza.

Il primo esempio è, indubbiamente, quello più lampante ed è legato alla vendita diretta di elettricità. Questo modello economico risulta particolarmente redditizio perché gli Stati importatori di energia elettrica sono attratti dall'elettricità generata tramite il nucleare in quanto essa è generalmente più economicamente conveniente rispetto a quella prodotta da altre fonti.³³ La Francia ne rappresenta l'esempio più lampante in quanto essa risulta il più importante esportatore di elettricità prodotta sfruttando il nucleare al mondo, con un fatturato di circa tre miliardi di euro ogni anno. Questa ricchezza è riconducibile prevalentemente agli accordi commerciali stipulati con altri tre Paesi del vecchio continente: l'Italia, la Germania e il Regno Unito.³⁴ L'azienda francese EDF³⁵ rappresenta il più grande produttore di energia nucleare al mondo³⁶ e nel 2021 ha prodotto circa 419,5 TWh³⁷ di energia nucleare, di cui una parte importante è stata venduta a Paesi terzi. Lo Stato transalpino non è l'unico caso a livello europeo, infatti, anche la Slovacchia sta procedendo con la costruzione di nuovi reattori con l'obiettivo dichiarato di aumentare la quantità di elettricità vendibile agli altri Paesi europei e la stessa Ucraina, ovviamente prima dello scoppio della guerra, puntava a espandere i propri rapporti commerciali nucleari con l'Unione Europea.³⁸

Un secondo aspetto è, invece, legato all'esportazione di tecnologie, in particolare progetti di reattori ma anche processi legati a tutta la filiera del nucleare. La costruzione di reattori sul proprio territorio diventa, dunque, sia un metodo di produrre energia sia un mezzo di promozione del proprio *know-how*. I più importanti esportatori di tecnologia nucleare sono, infatti, Stati che puntano fortemente sull'atomico per soddisfare il proprio fabbisogno di energia come gli Stati Uniti, la Russia, la Corea del Sud e la stessa Francia. Inoltre, questo tipo di tecnologia non viene sfruttato solo per la produzione di elettricità ma anche in altri campi, in particolare per l'industria e la

³³ ANNA J. DAVIS, *The Role of Nuclear Energy in the Global Energy Transition*, 2022, *Oxford Institute for Energy Studies*

³⁴ *Nuclear Power in France*, Gennaio 2023, <https://www.world-nuclear.org/>

³⁵ Acronimo di Électricité de France S.A.

³⁶ Dato aggiornato al marzo del 2022

³⁷ EDF PRESS RELEASE, *2021 annual results*, 02/18/2022

³⁸ Vedi nota 33

medicina, e le grandi aziende che operano in questi settori sono, nella maggior parte dei casi, localizzate in Paesi favorevoli allo sfruttamento dell'energia nucleare.³⁹

Un ulteriore aspetto economico importante è legato ai molteplici posti di lavoro che la costruzione e il funzionamento di una centrale nucleare creano. In una centrale da 580 MWe, infatti, vengono impiegati normalmente circa 700 lavoratori a cui si vanno ad aggiungere altrettante persone durante i periodici⁴⁰ lavori di rifornimento e di manutenzione del nocciolo.⁴¹

2.4 Aspetti geopolitici e legati alle relazioni internazionali

2.4.1 Conflitti ed energia

Come confermato dagli eventi del 2022, viviamo in un mondo in cui l'energia e l'approvvigionamento di combustibili fossili e materie prime vengono sempre più spesso utilizzati come strumenti politici e come vere e proprie "armi" dai vari Stati per raggiungere i propri obiettivi di politica internazionale. Il taglio alle esportazioni di gas naturale indetto da Mosca in risposta alle sanzioni europee per la guerra in Ucraina è solo l'ultimo esempio di azioni di questo tipo riscontrabili negli ultimi decenni. Già in altre due occasioni, nel 2006 e nel 2009, il mancato accordo sul prezzo del gas tra il governo russo e quello di Kiev aveva portato alla chiusura parziale dei gasdotti e aveva colpito in maniera indiretta anche le economie europee, già provate nel secondo caso dalla crisi economica iniziata nel 2008.⁴² Andando più indietro nella storia, invece, l'esempio più lampante è senza ombra di dubbio quello legato alla crisi energetica del 1973. Anche in quel caso la crisi energetica ha le sue radici nello scoppio di un conflitto armato: la guerra dello Yom Kippur, combattuta tra la coalizione di Egitto e Siria ed Israele. Gli Stati appartenenti all'OPEC (*Organization of the Petroleum Exporting Countries*) supportarono la causa dei due Paesi arabi tagliando fortemente la

³⁹ *The Many Uses of Nuclear Technology*, Maggio 2021, <https://www.world-nuclear.org/>

⁴⁰ Questo tipo di lavoro viene svolto, indicativamente, ogni due anni

⁴¹ *Nuclear Power Economics*, Agosto 2022, <https://www.world-nuclear.org/>

⁴² Repubblica, Guerra del gas tra Russia e Ucraina. Il contenzioso dal 2006 a oggi, 06/01/2009, <https://www.repubblica.it/>

produzione e, dunque, aumentando fortemente il prezzo del petrolio e, inoltre, istituendo un embargo verso Stati Uniti d'America e Paesi Bassi, colpendo così l'economia degli Stati occidentali filoisraeliani. Questa crisi portò alla fine del periodo di grande sviluppo economico che aveva caratterizzato l'Occidente negli anni Cinquanta e Sessanta e diede l'inizio ad una importante trasformazione del sistema energetico europeo, che tra le altre cose portò allo sviluppo della tecnologia atomica; mentre negli Stati Uniti d'America si puntò sullo sviluppo di una tecnologia che potesse sfruttare i giacimenti americani di *shale oil*. Lo sfruttamento dell'energia nucleare può, dunque, contribuire alla diversificazione delle fonti di approvvigionamento di un Paese, riducendo la dipendenza da singole fonti di energia con la conseguenza di aumentare la sicurezza energetica e ridurre il rischio di interruzioni dell'approvvigionamento durante periodi di crisi o di instabilità nelle relazioni con tra Stati.

2.4.2 Implicazioni a livello di relazioni internazionali

Il commercio del nucleare, soprattutto se relativo alla vendita di progetti di reattori, spinge all'allacciamento di rapporti diplomatici e istituzionali tra gli Stati. Questo perché la trattazione non avviene solo con l'azienda che mette a disposizione la tecnologia nucleare ma anche con il Paese di appartenenza della suddetta. Questo perché aspetti giuridici, politici e strategici diventano fondamentali nella stipulazione di contratti di una portata particolarmente importante sia dal punto di vista temporale che da quello economico. La scelta di una determinata azienda dipende, dunque, anche da quanta fiducia si riponga nelle istituzioni del Paese di appartenenza di quest'ultima. Un esempio lampante, sotto questo punto di vista, è la scelta della Repubblica Ceca di escludere la multinazionale russa Rosatom⁴³ dal bando per l'ampliamento della centrale di Dukovany nel 2021.⁴⁴ Questa scelta è stata dettata dal sospetto che l'intelligence russa fosse responsabile dell'esplosione di un deposito di munizioni ceche avvenuto nel 2014.⁴⁵ Anche la cinese CGN (*China General Nuclear Power*

⁴³ Rosatom è una partecipata russa, dunque, il rapporto con il governo di Mosca diventa ancora più importante.

⁴⁴ JASON HOVET, *Czechs exclude Rosatom from nuclear tender after dispute with Russia*, 19/04/2021, <https://www.reuters.com/>

⁴⁵ Vedi nota 44

Group) fu estromessa dallo stesso bando proprio a causa degli scarsi rapporti con il governo di Pechino.⁴⁶ Avere una buona reputazione a livello internazionale e dei buoni rapporti con gli Stati importatori può portare allo sviluppo dell'economia nazionale e ad una cooperazione sempre più intrinseca con i Paesi compratori, che partendo dal tema del nucleare spesso si espande anche ad altri campi portando benefici sia all'uno che all'altro.

Allo stesso tempo il suo utilizzo, sviluppo e commercio possono rappresentare mezzi importanti per stringere accordi internazionali e creare sistemi di cooperazione a livello globale. Sono, infatti, molteplici le organizzazioni internazionali nate per affrontare il tema dell'energia nucleare. I primi due esempi risalgono al 1957, quando furono fondate l'EURATOM, a livello delle allora Comunità europee, e l'IAEA, a livello dell'ONU (Organizzazione delle Nazioni Unite). Entrambe queste organizzazioni si ponevano come obiettivo quello di promuovere l'utilizzo del nucleare in materia civile, sviluppare la tecnologia tramite scambi di conoscenze tra gli Stati e prevenire il proliferare delle armi atomiche.⁴⁷ L'ultimo esempio dal punto di vista cronologico, invece, è la nascita dell' IFNEC (*International Framework for Nuclear Energy Cooperation*) nato nel 2010 come successore del GNEP (*Global Nuclear Energy Partnership*).⁴⁸ Questa organizzazione fortemente voluta dagli Stati Uniti d'America comprende ora 33 nazioni e altri 31 Stati osservatori, tra i quali tutti i Paesi che più puntano sul nucleare tranne la Russia.⁴⁹ L'obiettivo è ancora una volta quello di aumentare lo sviluppo e la cooperazione tra le industrie nazionali, lavorando su due temi principali: il riciclo dei carburanti radioattivi⁵⁰ e l'espansione del nucleare verso i Paesi in via di sviluppo. Oltre alle organizzazioni sopracitate, negli anni sono state create più sistemi di cooperazione, sia a livello regionale che a livello globale, tra gli Stati ma anche tra le aziende del settore. Questo non può essere che un aspetto positivo un tema cruciale come l'energia ed il nucleare deve essere affrontato in

⁴⁶ JASON HOVET, *Czechs exclude Rosatom from nuclear tender after dispute with Russia*, 19/04/2021, <https://www.reuters.com/>

⁴⁷ Versione consolidata del trattato che istituisce la comunità europea dell'energia atomica, 26/10/2012, Gazzetta ufficiale dell'Unione europea

⁴⁸ IFNEC brochure 2022, IFNEC, https://www.ifnec.org/ifnec/jcms/i_6/home

⁴⁹ Vedi nota 48

⁵⁰ Quando si parla di carburanti radioattivi o nucleari ci si riferisce, principalmente, a uranio e plutonio

maniera multilaterale e la cooperazione può influenzare nuovi Stati a puntare su questa fonte.

