COMMISSIONI RIUNITE

VIII (Ambiente, territorio e lavori pubblici) e X (Attività produttive, commercio e turismo)

S O M M A R I O

ATTI DEL GOVERNO:

Proposta di nomina di Nicola Dell'Acqua a presidente dell'Autorità di regolazione per energia reti e ambiente (ARERA). Nomina n. 108.

Proposta di nomina di Alessandro Bratti a componente dell'Autorità di regolazione per energia reti e ambiente (ARERA). Nomina n. 109.

Proposta di nomina di Livio De Santoli a componente dell'Autorità di regolazione per energia reti e ambiente (ARERA). Nomina n. 110.

Proposta di nomina di Lorena De Marco a componente dell'Autorità di regolazione per energia reti e ambiente (ARERA). Nomina n. 111.

Proposta di nomina di Francesca Salvemini a componente dell'Autorità di regolazione per energia reti e ambiente (ARERA). Nomina n. 112 *(Seguito dell'esame congiunto, ai sensi dell'articolo 143, comma 4, del Regolamento, e conclusione – Pareri favorevoli)* 26

Schema di decreto legislativo recante attuazione della direttiva (UE) 2023/2413, che modifica la direttiva (UE) 2018/2001, il regolamento (UE) 2018/ 1999 e la direttiva n. 98/70/CE per quanto riguarda la promozione dell'energia da fonti rinnovabili e che abroga la direttiva (UE) 2015/652. Atto n. 324 *(Seguito dell'esame, ai sensi dell'articolo 143, comma 4, del Regolamento, e rinvio)* 29

INDAGINE CONOSCITIVA:

Indagine conoscitiva sul ruolo dell'energia nucleare nella transizione energetica e nel processo di decarbonizzazione *(Esame del documento conclusivo e conclusione – Approvazione del documento conclusivo)* 29

ALLEGATO (Documento conclusivo approvato dalle Commissioni) 32

ATTI DEL GOVERNO

Giovedì 18 dicembre 2025. — Presidenza del presidente della VIII Commissione Mauro ROTELLI.

La seduta comincia alle 14.

Proposta di nomina di Nicola Dell'Acqua a presidente dell'Autorità di regolazione per energia reti e ambiente (ARERA).
Nomina n. 108.

Proposta di nomina di Alessandro Bratti a componente dell'Autorità di regolazione per energia reti e ambiente (ARERA).
Nomina n. 109.

Proposta di nomina di Livio De Santoli a componente dell'Autorità di regolazione per energia reti e ambiente (ARERA).
Nomina n. 110.

Proposta di nomina di Lorena De Marco a componente dell'Autorità di regolazione per energia reti e ambiente (ARERA).
Nomina n. 111.

Proposta di nomina di Francesca Salvemini a componente dell'Autorità di regolazione per energia reti e ambiente (ARERA).
Nomina n. 112.

(Seguito dell'esame congiunto, ai sensi dell'articolo 143, comma 4, del Regolamento, e conclusione – Pareri favorevoli).

Le Commissioni proseguono l'esame delle proposte di nomina, rinviato nella seduta del 16 dicembre 2025.

Mauro ROTELLI, *presidente*, ricorda che nella seduta di martedì 16 dicembre è stato avviato l'esame delle predette proposte di nomina e che sono state svolte le audizioni informali dei candidati designati. Rammenta, inoltre, che i relatori hanno formulato un parere favorevole su tutte le proposte di nomina.

Avverte che le proposte di nomina risulteranno approvate solo ove conseguano voti favorevoli da parte di almeno i due terzi dei componenti delle Commissioni. Nel caso in cui tale maggioranza qualificata non venga conseguita si intenderà espresso parere contrario sulle proposte di nomina.

Dopo aver comunicato le sostituzioni, invita i deputati segretari a procedere alle operazioni di voto.

Le Commissioni procedono alla votazione a scrutinio segreto sulle proposte di parere favorevoli dei relatori relative alle proposte di nomina di Nicola Dell'Acqua a presidente dell'Autorità di regolazione per energia, reti e ambiente (nomina n. 108), nonché di Alessandro Bratti, di Livio De Santoli, di Lorena De Marco e di Francesca Salvemini a componenti della medesima Autorità (nomine n. 109, n. 110, n. 111 e n. 112).

Mauro ROTELLI, *presidente*, comunica il risultato della votazione sulla proposta di nomina di Nicola Dell'Acqua a presidente dell'Autorità di regolazione per energia, reti e ambiente (Nomina n. 108):

Presenti	47
Votanti	44
Astenuti	3
Maggioranza	39

Hanno votato *sì* 44

(*Le Commissioni approvano*).