2.5 Principali svantaggi dell'energia nucleare

Ovviamente, come ogni altra fonte energetica rinnovabile o meno, anche il nucleare ha degli aspetti negativi che sono spesso ingigantiti nella concezione generale dell'opinione pubblica. Questo fa sì che il pubblico generalista sia, generalmente, abbastanza diffidente nei confronti di questa fonte e che si opponga al suo utilizzo e sviluppo. Questo paragrafo, dunque, presenterà queste problematiche ma allo stesso tempo cercherà di analizzare perché esse siano meno impattanti di quanto si possa credere. Gli svantaggi analizzati saranno, quindi, i tre considerati più rilevanti: la gestione delle scorie radioattive, la pericolosità degli incidenti nucleari e il costo della progettazione e della costruzione delle centrali nucleari.

2.5.1 Gestione dei rifiuti radioattivi

Per analizzare questo tema bisogna, innanzitutto, effettuare una distinzione tra i vari tipi di rifiuti radioattivi prodotti da una centrale nucleare. Essi vengono suddivisi in tre categorie, in base alla loro pericolosità:⁵¹

- *High Level Waste (HLW)*
- *Intermediate Level Waste (ILW)*
- *Low Level Waste (LLW)*

Quelli ad alto rischio ammontano all'3% dei rifiuti totali ma contengono circa il 95% delle radiazioni totali.⁵² Questi scarti sono composti principalmente dal carburante radioattivo usato. I rifiuti a rischio intermedio, invece, sono, generalmente, componenti e filtri del reattore, sono il 7% del totale e contengono il 4% delle radiazioni.⁵³ Il 90% delle scorie invece sono caratterizzate da un livello di pericolo basso in quanto trasportano solo l'1% della radioattività totale.⁵⁴ Fanno parte di questa categoria gli utensili e l'abbigliamento da lavoro utilizzati all'interno della centrale.

⁵¹ *Radioactive Waste Management*, Gennaio 2022, <https://www.world-nuclear.org/>

⁵² Vedi nota 51

⁵³ Vedi nota 51

⁵⁴ Vedi nota 51

La gestione degli HLW rappresenta, ovviamente, la problematica più importante. Bisogna considerare che la quantità di rifiuti potenzialmente pericolosi prodotta da un sito nucleare, però, è molto bassa. Un reattore da 1000 MW, che può fornire energia ad 1 milione di persone, produce solo 3 m³ di scorie radioattive ad alto rischio, se il carburante viene adeguatamente riciclato.⁵⁵ È, infatti, possibile riciclare circa il 97% del carburante esausto, principalmente composto da uranio che può essere riarricchito e riutilizzato in appositi reattori.⁵⁶ I rifiuti restanti vengono, dopo un adeguato periodo di raffreddamento che avviene in loco alla centrale, trasportati e immagazzinati in adeguati *geological repository*, cioè magazzini ad alta sicurezza scavati nella roccia, dove dopo circa 40/50 anni perdono il 99% delle radiazioni.⁵⁷ Secondo il report dell'IAEA ammontano attualmente a 29.000 m³ le scorie radioattive ad alto rischio conservate nell'intero pianeta dai Paesi membri dell'organizzazione internazionale.⁵⁸

Il costo della gestione e dello smaltimento di questi rifiuti, che a differenza degli scarti prodotti da altre fonti di energia è a carico dei gestori della centrale nucleare, ammonta a circa il 10% delle spese totali di gestione di un reattore.⁵⁹ Bisogna, inoltre, ricordare che anche altri settori dell'economia nazionale producono scarti radioattivi come l'industria, la medicina e la ricerca e, nella maggior parte dei casi, questi rifiuti vengono trattati negli stessi centri.

2.5.2 Pericolosità degli incidenti nucleari

Gli incidenti nucleari sono, probabilmente, ciò che più spaventa l'opinione pubblica per quanto riguarda l'utilizzo di questo tipo di energia. Proprio perché eventi di questo genere possono risultare catastrofici e fortemente impattanti sull'uomo e sulla natura, la sicurezza degli impianti nucleari è fondamentale ed è sempre stato un punto cardine nella costruzione di queste infrastrutture. Ed è per questo che nei 60 anni di utilizzo di questa fonte, con 18.500 reattori costruiti in 36 Paesi, sono solo due gli incidenti gravi registrati.⁶⁰

⁵⁵ *Radioactive Waste Management*, Gennaio 2022, <https://www.world-nuclear.org/>

⁵⁶ *Storage and Disposal of Radioactive Waste*, Gennaio 2023, <https://www.world-nuclear.org/>

⁵⁷ Vedi nota 55

⁵⁸ IAEA, *Status and Trends in Spent Fuel and Radioactive Waste Management*, 2022

⁵⁹ Vedi nota 55

⁶⁰ Vedi nota 56

Il primo in ordine cronologico, e quello più tragico, è il disastro di Chernobyl. Nell'aprile del 1986, in Ucraina che all'epoca era parte dell'Unione Sovietica, l'esplosione del reattore numero 4 causa la morte immediata di 2 operatori e la morte di altri 28 addetti nel giro dei tre mesi seguenti.⁶¹ L'incidente fu causato da alcuni errori progettuali e dalla scarsa preparazione del personale che lavorava nel sito. Il 5% del materiale radioattivo presente nel nocciolo del reattore si disperse nell'ambiente e vennero evacuate 350.000 persone.⁶² Questo materiale nocivo rilasciato nell'atmosfera si sparse in gran parte dell'Ucraina e anche dell'Europa. Secondo gli studi effettuati dall'UNSCEAR (*United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*)⁶³, circa 5000 casi di cancro alla tiroide, risultati in 15 ulteriori morti, furono causati dall'esposizione alle radiazioni.⁶⁴ Questa ricerca afferma, dunque, che non sono state riscontrate evidenze di un problema grave di salute pubblica a 20 anni dall'avvenimento dell'incidente.⁶⁵

Il secondo incidente grave è avvenuto l'11 marzo del 2011 in Giappone ed è conosciuto come l'incidente di Fukushima Daiichi. In questa data un terremoto di magnitudo 9.0 della scala Richter, considerata la quarta scossa sismica più potente mai registrata, ha colpito le coste del Paese asiatico causando uno tsunami alto più di 15 metri.⁶⁶ Il terremoto non ha causato danni alla centrale nucleare di Fukushima Daiichi, in quanto i reattori sono prontamente andati in *shutdown*, ma lo tsunami conseguente ha interrotto il raffreddamento di tre reattori causando lo scioglimento dei rispettivi noccioli.⁶⁷ Dai 4 ai 6 giorni seguenti all'incidente sono fuoriuscite dal sito delle radiazioni, in quantità non letale per l'uomo, infatti delle 19500 persone decedute durante questo disastro nessuna è stata causata dalla radioattività.⁶⁸ A causa di questo incidente furono evacuate più di 100.000 persone residenti in una area di circa 20 km intorno alla centrale.

⁶¹ *Chernobyl Accident 1986*, Aprile 2022, <https://www.world-nuclear.org/>

⁶² Vedi nota 61

⁶³ Gruppo di ricerca istituito dall'ONU per indagare sugli effetti alla salute pubblica dell'incidente di Chernobyl.

⁶⁴ UNSCEAR, *Evaluation of Data on Thyroid Cancer in Regions Affected by the Chernobyl Accident*, 2018

⁶⁵ Vedi nota 64

⁶⁶ *Fukushima Daiichi Accident*, Maggio 2022, <https://www.world-nuclear.org/>

⁶⁷ Vedi nota 66

⁶⁸ Vedi nota 66

Entrambi questi incidenti hanno rappresentato un'importante battuta d'arresto per lo sviluppo dell'energia nucleare a livello internazionale e l'Italia ne è un esempio lampante. Un referendum indetto proprio dopo il disastro di Chernobyl ha, infatti, segnato la fine del programma nucleare commerciale italiano. Negli anni sono dunque stati sviluppati sistemi cooperazione internazionale per trovare le contromisure adatte ad evitare il ripetersi di eventi di questo tipo. Gli esempi più significativi sono:⁶⁹

- *World Association of Nuclear Operator (WANO)*, fondata nel 1989
- *IAEA Convention on Nuclear Safety (CNS)*, istituita nel 1996 ha dato alla luce nel 2015 alla "*Vienna Declaration on Nuclear Safety*"

A livello di Unione Europea, invece, dopo l'incidente di Fukushima Daiichi del 2011, la WENRA (*Western European Nuclear Regulators Association*) ha sottoposto tutte le centrali nucleari europee ad uno *stress test*, arrivando alla conclusione che, seppur gran parte dei reattori nucleari europei fossero sicuri, non esista un protocollo comune e che importanti lavori di ristrutturazione sarebbero serviti in diversi siti.⁷⁰

2.5.3 Costi elevati di progettazione e costruzione

Un ultimo aspetto negativo spesso affibbiato all'energia nucleare è che sia molto costoso progettare, costruire e gestire le centrali di questo tipo. Questa nozione non è del tutto corretta perché, in realtà, l'energia nucleare ha un costo competitivo con quello della maggior parte delle altre fonti, se non si considerano quelle situazioni in cui si ha un accesso diretto ai combustibili fossili a basso costo.⁷¹ È, però, innegabile il fatto che le centrali nucleari siano infrastrutture estremamente costose, il cui ritorno sugli investimenti avviene nel corso di parecchi decenni, ed è spalmato sull'intero corso del ciclo vitale dell'impianto.⁷² Se da un lato i costi di avviamento sono estremamente elevati, dall'altro lato i costi di gestione e di rifornimento del carburante sono molto più bassi rispetto ad altre fonti di energia e, nei costi totali, bisogna tenere conto della gestione e dello smaltimento dei rifiuti radioattivi. Numericamente, la progettazione e la costruzione di una centrale nucleare ammontano al 60% dei costi

⁶⁹ *Safety of Nuclear Power Reactor*, Marzo 2022, <https://www.world-nuclear.org/>

⁷⁰ FRANKLIN DEHOUSSE - DIDIER VERHOEVEN, *The Nuclear Safety Framework in the European Union After Fukushima*, 01/12/2014, Egmont Institute

⁷¹ *Economics of Nuclear Power*, Agosto 2022, <https://www.world-nuclear.org/>

⁷² *Financing Nuclear Energy*, Ottobre 2020, <https://www.world-nuclear.org/>

totali, a cui bisogna aggiungere un 10% legato al ciclo dei rifiuti radioattivi.⁷³ I tassi di interesse e la maniera in cui viene finanziata la costruzione di queste infrastrutture, dunque, hanno un peso importante sulla somma finale dei costi ed è, anche per questo motivo, che il processo di ricerca e scelta dei fondi è estremamente complesso e controllato, nella maggioranza dei Paesi che sfruttano l'energia nucleare, dagli organi statali.⁷⁴

Per poter effettuare un rapporto tra le varie fonti di energia bisogna ricorrere all'utilizzo di un indicatore denominato LCOE (*Levelized cost of electricity*). Esso è dato dal rapporto tra il costo totale della costruzione e della gestione di una centrale per tutto il suo ciclo vitale e la quantità di elettricità che essa produce durante tutto il suo periodo di attività.⁷⁵ A livello globale l'energia nucleare risulta una delle fonti più economiche con un LCOE medio di 89 USD/MWh.⁷⁶ Questo dato scende a 34 USD/MWh se le centrali vengono sottoposte a lavori di LTO, diventando la fonte di energia più economica tra quelle analizzate.⁷⁷ L'energia nucleare risulta dunque la fonte *green* meno costosa allo stato attuale dell'avanzamento tecnologico. Se restringiamo, invece, il focus sulla situazione europea possiamo notare che sia l'energia solare che soprattutto quella eolica possono essere prodotti a prezzi concorrenti a quelli del nucleare.⁷⁸ L'LCOE nell'Unione Europea è, utilizzando un tasso di attualizzazione del 7%⁷⁹, pari a 71 USD/MWh, mentre per l'eolico e il solare si attesta rispettivamente a 55 e 70 USD/MWh.⁸⁰ Bisogna però considerare che a parità di LTOE, l'energia nucleare presenta una serie di caratteristiche positive, elencate nei paragrafi precedenti, che né l'energia solare né l'energia eolica possono vantare e ciò la rende più vantaggiosa in molteplici situazioni.

⁷³ *Financing Nuclear Energy*, Ottobre 2020, <https://www.world-nuclear.org/>

⁷⁴ Vedi nota 73

⁷⁵ *Projected Costs of Generating Electricity*, 2022, IEA

⁷⁶ Vedi nota 75

⁷⁷ Long Term Operation: lavori di allungamento del ciclo produttivo delle centrali nucleari.

⁷⁸ L'indicatore LCOE è influenzato dalle condizioni energetiche statali e, in questo caso dettate dall'Unione europea, è varia fortemente da Stato a Stato.

⁷⁹ Tasso che per le caratteristiche elencate in precedenza influisce maggiormente sull'energia nucleare che su altre fonti energetiche

⁸⁰ Vedi nota 75

CAPITOLO TERZO

L'opportunità di un'Unione energetica europea basata sull'energia nucleare

3.1 Panorama giuridico, normativo e ruolo dell'Euratom

Per poter capire se sia effettivamente possibile creare un'Unione energetica europea basata sul nucleare occorre, innanzitutto, analizzare lo stato attuale della legislazione sull'energia, sia a livello dei singoli Paesi membri che a livello comunitario, ed andare a capire quale sia il ruolo e quali siano le funzioni dell'organo più importante per quanto riguarda l'energia nucleare nell'Unione europea: l'Euratom.

3.1.1 Panorama giuridico a livello italiano ed europeo

Come è stato possibile capire dalla lettura dei capitoli precedenti la situazione dell'energia nucleare nell'Unione Europea è fortemente polarizzata ed esistono enormi differenze tra i vari Stati. Questo fenomeno ha un impatto anche sul panorama giuridico e legislativo sia a livello nazionale che a livello comunitario. Per quanto la legislazione comune europea detti la cornice generale sul nucleare, ognuno dei 27 Stati membri ha, ovviamente, la facoltà ultima di decidere se introdurre o meno questa fonte energetica nel proprio ordinamento. In alcuni Paesi europei, come l'Italia e l'Austria, lo sfruttamento dell'energia nucleare è stato bloccato dal voto popolare, tramite l'indizione di referendum. Nei restanti Stati, invece, l'utilizzo o meno del nucleare è legato puramente a questioni politiche. Paesi come la Germania o la Spagna, che fino a pochi decenni fa puntavano in maniera massiccia sull'energia nucleare, sono ora fortemente opposti al suo utilizzo, mentre altri Stati, come Lituania e Polonia, si apprestano ad attivare i primi reattori. Questa importante valenza politica dello sfruttamento del nucleare si riversa anche sul piano europeo, l'esempio più lampante

è il grande dibattito che ha preceduto e gli strascichi che ha creato l'inserimento dell'energia nucleare nella tassonomia verde europea.¹

A livello più pratico, tutti i Paesi appartenenti all'Unione Europea sono dotati di un'agenzia nazionale per l'energia. Questo organismo amministrativo si occupa, sia per gli Stati che lo sfruttano sia per quelli che non lo utilizzano, della tecnologia nucleare, la cui applicazione spazia dalla produzione di energia all'industria e alla medicina. Queste organizzazioni agiscono, ovviamente nei limiti legislativi dei singoli Paesi, ma soprattutto all'interno della cornice giuridica dettata dall'UE e collaborano strettamente con l'istituzione europea di riferimento, cioè l'Euratom. In Italia questo compito è spartito tra ENEA² e SOGIN³, agenzia statale la prima e società pubblica la seconda. Nell'ambito nucleare ENEA gestisce diversi progetti di ricerca legati sia alla fissione che alla fusione nucleare e, allo stesso tempo, ha un ruolo importante nella qualificazione di componenti e sistemi nucleari.⁴ SOGIN, invece, si occupa di gestire lo smantellamento degli impianti nucleari italiani in disuso e della gestione dei rifiuti radioattivi.

A livello europeo l'organizzazione di riferimento è, come già accennato in precedenza, l'Euratom, della quale verrà presentata una spiegazione approfondita sia suo ruolo che delle sue funzioni nel paragrafo seguente.

Occorre, infine, ricordare che anche l'ONU ha una propria agenzia che si occupa del nucleare: *l'International Atomic Energy Agency*, conosciuta con l'acronimo IAEA. Fondata dal 1957 essa ha lo scopo di promuovere l'utilizzo pacifico dell'energia nucleare e di impedirne l'utilizzo per scopi militari. Sia i singoli Stati membri che l'Euratom sono membri di questa organizzazione internazionale. Tra i molteplici progetti sviluppati dall'IAEA, oltre al controllo e alla supervisione degli impianti nucleari di tutto il mondo, possiamo citare INIS⁵, che rappresenta la più grande biblioteca di informazioni pubbliche legate al mondo del nucleare.⁶

¹ KATE ABNETT, *EU parliament backs labelling gas and nuclear investments as green*, 06/07/2022, <https://www.reuters.com/>

² Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

³ Società gestione impianti nucleari

⁴ Fusione e tecnologie per la sicurezza nucleare, ENEA, <https://www.enea.it/it>

⁵ Acronimo di International Nuclear Information System

⁶ *International Nuclear Information System (INIS)*, IAEA, <https://www.iaea.org/>

3.1.2 Storia, ruolo e funzioni dell'Euratom

Come già specificato in precedenza, l'Euratom è una organizzazione internazionale istituita nel contesto delle Comunità europee, e poi mantenuta col passaggio all'Unione europea del 2007, che si occupa di coordinare la ricerca in ambito atomico e lo sfruttamento dell'energia nucleare tra gli Stati europei.

Per effettuare un'analisi più approfondita del suo ruolo e della sua funzione occorre, innanzitutto, analizzare brevemente la storia di questo trattato dalla sua scrittura fino ad oggi, anche perché questa indagine permette di presentare alcune delle caratteristiche particolari che differenziano il trattato dell'Euratom dagli altri testi istituzionali europei. Visti gli ottimi risultati ottenuti dalla CECA⁷ l'assemblea comune propose di ampliare i propri poteri sia andando verso la creazione di un mercato unico e sia, e questo aspetto risulta più attinente a questa analisi, anche occupandosi di altre forme di produzione energetica. Jean Monnet, col supporto principale della Francia che voleva difendere i propri interessi nazionali, spinse, però, per la creazione di due organi differenti: uno che si occupasse del mercato comune, che diventerà la CEE, e uno che si occupasse dell'energia nucleare, che secondo gli studi finanziati dalla comunità europea sarebbe diventata cruciale per lo sviluppo energetico comunitario. Il trattato che istituì la comunità europea dell'energia atomica, meglio conosciuta con gli acronimi CEEA e soprattutto Euratom, fu firmato a Roma il 25 marzo 1957, in concomitanza il trattato che creò la Comunità economica europea (CEE), ed entro in vigore il 1° gennaio 1958.⁸ Il testo fu sottoscritto dagli allora sei Stati membri: Francia, Italia, Repubblica Federale di Germania, Belgio, Paesi Bassi e Lussemburgo.⁹ A differenza della CECA¹⁰, non fu stabilito un limite temporale per il funzionamento dell'Euratom e, infatti, la sua operatività rimane tuttora invariata. Fino al 1967 venne eletto un presidente esecutivo della CEEA¹¹ ma a partire da quell'anno, dopo l'entrata in vigore del Trattato di Bruxelles¹², il potere esecutivo è passato in mano alla

⁷ Comunità Europea del Carbone e dell'Acciaio, istituita con il Trattato di Parigi in vigore dal 1951

⁸ Trattato Euratom, Parlamento europeo, <https://www.europarl.europa.eu/about-parliament/it>

⁹ Trattato Euratom versione consolidata. Unione europea, 2016

¹⁰ Il periodo di operatività della CECA fu stabilito in 50 anni e, infatti, essa ha cessato le proprie funzioni a partire dal 23 luglio 2002

¹¹ Furono eletti in totale tre presidenti esecutivi, tutti francesi, della CEEA: Louis Armand, Étienne Hirsch e Pierre Chatenet