Hanno preso parte alla votazione i deputati: Andreuzza, Antoniozzi, Appendino, Barabotti, Battilocchio in sostituzione di Battistoni, Benvenuti Gostoli, Benvenuto, Braga, Caiata, Cappelletti, Caramanna, De Palma in sostituzione di Casasco, Comba, Bagnasco in sostituzione di Cortelazzo, Curti, De Micheli, Di Mattina, Di Sanzo, Ferrara, Ferrari, Giovine, Gnassi, Gusmeroli, Amich in sostituzione di Iaia, Lampis, Maerna, Manes, Mattia, Milani, Montemagni, Morfino, Pandolfo, Pavanelli, Peluffo, Pietrella, Pizzimenti, Polidori, Almici in sostituzione di Fabrizio Rossi, Rotelli, Santillo, Schiano di Visconti, Simiani, Squeri e Zucconi.

Si sono astenuti i deputati: Benzoni, Ghirra e Ruffino.

Mauro ROTELLI, *presidente*, comunica il risultato della votazione sulla proposta di nomina di Alessandro Bratti a componente dell'Autorità di regolazione per energia reti e ambiente (ARERA) (Nomina n. 109):

Presenti	47
Votanti	44
Astenuti	3
Maggioranza	39

Hanno votato *sì* 44

(*Le Commissioni approvano*).

Hanno preso parte alla votazione i deputati: Andreuzza, Antoniozzi, Appendino, Barabotti, Battilocchio in sostituzione di Battistoni, Benvenuti Gostoli, Benvenuto, Braga, Caiata, Cappelletti, Caramanna, De Palma in sostituzione di Casasco, Comba, Bagnasco in sostituzione di Cortelazzo, Curti, De Micheli, Di Mattina, Di Sanzo, Ferrara, Ferrari, Giovine, Gnassi, Gusmeroli, Amich in sostituzione di Iaia, Lampis, Maerna, Manes, Mattia, Milani, Montemagni, Mor-

fino, Pandolfo, Pavanelli, Peluffo, Pietrella, Pizzimenti, Polidori, Almici in sostituzione di Fabrizio Rossi, Rotelli, Santillo, Schiano di Visconti, Simiani, Squeri e Zucconi.

Si sono astenuti i deputati: Benzoni, Ghirra e Ruffino.

Mauro ROTELLI, *presidente*, comunica il risultato della votazione sulla proposta di nomina di Livio De Santoli a componente dell'Autorità di regolazione per energia reti e ambiente (ARERA) (Nomina n. 110):

Presenti	47
Votanti	44
Astenuti	3
Maggioranza	39

Hanno votato *sì* 44

(*Le Commissioni approvano*).

Hanno preso parte alla votazione i deputati: Andreuzza, Antoniozzi, Appendino, Barabotti, Battilocchio in sostituzione di Battistoni, Benvenuti Gostoli, Benvenuto, Braga, Caiata, Cappelletti, Caramanna, De Palma in sostituzione di Casasco, Comba, Bagnasco in sostituzione di Cortelazzo, Curti, De Micheli, Di Mattina, Di Sanzo, Ferrara, Ferrari, Giovine, Gnassi, Gusmeroli, Amich in sostituzione di Iaia, Lampis, Maerna, Manes, Mattia, Milani, Montemagni, Morfino, Pandolfo, Pavanelli, Peluffo, Pietrella, Pizzimenti, Polidori, Almici in sostituzione di Rossi Fabrizio, Rotelli, Santillo, Schiano di Visconti, Simiani, Squeri e Zucconi.

Si sono astenuti i deputati: Benzoni, Ghirra e Ruffino.

Mauro ROTELLI, *presidente*, comunica il risultato della votazione sulla proposta di nomina di Lorena De Marco a componente dell'Autorità di regolazione per energia reti e ambiente (ARERA) (Nomina n. 111):

Presenti	47
Votanti	44
Astenuti	3
Maggioranza	39

Hanno votato *sì* 44

(*Le Commissioni approvano*).

Hanno preso parte alla votazione i deputati: Andreuzza, Antoniozzi, Appendino, Barabotti, Battilocchio in sostituzione di Battistoni, Benvenuti Gostoli, Benvenuto, Braga, Caiata, Cappelletti, Caramanna, De Palma in sostituzione di Casasco, Comba, Bagnasco in sostituzione di Cortelazzo, Curti, De Micheli, Di Mattina, Di Sanzo, Ferrara, Ferrari, Giovine, Gnassi, Gusmeroli, Amich in sostituzione di Iaia, Lampis, Maerna, Manes, Mattia, Milani, Montemagni, Morfino, Pandolfo, Pavanelli, Peluffo, Pietrella, Pizzimenti, Polidori, Almici in sostituzione di Fabrizio Rossi, Rotelli, Santillo, Schiano di Visconti, Simiani, Squeri e Zucconi.