¹² Conosciuto anche come Trattato di fusione, proprio perché servì ad unificare alcuni organi delle tre comunità europee allora esistenti: CECA, CEE ed Euratom

Commissione europea. Per quanto riguarda il periodo degli allargamenti, contestualmente all'ingresso nella Comunità europea tutti i nuovi Stati membri sottoscrivono anche il trattato dell'Euratom. Questa condizione è particolarmente importante per gli ampliamenti verso l'Europa orientale e, in particolare, verso quei Paesi che facevano parte dell'Unione Sovietica. L'energia nucleare era e è, infatti, molto sviluppata in questi Stati ma spesso le norme di sicurezza non erano all'altezza degli *standard* europei e, dunque, una loro revisione era fondamentale per il loro ingresso nella Comunità europea. Negli anni, oltre agli Stati membri dell'Unione Europea è entrata a far parte dell'Euratom anche la Svizzera, che dal 2014 viene considerato come Paese associato, stesso ruolo che ricopre il Regno Unito, che per effetto della brexit ha perso lo stato di membro effettivo il 31 gennaio 2020 ma è rientrato in qualità di Stato associato grazie all'*UE-UK Trade and Cooperation Agreement* entrato in vigore il 1° maggio 2021. Al 2022, inoltre, l'Euratom mantiene accordi di cooperazione bilaterali permanenti, con vari scopi e differenti portate, con tredici Paesi extracomunitari: Argentina, Australia, Brasile, Canada, Corea del Sud, Giappone, India, Kazakistan, Russia, Stati Uniti d'America, Sud Africa, Ucraina e Uzbekistan.¹³

Leggendo il testo del trattato dell'Euratom, che è rimasto sostanzialmente invariato dalla sua stesura se non per alcune modifiche di natura più formale che sostanziale apportate in concomitanza con il Trattato di Lisbona del 2007, si può capire che la stesura è frutto di un periodo storico di forte avanzamento tecnologico e di ampio supporto politico, accademico ed anche popolare dell'energia nucleare. Nell'articolo 2 sono elencati i compiti e gli obiettivi principali che l'Euratom volle perseguire, che a distanza di più di sessant'anni sono ancora validi e attuali e dettano tutt'oggi i lavori di questa organizzazione:¹⁴

- Sviluppare le ricerche e assicurare la diffusione delle cognizioni tecniche
- Stabilire norme di sicurezza uniformi per la protezione della popolazione e dei lavoratori e vigilare sulla loro applicazione

¹³ *European Atomic Energy Community (Euratom) – Structures and tools*, Parlamento Europeo, 2017

¹⁴ Trattato Euratom versione consolidata. Unione europea, 2016

- Agevolare gli investimenti e assicurare, particolarmente incoraggiando le iniziative delle imprese, la realizzazione degli impianti fondamentali necessari allo sviluppo dell'energia nucleare nella Comunità
- Curare il regolare ed equo approvvigionamento di tutti gli utilizzatori della Comunità in materiali e combustibili nucleari
- Garantire mediante adeguati controlli che le materie nucleari non vengano distolte dalle finalità cui sono destinate
- Esercitare il diritto di proprietà che le è riconosciuto sulle materie fissili speciali
- Assicurare ampi sbocchi e l'accesso ai migliori mezzi tecnici, mediante la creazione di un mercato comune dei materiali e delle attrezzature speciali, la libera circolazione dei capitali per gli investimenti nucleari e la libertà di impiego degli specialisti all'interno della Comunità
- Stabilire con gli altri Paesi e con le organizzazioni internazionali tutti i collegamenti idonei a promuovere il progresso nell'utilizzazione pacifica dell'energia nucleare

Nel corso degli anni, per poter raggiungere in maniera adeguata gli obiettivi posti dal trattato, sono nati e sviluppati agenzie e progetti che si occupano di aspetti particolari e specifici della filiera dell'energia nucleare. L'esempio più importante è, senza ombra di dubbio, l'*Euratom Supply Agency* (ESA), già stata menzionata nei capitoli precedenti, il cui compito è quello di mantenere un regolare ed equo rifornimento di materiali nucleari, come minerali, materie prime e materiali fissili speciali.¹⁵ Essa, dunque, si occupa di stipulare contratti collettivi con i paesi esportatori e allo stesso tempo cerca di diversificare le fonti di approvvigionamento in modo da aumentare l'indipendenza energetica. È responsabile, inoltre, di un osservatorio sul nucleare, per poter analizzare e prevedere le tendenze su questo tema, e fa parte dell'*European Observatory on the Supply of Medical Radioisotopes*.¹⁶ L'ESA ha una personalità giuridica autonoma ed un'autonomia finanziaria ma è supervisionata dalla Commissione europea, che detiene un diritto di veto sulle decisioni.

¹⁵ Materiale che è in grado di sviluppare una reazione a catena di fissione nucleare. Un esempio è il plutonio

¹⁶ Organizzazione in seno all'Unione europea che si occupa dell'ambito medico della tecnologia nucleare

L'Euratom, infine, ricopre un ruolo fondamentale per il mondo della ricerca sul nucleare. Innanzitutto, tramite il *Joint Research Center*, che rappresenta il principale centro di ricerca pubblico europeo per il campo della tecnologia atomica. Il suo compito principale è quello di fornire un supporto tecnico e scientifico alle politiche europee sull'energia nucleare. Si occupa, inoltre, di sviluppare programmi di formazione e di specializzazione, di testare il funzionamento e le condizioni dei reattori presenti sul territorio europeo e di creare ed implementare nuovi sistemi di sicurezza e certificazioni di qualità e conformità.¹⁷ Ma il JRC¹⁸ non è l'unico mezzo attraverso cui l'Euratom sostiene la ricerca in questi ambiti. Per esempio, all'interno di Horizon 2020, lo strumento di finanziamento per la ricerca scientifica e l'innovazione istituito dalla Commissione europea per il periodo dal 2014 al 2020¹⁹, era presente l'*Euratom research and training program*, che con un budget di 1.6 miliardi di euro ha finanziato tre grandi filoni di ricerca: il più dispendioso legato alla fusione nucleare, il secondo concernente la fissione nucleare e i suoi possibili sviluppi tecnologici e l'ultimo più concreto destinato all'ampliamento dei sistemi di sicurezza ed alla salvaguardia degli impianti già esistenti.²⁰

L'Euratom, infine, prende parte come entità indipendente sia a diverse organizzazioni internazionali, tra le quali la più importante è senza ombra di dubbio l'IAEA, sia a svariati programmi di ricerca e sviluppo a livello internazionale, tra i quali è importante citare ITER²¹ e JET.²²

¹⁷ *European Atomic Energy Community (Euratom) – Structures and tools*, Parlamento europeo, 2017

¹⁸ Acronimo di *Joint Research Center*

¹⁹ *Horizon 2020*, Commissione Europea, https://commission.europa.eu/index_en

²⁰ Vedi nota 17

²¹ *International Thermonuclear Experimental Reactor*, progetto sulla fusione nucleare che sarà analizzato in maniera più approfondita nel paragrafo 3.3

²² *Joint European Torus*, il secondo centro di ricerca più importante sulla fusione nucleare situato a Culham (UK)

3.2 Perché creare una politica energetica comune nell'Unione europea

3.2.1 Benefici derivanti dalla creazione di un'Unione energetica europea

L'invasione russa dell'Ucraina e tutte le relative conseguenze negative che questo conflitto ha creato sul mercato dell'energia globale e, in particolare, su quello interno all'Unione Europea, ha dimostrato, ancora una volta, come la questione energetica sia un problema di natura globale e che i singoli Stati, anche quelli più sviluppati e più potenti, non abbiano i mezzi adeguati ad affrontarlo in maniera sostanziale ed efficiente. E se da un lato l'energia, e le materie prime utili a produrla, vengono sempre più spesso utilizzate come uno strumento di politica internazionale, non bisogna dimenticare che la produzione e la vendita dell'energia è un business in cui grandi imprenditori e multinazionali sempre più potenti dettano le regole del gioco senza che i vari governi possano affrontare in maniera efficiente queste speculazioni. In questo scenario, alla fine, le conseguenze più negative ricadono sui cittadini, in particolare sulla fascia di popolazione meno abbiente, che, almeno all'interno dell'Unione europea, si sono trovati ad affrontare una crisi energetica particolarmente impattante. Seppur, in maniera più o meno efficace, i singoli governi europei abbiano cercato di porre un rimedio a questa situazione, le contromisure più importanti sono state sviluppate a livello comunitario. Sembra, dunque, sempre più evidente che affrontare queste problematiche seguendo una linea comune risulti più efficiente e che in questa maniera l'Unione europea possa fare leva su una forza politica, contrattuale ed economica più elevata. Risulta, quindi, chiaro che la creazione di una Unione energetica europea possa essere la strada giusta da intraprendere per risolvere queste problematiche e che, anche alla luce degli aspetti favorevoli analizzati nel capitolo precedente, se essa contempra uno sfruttamento massiccio del nucleare, ovviamente affiancato a tutte le altre forme di energia *green*, possa risultare una strategia vincente. Sullo sfruttamento del nucleare, però si scontrano le due grandi potenze europee, Francia e Germania, e sembra dunque difficile che si possa raggiungere accordo in tempi brevi. Nel Paese teutonico però è stata fortemente critica la scelta di abbandonare il nucleare e riaprire le centrali a carbone, per ovviare alla mancanza di gas naturale dovuta dall'invasione russa dell'Ucraina, e la stessa Greta Thunberg, simbolo mondiale della lotta al cambiamento climatico, ha dichiarato di preferire l'energia

atomica se l'alternativa è l'utilizzo intensivo di carburanti fossili.²³ Il futuro del nucleare potrebbe, dunque, giocarsi sull'appoggio o meno ad esso dei partiti verdi e le associazioni ecologiste europee.

Ricapitolando, la creazione di un'Unione energetica servirebbe ad affrontare quelli che sono considerate, dall'Unione europea stessa, le tre grandi problematiche del sistema energetico europeo odierno: la dipendenza energetica, i cambiamenti climatici e l'invecchiamento delle infrastrutture.²⁴

3.2.2 Cronistoria del dibattito sull'Unione energetica

Creare un'unione energetica non è un ragionamento puramente teorico e, anzi, negli anni sono già stati fatti dei passi in questa direzione e, nell'ultimo decennio, questa possibilità è diventata un tema di dibattito e di discussione importante all'interno delle istituzioni europee, in particolare grazie ad una forte spinta del Consiglio europeo.

La prima istanza dell'auspicio di creare una unione energetica è apparsa al Consiglio europeo tenutosi tra il 26 e il 27 giugno del 2014.²⁵ In questa seduta è stato stabilito che la creazione di un'Unione dell'energia rappresenta un obiettivo strategico e che è uno dei cinque obiettivi principali che compongono l'agenda politica strategica europea. Il consiglio affida un triplice scopo a questo progetto: fornire energia ad un prezzo accessibile a imprese e consumatori, garantire energia a tutti i paesi dell'UE mediante la diminuzione della dipendenza energetica e generare più energia verde continuando così la lotta ai cambiamenti climatici.²⁶ Tra le conclusioni del Consiglio europeo del 18 dicembre 2014, i leader europei chiedono, per la prima volta, alla Commissione europea di presentare un piano per la creazione di un'Unione europea dell'energia che possa collegare le reti elettriche a livello transfrontaliero, migliorare la sicurezza energetica e ridurre le emissioni inquinanti.²⁷ La Commissione non tarda a rispondere ed il 25 febbraio 2015 presenta il pacchetto "Unione dell'energia" con lo scopo di completare il mercato unico e di riformare la produzione, il consumo ed il

²³ ARIEL COHEN, *Greta Thunberg Has Embraced Nuclear Power: Will The Greens Follow?*, 03/04/2023, <https://www.forbes.com/>

²⁴ Unione dell'energia, Consiglio dell'Unione europea, <https://www.consilium.europa.eu/it/>

²⁵ Unione dell'energia, Consiglio dell'Unione europea, <https://www.consilium.europa.eu/it/>

²⁶ Vedi nota 25

²⁷ *Conclusion – 18 december 2014*, European Council, 18/12/2014

trasporto dell'energia all'interno dell'Unione europea.²⁸ Seguono tutta una serie di lavori e dibattiti interni al Consiglio che sfociano nelle conclusioni che il Consiglio "Trasporti, Telecomunicazioni e Energia"²⁹ propone sull'attuazione dell'Unione dell'energia, che si incentrano sull'offrire ai consumatori energia sicura, sostenibile ed a prezzi accessibili.³⁰ Negli anni a seguire la Commissione presenta ed il Consiglio ed il Parlamento europeo adottano tutta una serie di pacchetti che vanno verso la creazione di una *governance* comune e aprono la strada alla definitiva istituzione di un'Unione dell'Energia. Tra le istanze più significative bisogna citare il pacchetto "Energia pulita per tutti gli europei" che, tra le molteplici iniziative presenti al suo interno, comprende: la riforma energetica del mercato europeo dell'energia elettrica, il regolamento sulla *governance* dell'Unione dell'energia, la revisione del ruolo dell'ACER³¹, la direttiva sull'efficienza degli edifici.³² Il 25 giugno 2019, alla fine di questo lungo percorso istituzionale che ha portato all'implementazione di tutta una serie di nuove normative sull'energia, il Consiglio trae le fila degli obiettivi raggiunti e traccia la strada per i futuri provvedimenti tramite le: "*Conclusions on the future of energy systems in the Energy Union to ensure the energy transition and the achievement of energy and climate objectives towards 2030 and beyond*".³³ Dopo il 2019, la marcia che sembrava spedita verso la creazione sempre più imminente di un'Unione dell'energia ha perso, però, parte del suo abbrivio. Questa battuta d'arresto è dovuta principalmente allo scoppio della crisi pandemica, ed in seguito anche economica, legata al Covid 19 l'agenda politica europea si è incentrata su temi più attinenti a quest'ultima. L'invasione russa dell'Ucraina ha però messo a nudo le principali fragilità e carenze del sistema energetico dell'Unione europea e la possibilità di istituire una Unione energetica europea è tornata ad essere un tema centrale del dibattito politico comunitario. A confermare questo rinnovato impegno, a partire dal

²⁸ *Conclusion – 18 december 2014*, European Council, 18/12/2014

²⁹ Comunemente noto con l'acronimo TTE. È una riunione in sede di Consiglio a cui partecipano i ministri degli Stati membri che si occupano di trasporti, telecomunicazioni ed energia.

³⁰ Progetto di conclusioni del Consiglio sull'attuazione dell'Unione dell'energia: rafforzare la posizione dei consumatori ed attrarre investimenti nel settore dell'energia, Consiglio Europeo, 08/06/2015

³¹ Acronimo dell'Agenzia dell'UE per la cooperazione tra i regolatori nazionali dell'energia. Istituita nel 2011, le sue funzioni sono state cambiate drasticamente con questo pacchetto

³² Unione dell'energia, Consiglio dell'Unione europea, <https://www.consilium.europa.eu/it/>

³³ Vedi nota 32

2021 sono entrati in vigore i PNEC³⁴, che vigeranno per i dieci anni seguenti fino al 2030. Tramite questo strumento, istituito nel 2017, gli Stati membri dovranno rendere noto ed aggiornare costantemente il loro apporto all'Unione dell'energia.³⁵

3.2.3 Fattibilità di un'Unione europea energetica basata sull'energia nucleare

Esiste, dunque, un dibattito ed una effettiva volontà delle istituzioni europee di creare un'Unione energetica europea o, quantomeno, di allargare le proprie competenze sovranazionali nel campo dell'energia. Ciò che, invece, è meno chiaro è il ruolo che l'energia nucleare può avere all'interno di questo progetto. Essa, infatti, ha rappresentato e rappresenta tuttora un importante tema di discussione, sia a livello nazionale che a livello comunitario, tra gli Stati europei ed il suo sfruttamento sarà vagliato ancora più approfonditamente nel caso in cui l'Unione Europea decida, effettivamente, di unirsi in un'unica entità energetica. Nel corso degli anni si sono, infatti, create due fazioni distinte di Paesi europei, una favorevole e una contraria all'utilizzo del nucleare, che stanno cercando di portare avanti e far prevalere le proprie *policy* energetiche.

Come già analizzato in precedenza, il fronte favorevole, capitanato dal governo transalpino, ha raggiunto una vittoria importante facendo inserire il nucleare nella tassonomia verde europea ma la loro campagna politica non è finita lì. Il 16 maggio 2023, infatti, la Francia ha ospitato a Parigi le delegazioni ministeriali di sedici Paesi europei per discutere del futuro dell'energia nucleare nel vecchio continente e per invitare l'Unione Europea a riconoscere il ruolo fondamentale che questa fonte di energia può giocare nella lotta al cambiamento climatico.³⁶ Oltre ai quattordici Stati europei favorevoli allo sfruttamento del nucleare, hanno partecipato a questo incontro anche l'Italia, in qualità di osservatore, e il Regno Unito, invitato per poter condividere alcuni aspetti economici e logistici relativi ai due reattori attualmente in costruzione

³⁴ Acronimo inglese di piano nazionale per l'energia ed il clima

³⁵ Unione dell'energia, Consiglio dell'Unione europea, <https://www.consilium.europa.eu/it/>

³⁶ KATE ABNETT e AMERICA HERNANDEZ, *France to host pro-nuclear meet to push for EU recognition of climate benefits*, 15/05/2023, <https://www.reuters.com/>

sul territorio inglese.³⁷ A questo incontro ha partecipato anche la Commissaria europea per l'energia Kadri Simson che ha annunciato che delle riforme pianificate al mercato energetico europeo potranno aiutare gli Stati a ottenere maggiori investimenti sul nucleare.³⁸ I ministri partecipanti hanno firmato una dichiarazione congiunta in cui si è specificato che se verranno effettivamente costruite tutte le centrali nucleari pianificate dal 2023 al 2050, esse creeranno più di 450,000 posti di lavoro e contribuiranno per almeno 92 miliardi di euro al PIL europeo.³⁹ Questi Paesi si sono, inoltre, lasciati con l'auspicio che incontri di questo tipo possano diventare abitudinari e che un prossimo *meeting* potrebbe essere indetto, già, per il prossimo mese.⁴⁰

Dall'altro canto, il fronte contrario allo sfruttamento del nucleare non è stato a guardare e sta opponendo un'opposizione sempre più insistente. È bene iniziare ricordando la composizione dei cinque Stati europei che si sono fortemente opposti all'introduzione del nucleare nella tassonomia verde europea: Austria, Danimarca, Germania, Lussemburgo e Portogallo, ai quali si può aggiungere la Spagna che in più di una occasione si è dimostrata piuttosto contraria al futuro utilizzo di questa fonte di energia. In più di una occasione questi Paesi hanno unito le proprie forze per opporsi in maniera unitaria allo sfruttamento dell'energia atomica, anche in situazioni esterne alla normale arena politica europea. Per esempio, durante un evento collaterale alla Conferenza COP26 tenutasi a Glasgow l'11 novembre 2021 questi cinque Paesi hanno firmato una dichiarazione comune per un'Europa libera dall'energia nucleare.⁴¹

In conclusione, l'idea di creare un'Unione energetica europea sembra essere una priorità delle istituzioni europee ed è sostenuta dalla maggior parte dei governi degli Stati membri. Analizzando i passi svolti fino ad oggi si può dedurre che si sta raggiungendo questo obiettivo tramite un percorso caratterizzato da un insieme di diversi pacchetti legislativi piuttosto che tramite la creazione di una vera e propria istituzione. L'inserimento dell'energia nucleare all'interno di questa strategia sembra, invece, più problematico ma, allo stesso tempo, è praticamente impossibile che i Paesi

³⁷ KATE ABNETT e AMERICA HERNANDEZ, *France to host pro-nuclear meet to push for EU recognition of climate benefits*, 15/05/2023, <https://www.reuters.com/>

³⁸ AMERICA HERNANDEZ e BENJAMIN MALLET, *Pro-nuclear countries pitch atomic role in Europe's green transition*, 16/05/2023, <https://www.reuters.com/>

³⁹ Vedi nota 38

⁴⁰ Vedi nota 38

⁴¹ NIKOLAUS J. KURMAYER, *Five EU countries form anti-nuclear alliance at COP26*, 12/11/2021, <https://www.euractiv.com/>

favorevoli a questa fonte di energia, in particolare la Francia, possano abbandonarla. L'auspicio è, dunque, che l'Unione europea dell'energia possa essere completata al più presto e che la tecnologia nucleare, anche grazie agli sviluppi tecnologici, possa farne parte per affiancare tutte le altre fonti energetiche verdi che rappresentano il futuro dell'Unione europea.