Si sono astenuti i deputati: Benzoni, Ghirra e Ruffino.

Mauro ROTELLI, *presidente*, comunica il risultato della votazione sulla proposta di nomina di Francesca Salvemini a componente dell'Autorità di regolazione per energia reti e ambiente (ARERA) (Nomina n. 112):

Presenti	47
Votanti	44
Astenuti	3
Maggioranza	39

Hanno votato *sì* 44

(*Le Commissioni approvano*).

Hanno preso parte alla votazione i deputati: Andreuzza, Antoniozzi, Appendino, Barabotti, Battilocchio in sostituzione di Battistoni, Benvenuti Gostoli, Benvenuto, Braga, Caiata, Cappelletti, Caramanna, De Palma in sostituzione di Casasco, Comba, Bagnasco in sostituzione di Cortelazzo, Curti, De Micheli, Di Mattina, Di Sanzo, Ferrara, Ferrari, Giovine, Gnassi, Gusmeroli, Amich in sostituzione di Iaia, Lampis, Maerna, Manes, Mattia, Milani, Montemagni, Morfino, Pandolfo, Pavanelli, Peluffo, Pietrella, Pizzimenti, Polidori, Almici in sostituzione

di Fabrizio Rossi, Rotelli, Santillo, Schiano di Visconti, Simiani, Squeri e Zucconi.

Si sono astenuti i deputati: Benzoni, Ghirra e Ruffino.

Mauro ROTELLI, *presidente*, avverte che comunicherà i pareri favorevoli testé espressi alla Presidenza della Camera, ai fini della trasmissione al Governo.

Schema di decreto legislativo recante attuazione della direttiva (UE) 2023/2413, che modifica la direttiva (UE) 2018/2001, il regolamento (UE) 2018/ 1999 e la direttiva n. 98/70/CE per quanto riguarda la promozione dell'energia da fonti rinnovabili e che abroga la direttiva (UE) 2015/652.
Atto n. 324.

(Seguito dell'esame, ai sensi dell'articolo 143, comma 4, del Regolamento, e rinvio).

Le Commissioni proseguono l'esame dello schema di decreto, rinviato nella seduta del 19 novembre 2025.

Mauro ROTELLI, *presidente*, ricorda che l'atto è assegnato con riserva, in quanto non corredato della prescritta intesa della Conferenza unificata, che dovrebbe essere trasmessa nei prossimi giorni. D'intesa con il presidente Gusmeroli, si riserva quindi di verificare i possibili spazi in cui convocare le Commissioni ai fini dell'espressione del prescritto parere.

Nessuno chiedendo di intervenire, rinvia quindi il seguito dell'esame ad altra seduta.

La seduta termina alle 14.35.

INDAGINE CONOSCITIVA

Giovedì 18 dicembre 2025. — Presidenza del presidente della VIII Commissione Mauro ROTELLI.

La seduta comincia alle 14.35.

Indagine conoscitiva sul ruolo dell'energia nucleare nella transizione energetica e nel processo di decarbonizzazione.

(Esame del documento conclusivo e conclusione – Approvazione del documento conclusivo).

Le Commissioni iniziano l'esame del documento conclusivo.

Mauro ROTELLI, *presidente*, avverte che la pubblicità dei lavori sarà assicurata anche mediante la resocontazione stenografica.

Comunica che, a conclusione delle audizioni svolte, è stata predisposta una proposta di documento conclusivo, che è stata trasmessa a tutti i componenti delle Commissioni e che tiene conto anche di alcune modifiche richieste dai gruppi *(vedi allegato)*.

Enrico CAPPELLETTI (M5S), nel ricordare che il suo gruppo era stato tra i presentatori dello svolgimento dell'indagine conoscitiva, esprime la propria insoddisfazione con riguardo alla proposta di documento conclusivo presentato alle Commissioni. Ritiene che il documento conclusivo avrebbe dovuto fornire al Governo spunti da sviluppare poi in una proposta legislativa o comunque a definire linee di indirizzo per la politica del settore.

Evidenzia inoltre che la proposta di documento conclusivo raccoglie contributi assai diversi tra loro provenienti da differenti soggetti, mettendo insieme contributi fondati scientificamente con opinioni provenienti da settori produttivi o sociali che suonano in realtà come pura propaganda. Sottolinea poi che il documento non dà risposta al problema dei costi, che graveranno sui cittadini e in particolare sulla bolletta energetica contrariamente a quanto sostenuto dai ministri Urso e Pichetto Fratin. Ritiene inoltre che l'energia nucleare non risolverà il problema dell'autonomia energetica, in quanto la materia prima, l'uranio, è fortemente tendenzialmente concentrata in un solo paese, la Russia, e che proprio un'impresa russa detiene oltre un

terzo delle riserve mondiali di uranio arricchito. Con riferimento poi alle riserve esistenti di tale materiale ricorda che recenti studi stimano la loro durata solo per alcuni altri decenni, in pratica il tempo necessario a costruire una centrale nucleare italiana che una volta in attività forse non avrà materiale fissile, essendo ormai esaurito. Evidenzia poi la grave problematica della gestione dei rifiuti nucleari, soprattutto di quelli ad alta radioattività, ricordando che al mondo attualmente non esiste una risposta efficace.