3.3 Esempio di cooperazione: il progetto ITER

La creazione di un'Unione energetica europea, per quanto la sua portata potrebbe risultare più grande di qualsiasi altro fenomeno di questo tipo già attuato, non rappresenterebbe il primo esempio di cooperazione internazionale nell'ambito dell'energia. Nei capitoli precedenti sono già stati citati diversi esempi di collaborazione transnazionale legata a questo ambito che, in molteplici istanze, hanno portato alla creazione di organizzazioni internazionali, come per esempio l'Euratom a livello europeo o l'IAEA a livello globale. Uno dei settori in cui gli Stati del mondo, anche quelli più potenti che spesso si trovano in disaccordo su altre questioni, sono più inclini ad unire le proprie forze è quello della ricerca e dello sviluppo di nuove tecnologie. Gli esempi sono molteplici e hanno permesso alcuni dei più importanti avanzamenti scientifici degli ultimi decenni, ma per quanto riguarda l'energia atomica il caso studio più ambizioso è senza ombra di dubbio il progetto ITER. Esso è globalmente considerato come il più importante esperimento energetico attualmente attivo per molteplici ragioni: l'importanza e la quantità dei Paesi che vi partecipano, l'ingente quantità di risorse sia economiche che umane impiegate e, soprattutto, per i possibili sviluppi rivoluzionari che la sua eventuale buona riuscita potrebbe portare all'umanità intera.

Il progetto ITER, acronimo di *International Thermonuclear Experimental Reactor*, il cui nome abbreviato è stato scelto anche perché in latino significa viaggio o cammino,⁴² ha l'obiettivo di sviluppare una tecnologia che dimostri la possibilità di utilizzare la fusione nucleare come mezzo di produzione di energia pulita e su larga scala.

⁴² Enciclopedia Treccani online, <https://www.treccani.it/>

3.3.1 Paesi membri e scopo del progetto ITER

I sette Paesi fondatori del progetto Iter sono: Cina, Corea del Sud, Giappone, India, Russia, Stati Uniti d'America e l'Unione europea.⁴³ Mentre, Australia, Canada e Kazakistan hanno stretto degli accordi di collaborazione tecnica permanente con l'organizzazione che presiede il progetto ITER.⁴⁴ Bisogna, inoltre, specificare che sia la Svizzera che il Regno Unito partecipano al progetto in quanto membri dell'Euratom. In totale sono 35 gli Stati che collaborano in maniera più o meno importante alla buona riuscita di questo esperimento.

Questi Paesi si sono uniti formando *l'ITER Organisation*, una organizzazione intergovernativa che ha il ruolo di sovrintendere ed è l'operato del reattore ITER. Sono circa mille i membri dello staff, provenienti da tutti e sette i Paesi fondatori, di questa istituzione. Ognuno degli Stati partecipanti al progetto, inoltre, si è dotato di una agenzia nazionale dedicata al progetto per avere un canale di confronto più efficiente, per l'Unione europea essa è stata denominata *Fusion for Energy* ed ha sede a Barcellona, in Spagna.⁴⁵ L'*Iter Organisation* è presieduta da un consiglio, formato da rappresentanti dei sette membri, che si riunisce almeno due volte all'anno, al cui vertice viene eletto un direttore generale. Sono in totale quattro le persone⁴⁶ che hanno ricoperto questa carica e l'attuale presidente è lo scienziato italiano Pietro Barabaschi, appuntato nel 2022⁴⁷

L'Unione europea ha finanziato la parte più importante dei costi di produzione, coprendo il 45,6% delle spese, mentre gli altri sei Stati fondatori si sono spartiti equamente la resta fetta, finanziando il 9,1% caduno.⁴⁸ Nel periodo compreso tra il 2008 ed il 2019, l'Unione europea ha investito una somma pari a 5,6 miliardi di euro nel progetto, senza calcolare il materiale e le componentistiche cedute a titolo gratuito ad ITER.⁴⁹

⁴³ *ITER members*, Organizzazione ITER, <https://www.iter.org/>

⁴⁴ Vedi nota 43

⁴⁵ *Energia da fusione e progetto ITER*, Direzione generale dell'energia, 17/05/2021

⁴⁶ I precedenti direttori generali, elencati in ordine cronologico, sono stati: Kaname Ikeda, Osamu Motojima e Bernard Bigot

⁴⁷ *ITER Council appoints Dr. Pietro BARABASCHI as ITER Organization Director-General*, ITER press release, 15/09/2022

⁴⁸ *ER members*, Organizzazione ITER, <https://www.iter.org/>

⁴⁹ *Energia da fusione e progetto ITER*, Direzione generale dell'energia, 17/05/2021

Il progetto ITER nasce con lo scopo di sviluppare la conoscenza sulla fusione nucleare, lo stesso principio che alimenta il sole e tutte le altre stelle, con lo scopo di dimostrare che essa può essere utilizzata come una fonte di energia ad emissioni zero ed utilizzabile su larga scala.

Per iniziare occorre spiegare brevemente il processo fisico alla base di questo progetto, cioè la fusione nucleare. Essa avviene quando due nuclei di idrogeno, in condizioni di temperatura estremamente elevata e forte gravità, si fondono creando atomi di elio più pesanti e rilasciando una immensa quantità di energia durante il processo.⁵⁰ Per poter ricreare questo processo in un laboratorio devono essere soddisfatte tre condizioni indispensabili: una temperatura nell'ordine dei 150,000,000 °C, una sufficiente densità delle particelle di plasma⁵¹ e una struttura capace di confinare per il tempo sufficiente questo plasma.⁵²

Questo processo fisico può essere riprodotto dall'uomo, in maniera controllata e sicura, all'interno di un Tokamak⁵³, un reattore nucleare a fusione di forma toroidale, cioè simile a una ciambella.⁵⁴ Questa macchina sperimentale, sviluppata per la prima volta negli anni '50 da un gruppo di scienziati sovietici, mantiene il plasma coeso grazie ad un campo magnetico generato da una serie di elettromagneti esterni alla camera.⁵⁵ Questo impianto rappresenta la base scientifica del progetto ITER ed ha già generato ottimi risultati in altri esperimenti, come il JET di cui si è parlato nei capitoli precedenti.

Il progetto ITER, quindi, nasce con lo scopo di dimostrare che è possibile produrre più energia di quella che è necessaria all'iniziazione del processo di fusione nucleare, in un rapporto di almeno 1:10⁵⁶, e che sia possibile trasformare una macchina sperimentale in una vera e propria centrale nucleare, che sia efficiente, sicura e riproducibile su larga scala.⁵⁷

⁵⁰ *How does fusion produce energy?*, Organizzazione ITER, <https://www.iter.org/>

⁵¹ Il plasma è il quarto stato della materia, in cui dominano le interazioni collettive tra le particelle. Esso è la forma della materia più abbondante nell'Universo, rappresentando circa il 99%.

⁵² Vedi nota 50

⁵³ Acronimo russo di camera toroidale con spire magnetiche

⁵⁴ *What is a Tokamak?*, Organizzazione ITER, <https://www.iter.org/>

⁵⁵ Vedi nota 54

⁵⁶ Che è dieci volte più grande di qualsiasi altro esperimento svolto fino ad ora

⁵⁷ *What is ITER?*, Organizzazione ITER, <https://www.iter.org/>

3.3.2 L'importanza del progetto ITER

L'importanza del progetto ITER è data dallo sviluppo tecnologico che esso può portare verso l'effettiva trasformazione della fusione nucleare in una fonte di energia utilizzabile dall'uomo. Essa, infatti, produrrebbe energia totalmente pulita, sicura ed in quantità pressoché illimitata e soddisferebbe la maggior parte della domanda di energia a livello mondiale.⁵⁸ Questa fonte energetica risulterebbe pulita perché il suo processo non comporta l'emissione di sostanze carboniche inquinanti, sicura perché più stabile rispetto alla fusione nucleare e pressoché illimitata perché l'idrogeno, di cui due isotopi rappresentano la base di partenza della fusione nucleare, è l'elemento più abbondante nell'universo e sulla Terra può essere ricavato facilmente dall'acqua.⁵⁹ Oltre a questo aspetto fondamentale, l'importanza del progetto ITER è data dall'esempio di cooperazione incondizionata che i vari Stati membri, anche se spesso avversari sul piano politico ed anche militare⁶⁰, hanno creato. Unendo le proprie forze e collaborando in maniera propositiva per il raggiungimento di un bene comune, non solo per i singoli Paesi ma, soprattutto, per l'intera umanità. Quest'ultima prospettiva positiva è ribadita dal fatto che tutti gli Stati firmatari del trattato condivideranno tra di essi al 100% i benefici derivanti dai risultati scientifici, dai brevetti e dalle proprietà intellettuali generate dalla buona riuscita del progetto ITER.⁶¹

Raggiungere questi obiettivi non è, però, semplice e un progetto di questa portata non può nascere nel giro di pochi anni e, infatti la lunga storia dell'esperimento ITER inizia, addirittura, durante la guerra fredda. Al Vertice di Ginevra del 1985, infatti, l'allora presidente dell'Unione Sovietica Michail Gorbačëv propose al suo pari americano Ronald Reagan la creazione di un progetto collaborativo internazionale per lo sviluppo della fusione nucleare.⁶² L'anno seguente venne raggiunto un accordo tra il Giappone, gli Stati Uniti d'America, l'allora Comunità europea e l'Unione Sovietica per lo sviluppo concreto di questo esperimento.⁶³ I lavori di progettazione iniziarono

⁵⁸ Energia da fusione e progetto ITER, Direzione generale dell'energia, 17/05/2021

⁵⁹ Vedi nota 67

⁶⁰ Vedasi l'opposizione di Stati Uniti d'America ed Unione europea alla Russia sulla guerra in Ucraina o il rapporto sempre più conflittuale, non solo sul piano economico, tra la Cina e gli Stati Uniti d'America

⁶¹ *ITER Members*, Organizzazione ITER, <https://www.iter.org/>

⁶² *The ITER Story*, Organizzazione ITER, <https://www.iter.org/>

⁶³ Vedi nota 58

nel 1988 ed il design finale venne approvato dai Paesi firmatari dell'accordo nel 2001. Tra il 2003 ed il 2005, Cina e Corea del Sud prima e India dopo entrano a far parte del progetto e il 21 novembre 2006 viene firmato il Trattato sull'ITER, che istituisce l'omonima organizzazione e viene ratificato nel 2007. Anche se una fase preliminare di preparazione del sito era in atto dalla fine del 2005, i veri e propri lavori di costruzione dell'impianto iniziarono nel 2010. L'inizio degli esperimenti era fissato per il 2017 ma è stato in seguito rimandato al 2025, e a causa degli effetti della pandemia da COVID-19 potrebbe essere ancora spostato in avanti di qualche anno.⁶⁴ Seguendo la tabella di marcia prevista, le sperimentazioni continueranno almeno fino al 2040, quando la tecnologia dovrebbe essere sviluppata al punto da iniziare a produrre energia in quantità sufficiente ad essere sostenibile.⁶⁵ La seconda fase del progetto sarà caratterizzata dalla costruzione di DEMO, una vera e propria centrale elettrica dimostrativa che rappresenterà il punto di partenza per la produzione su larga scala e la commercializzazione di impianti a fusione nucleare, che dovrebbero essere realtà a partire dal 2050.⁶⁶

La sede principale del progetto, dove sta sorgendo l'impianto Tokamak e tutte le strutture a lui collegate, è situata a Cadarache, nel sud della Francia vicino ad Aix-en-Provence. Il sito comprende 180 ettari di terreno ed è anche la sede di uno dei più importanti centri di ricerca francese sulla tecnologia nucleare, istituito nel 1959.⁶⁷ Vista l'importanza e la grandezza di questo progetto, oltre ai vari edifici tecnici legati all'esperimento, sono stati costruiti molteplici alloggi e servizi per i lavoratori e gli scienziati, tra i quali una scuola internazionale per i figli di quest'ultimi.⁶⁸ Tramite la creazione dell'itinerario ITER lo Stato francese, con la collaborazione dell'Unione Europea, si è fatto carico di modificare ed ampliare in maniera importante le infrastrutture logistiche e la viabilità di tutta l'area circostante, in quanto una parte importante delle componenti vengono costruite altrove e trasportate sul sito tramite

⁶⁴ *Nuclear fusion power*, World Nuclear Association, December 2022

⁶⁵ Energia da fusione e progetto ITER, Direzione generale dell'energia, 17/05/2021

⁶⁶ Vedi nota 60

⁶⁷ ROBERT ARNAUX, *Where or what is Cadarache?*, 23/06/2008 <https://www.iter.org/>

⁶⁸ *ITER in France*, Organizzazione ITER, <https://www.iter.org/>

convogli aerei, navali, su gomma o su rotaia di enormi dimensioni.⁶⁹ Il più imponente di questi dovrebbe avere un peso totale di 800 tonnellate.⁷⁰

⁶⁹ *The ITER itinerary*, Organizzazione ITER, <https://www.iter.org/>

⁷⁰ *Transport of the components*, Organizzazione ITER, <https://www.iter.org/>

CONCLUSIONI

L'obiettivo ultimo di questa tesi di laurea è quello di sostenere che l'energia nucleare può e dovrebbe rappresentare un'importante *atoux* per il futuro energetico dell'Unione europea ed essa debba, dunque, essere parte integrante e fondamentale del *Green Deal* europeo. I dati ed i numeri riportati nell'elaborato dimostrano che il mercato dell'energia europeo, ed in particolare quello italiano, è afflitto da una serie di problematiche, si veda in particolare la dipendenza dai Paesi esportatori di carburanti fossili e gas naturale e l'impennata dei prezzi dell'energia, che ne minano il buon andamento e, soprattutto, che la sua struttura dovrà essere fortemente modificata nel corso dei prossimi decenni per poter raggiungere gli obiettivi in materia di lotta al cambiamento climatico che l'Unione europea si è posta tramite la creazione dell'*European Green Deal*. A fronte di questo contesto, si sostiene in questa tesi, che un maggior sfruttamento dell'energia nucleare può risultare cruciale per aiutare a risolvere, almeno in parte, la maggior parte di queste situazioni.

Innanzitutto, questo scenario è reso possibile dall'ingresso dell'energia nucleare nella tassonomia verde europea⁷¹ e, dunque, questa tecnologia potrà beneficiare dei fondi legati ai due grandi filoni del progetto europeo sul tema dell'energia cioè l'*European Green Deal* e REPowerEU. Questa vittoria ottenuta dalla Francia e dagli altri Paesi favorevoli al nucleare è stata ottenuta dopo una lunga battaglia politica contro quegli Stati⁷² che invece vorrebbero un'Europa libera da questa fonte energetica.

Grazie alla ricerca effettuata è stato possibile individuare una serie di vantaggi che il nucleare porta con sé di natura ecologica ed economica ma non solo. L'energia atomica è, infatti, a tutti gli effetti una fonte energetica *green* e, anzi, essa ha una *Carbon Intensity*, cioè la quantità di grammi di CO² emessi per KWh di elettricità prodotti, inferiore rispetto alle altre fonti rinnovabili. Con un quantitativo medio che varia tra i 15 e i 50 gCO²/KWh, tra l'altro prodotto in maniera indiretta cioè non legato

⁷¹ KATE ABNETT, *EU parliament backs labelling gas and nuclear investments as green*, 06/07/2022, <https://www.reuters.com/>

⁷² Austria, Danimarca, Germania, Lussemburgo, Portogallo e in parte la Spagna

all'effettivo processo di generazione dell'energia ma piuttosto alla costruzione degli impianti ed all'estrazione e l'arricchimento dell'uranio, l'energia nucleare produce un terzo del gas serra prodotto dall'idroelettrico ed al solare.⁷³ Il ciclo vitale medio degli impianti atomici molto più lungo rispetto ad altre fonti rinnovabili, inoltre, contribuisce a rendere ancora più favorevole il confronto. Gli impianti nucleari, a differenza degli altri impianti rinnovabili, occupano meno terreno rispetto⁷⁴ e non dipendono totalmente dalla presenza o meno di determinate condizioni meteorologiche che, influenzate dagli effetti del cambiamento climatico, diventano sempre più instabili e imprevedibili. Inoltre, l'energia nucleare, grazie al fatto di poter produrre energia costantemente al massimo delle sue possibilità, è l'unica fonte a bassa intensità carbonica che può essere utilizzata in varie situazioni particolari, come per esempio la produzione di calore per uso industriale.⁷⁵

Se da un lato la dipendenza dal gas russo è fortemente diminuita in seguito ai provvedimenti adottati dopo lo scoppio della guerra in Ucraina, dall'altro lato l'Unione europea importa ancora la quasi totalità dei carburanti fossili che consuma. Un importante aumento della produzione di energia atomica è fondamentale per smarcarsi dall'eccessivo sfruttamento di queste fonti fortemente inquinanti. In questo senso la Commissione europea ha classificato il nucleare come fonte di energia indigena in quanto possono essere immagazzinate importanti quantità di carburante. Secondo il report annuale 2021 dell'ESA, infatti, è già presente sul territorio europeo una quantità tale di uranio da poter mantenere in funzione tutti i reattori nucleari per almeno i prossimi tre anni.⁷⁶ A differenza dei combustibili fossili, inoltre, una grande quantità delle risorse uranifere mondiali sono situate in Paesi storicamente allineati con l'Unione europea come l'Australia ed il Canada.⁷⁷ Inoltre, il carburante esausto può essere riciclato e riutilizzato in appositi reattori per circa il 97%⁷⁸ e ciò permette sia la diminuzione delle quantità di uranio da importare sia la diminuzione della quantità di rifiuti radioattivi prodotti.

⁷³ ANNA J. DAVIS, *The Role of Nuclear Energy in the Global Energy Transition*, 2022, Oxford Institute for Energy Studies

⁷⁴ GEORGE DAVID BANKS, *The Impact of Merging Climate and Trade Policy on Global Demand for Nuclear Energy*, 2022, Atlantic Council

⁷⁵ *Nuclear Power and Energy Security*, Novembre 2022, <https://www.world-nuclear.org/>

⁷⁶ *EURATOM Supply Agency Annual Report 2021*, ESA, 2021

⁷⁷ Vedi nota 3

⁷⁸ *Storage and Disposal of Radioactive Waste*, Gennaio 2023, <https://www.world-nuclear.org/>

Dai documenti consultati è emerso che tutte queste caratteristiche positive uniche dell'energia nucleare possono essere sfruttate ad un prezzo concorrenziale se non inferiore rispetto alle altre fonti *green*. Con un prezzo medio a livello globale di 89 USD/MWh,⁷⁹ che scende a 34 USD/MWh se le centrali vengono sottoposte a lavori di LTO⁸⁰, l'energia nucleare può contare su un LCOE (*Levelized cost of electricity*) simile all'eolico ed al solare.⁸¹ Oltre ai costi più bassi sia la vendita diretta di energia a prezzi più favorevoli sia il mercato di tutta la filiera del nucleare, anche slegata dalla sola produzione di energia, possono rappresentare benefici economici estremamente importanti.

Il continuo avanzamento della ricerca sia legato alla creazione di reattori a fissione sempre più performanti sia allo sviluppo di impianti a fusione nucleare dimostrano come il nucleare potrebbe rappresentare, in un futuro non troppo lontano, la fonte di energia "perfetta". Il progetto ITER, che rappresenta il più importante esperimento al mondo sulla fusione nucleare al quale partecipano la maggior parte dei Paesi più potenti al mondo, si prefigge di poter commercializzare i primi reattori entro il 2060.⁸² Avere accesso a questa tecnologia significherebbe poter produrre energia sicura, pulita ed illimitata a livello globale.

La creazione, che già è almeno in parte iniziata nell'ultimo decennio, di un'Unione europea dell'energia sembra, dunque, essere il prossimo passo naturale ed imprescindibile per affrontare in maniera adeguata ed efficace le principali problematiche del sistema energetico europeo e per raggiungere gli obiettivi futuri in materia climatica. Le discussioni su questo tema, alla luce di tutte le caratteristiche positive di questa fonte illustrate, dovrebbero, però, partire da un'analisi approfondita e libera da preconcetti sulle possibilità che un maggiore sfruttamento dell'energia nucleare aprirebbe all'Unione europea. Non è da sottovalutare, in questo senso, la posizione favorevole da cui si partirebbe potendo contare sull'esperienza e le capacità della Francia, che è uno dei più grandi produttori di energia nucleare al mondo, e grazie alle fondamenta giuridiche, amministrative e

⁷⁹ *Projected Costs of Generating Electricity*, 2022, IEA

⁸⁰ *Long Term Operation*, cioè lavori che allungano il ciclo vitale di un reattore nucleare

⁸¹ Vedi nota 9

⁸² Energia da fusione e progetto ITER, Direzione generale dell'energia, 17/05/2021

commerciali gettate dall'Euratom, che da quasi settant'anni coordina, supervisiona e guida la ricerca dei programmi nucleari degli Stati europei.

Una rivalutazione che deve avvenire non solo a livello politico ed amministrativo ma anche a livello dell'opinione pubblica in quanto una fetta importante della popolazione europea è contraria allo sfruttamento di questa tecnologia. Questa paura, che nasce in parte dai timori legati conseguenze degli incidenti del passato, è spesso alimentata dall'ignoranza in materia e dalla disinformazione sempre più dilagante nel mondo moderno. Istruire i cittadini e far capire alla popolazione che, tra le tante qualità che le appartengono, l'energia nucleare è sicura, è sostenibile ed è economica è il primo passo verso questo obiettivo e, nel suo piccolo, è ciò che questa tesi si augura di fare.

BIBLIOGRAFIA

Pubblicazioni di istituzioni nazionali ed internazionali

COMMISSIONE EUROPEA, *Energy statistical country datasheet*

COMMISSIONE EUROPEA, *EU27 Energy Snapshot 2022*

COMMISSIONE EUROPEA, *EU Emissions Trading System (EU ETS)*

COMMISSIONE EUROPEA, *Carbon Border Adjustment Mechanism*

COMMISSIONE EUROPEA, *European Green Deal*

COMMISSIONE EUROPEA, *State of the Energy Union*

COMMISSIONE EUROPEA, *REPowerEU*

COMMISSIONE EUROPEA, *Denmark Energy Snapshot 2022*

COMMISSIONE EUROPEA, *Estonia Energy Snapshot 2022*

COMMISSIONE EUROPEA, *Luxembourg Energy Snapshot 2022*

COMMISSIONE EUROPEA, *Malta Energy Snapshot 2022*

COMMISSIONE EUROPEA, *Portugal Energy Snapshot 2022*

CONSIGLIO DELL'UNIONE EUROPEA, *European Green Deal*

CONSIGLIO DELL'UNIONE EUROPEA, *European Council conclusions
18/12/2014*

DIREZIONE GENERALE ENERGIA, *Energia da fusione e progetto ITER*

GAZZETTA UFFICIALE UNIONE EUROPEA, *Versione consolidata del trattato
che istituisce la comunità europea dell'energia atomica*

ESA, *EURATOM Supply Agency Annual Report 2021*

IEA, *Projected Costs of Generating Electricity 2022*

IAEA, *Status and Trends in Spent Fuel and Radioactive Waste Management*

IAEA, *IAEA Informed by Slovenian Authority that Krško Nuclear Power Plant in Safe
Shutdown Following Earthquake*

IFNEC, *IFNEC Brochure 2022*

PARLAMENTO EUROPEO, *European Atomic Energy Community (Euratom) – Structures and tools*

UNSCEAR, *Evaluation of Data on Thyroid Cancer in Regions Affected by the Chernobyl Accident*

WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, *Nuclear Power in the European Union*

WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, *Storage and Disposal of Radioactive Waste*

WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, *Nuclear Fusion Power*

WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, *Nuclear Power in France*

WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, *Nuclear Power in Finland*

WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, *Nuclear Power in Italy*

WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, *Nuclear Power and Energy Security*

WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, *The Many Uses of Nuclear Technology*

WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, *Nuclear Power Economics*

WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, *Radioactive Waste Management*

WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, *Storage and Disposal of Radioactive Waste*

WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, *Chernobyl Accident 1986*

WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, *Fukushima Daiichi Accident*

WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, *Financing Nuclear Energy*

WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, *Safety of Nuclear Power Reactor*

Pubblicazioni accademiche e scientifiche

ANNA J. DAVIS, *The Role of Nuclear Energy in the Global Energy Transition, 2022, Oxford Institute for Energy Studies*

GEORGE DAVID BANKS, *The Impact of Merging Climate and Trade Policy on Global Demand for Nuclear Energy, 2022, Atlantic Council*

BORIS BRENDENBACH, *Decommissioning of Nuclear Facilities: Germany's Experience, 2016, IAEA*

FRANKLIN DEHOUSSE - DIDIER VERHOEVEN, The Nuclear Safety Framework in the European Union After Fukushima, 01/12/2014, Egmont Institute

Articoli in Internet

<https://www.euractiv.com/section/energy-environment/news/five-eu-countries-form-anti-nuclear-alliance-at-cop26/>, consultato il 17/05/2023

<https://www.euractiv.com/section/electricity/news/bulgaria-and-greece-advance-nuclear-project-talks/>, consultato il 22/01/2023

<https://www.reuters.com/world/europe/france-host-pro-nuclear-meet-push-eu-recognition-climate-benefits-2023-05-15/>, consultato il 17/05/2023

<https://www.forbes.com/sites/arielcohen/2023/04/03/greta-thunberg-has-embraced-nuclear-power-will-the-greens-follow/>, consultato il 01/06/2023

<https://www.iter.org/sci/whatisfusion>, consultato il 11/05/2023

<https://www.reuters.com/world/europe/czechs-exclude-rosatom-nuclear-tender-after-dispute-with-russia-2021-04-19/>, consultato il 15/02/2023

<https://www.repubblica.it/2008/12/sezioni/esteri/russia-gas/scheda-gas/scheda-gas.html>, consultato il 21/02/2023

<https://euroweeklynews.com/2022/03/04/radiation-zaporizhzhia-chernobyl/>, consultato il 15/02/2023

<https://st.ilsole24ore.com/art/SoleOnLine4/Italia/2009/03/scajola-energia-nucleare.shtml>, consultato il 22/01/2023

https://www.euractiv.com/section/politics/short_news/estonia-plans-to-build-europes-first-small-scale-nuclear-reactor/, consultato il 01/02/2023

https://www.ansa.it/canale_ambiente/notizie/focus_energia/2023/01/12/crisi-energia-la-svezia-punta-sul-nucleare_a315d999-d96f-4fec-a7be-1c9ad2055082.html, consultato il 01/02/2023

<https://www.reuters.com/article/us-spain-energy-idUSKCN1Q212W>, consultato il 15/02/2023

<https://www.reuters.com/business/energy/new-slovak-nuclear-plant-moves-closer-launch-2022-10-24/>, consultato il 15/02/2023

<https://www.energymonitor.ai/sectors/power/the-netherlands-opens-the-door-to-new-nuclear-with-e5bn/>, consultato il 03/02/2023

<https://it.euronews.com/2022/08/27/il-nucleare-russo-arriva-in-ungheria-via-libera-ai-reattori-firmati-rosatom>, consultato il 18/02/2023

<https://www.reuters.com/world/europe/how-will-germany-implement-its-nuclear-power-extension-2022-10-18/>, consultato il 27/01/2023

<https://www.reuters.com/business/energy/russias-gazprom-says-it-has-completed-nord-stream-2-construction-2021-09-10/>, consultato il 03/02/2023

<https://www.iter.org/proj/inafewlines>, consultato il 18/05/2023

<https://www.reuters.com/business/sustainable-business/eu-parliament-vote-green-gas-nuclear-rules-2022-07-06/>, consultato il 21/01/2023

<https://www.euronews.com/2022/03/19/nuclear-energy-belgium-postpones-phase-out-by-10-years-due-to-ukraine-war>, consultato il 10/02/2023

<https://www.armscontrol.org/factsheets/Nuclearweaponswhohaswhat>, consultato il 21/01/2023

https://ec.europa.eu/eurostat/cache/infographs/energy_prices/enprices.html?geos=EU_27_2020,EA,BE,BG,CZ,DK,DE,EE,IE,EL,ES,FR,HR,IT,CY,LV,LT,LU,HU,MT,NL,AT,PL,PT,RO,SI,SK,FI,SE,IS,LI,NO,ME,MK,AL,RS,TR,BA,XK,MD,UA,GE&product=6000&consumer=HOUSEHOLD&consoms=4161902&unit=KWH&taxs=I_TAX,X_TAX,X_VAT&nrg_prc=NETC,NRG_SUP,OTH,TAX_CAP,TAX_ENV,TAX_NUC,TAX_RNW,VAT¤cy=EUR&language=EN&detail=0&component=0&order=DESC&dataset=nrg_pc_204&time=2022-S1&modalOption=0&chartOption=0&precision=1&modalOpen=0&modal=0&modalLineOption=0, consultato il 26/01/2023

<https://sogin.it/en/group/sogin-1999-2019.html>, consultato il 11/05/2023

<https://www.iter.org/proj/iterhistory>, consultato il 18/03/2023

https://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/nucleare, consultato il 13/05/2023

<https://www.archividellascienza.org/it/produttore/IT-MUST-EACCPF001-000586>,
consultato il 16/02/2023

https://research-and-innovation.ec.europa.eu/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-2020_en, consultato il 23/05/2023

<https://www.iter.org/newsline/-/3790>, consultato il 11/05/2023

<https://www.iaea.org/resources/databases/inis>, consultato il 19/05/2023

<https://www.edf.fr/en/the-edf-group/dedicated-sections/journalists/all-press-releases/2021-annual-results>, consultato il 08/02/2023

<https://www.iter.org/newsline/37/783>, consultato il 17/05/2023

<https://www.iter.org/org/iterinfrance>, consultato il 17/05/2023

<https://www.iter.org/transport>, consultato il 18/05/2023

<https://www.iter.org/proj/Countries>, consultato il 17/05/2023

<https://www.iter.org/mach/Tokamak> consultato il 18/05/2023