Per tali motivi, conclude preannunciando il voto contrario del suo gruppo sulla proposta di documento conclusivo presentato.

Francesca GHIRRA (AVS) esprime apprezzamento circa l'accoglimento delle proposte di integrazione al documento conclusivo in esame presentate dal suo gruppo. Prende atto della difficoltà di sintetizzare all'interno della proposta di documento conclusivo le diverse posizioni emerse durante il ciclo di audizioni svolto nell'ambito dell'indagine conoscitiva su un tema così divisivo. Per tale motivo, preannuncia il voto di astensione da parte del suo gruppo sulla proposta di documento conclusivo presentata.

Christian Diego DI SANZO (PD-IDP), fa presente come sia stato proprio il suo Gruppo ad aver richiesto la votazione di un documento conclusivo che possa fungere da strumento di informazione per la cittadinanza, ma soprattutto per i deputati delle altre Commissioni che saranno chiamate a rendere un parere sul disegno di legge sul nucleare sostenibile recentemente trasmesso al Parlamento. Allo stesso tempo, però, esprime perplessità sulla proposta di documento conclusivo in esame alla luce della mancata attenzione posta sulle posizioni contrastanti emerse nel corso del ciclo di audizioni svolto. In particolare, sottolinea come sarebbe stato opportuno effettuare una classificazione delle opinioni espresse dagli auditi distinguendole in base alla loro derivazione accademica o industriale, ad esempio, con evidenti conseguenze in termini di interesse economico coinvolto e di autorevolezza scientifica espressa. Per tali motivi, preannuncia il voto di astensione da parte del suo gruppo sulla proposta di documento conclusivo presentata.

Luca SQUERI (FI-PPE) evidenzia come il dibattito in corso sia la prova che il tema del nucleare costituisce un terreno di divisione e confronto con cui queste Commissioni saranno chiamate presto a misurarsi. Esprime apprezzamento nei confronti delle Presidenze circa la decisione di presentare un documento a conclusione dell'indagine conoscitiva che contenga tutte le posizioni espresse dagli auditi nel corso del ciclo di audizioni svolto. Evidenzia come sia volontà dell'attuale maggioranza politica puntare sull'energia nucleare, confidando in una più ampia condivisione possibile da parte delle forze di opposizione. Ritiene che per raggiungere l'obiettivo della decarbonizzazione è necessario individuare un *mix* energetico che affianchi alle rinnovabili un'energia stabile e programmabile come quella nucleare. Rammenta, infine, come la strada sia tracciata e spetterà alle Commissioni riunite cogliere le sfide che il futuro prossimo presenterà.

Daniela RUFFINO (AZ-PER-RE) ricorda l'iniziativa pubblica di raccolta di sottoscrizioni per la presentazione di una proposta di legge di iniziativa popolare a sostegno del ritorno dell'energia nucleare in Italia, facendo presente che tale iniziativa ha registrato un riscontro significativo e ha evidenziato un livello di interesse rilevante da parte dei cittadini. Sottolinea, tuttavia, la necessità di affrontare il tema senza irrigidirsi su posizioni ideologiche e con piena disponibilità ad un confronto aperto e responsabile, considerato che il percorso prospettato si presenta lungo e complesso. Al riguardo, osserva infatti che non si possono escludere resistenze, tanto da parte delle forze di maggioranza quanto da parte di quelle di opposizione.

Ritiene pertanto indispensabile superare tali divergenze, richiamando l'esigenza di collocare la discussione su un piano più alto, orientato alla costruzione di benefici

concreti a favore dei cittadini. Conclude evidenziando come il confronto avviato in sede di Commissioni riunite costituisca un primo momento di approfondimento e di verifica, destinato a trovare ulteriore sviluppo nel prosieguo del dibattito.

Massimo MILANI (FDI), richiamandosi alle considerazioni testé svolte dalla deputata Ruffino, evidenzia come l'indagine conoscitiva abbia costituito un lavoro di particolare rilievo, in quanto ha contribuito a riaprire, nel contesto nazionale, un dibattito di ampia portata sul tema dell'energia nucleare civile per la produzione di energia elettrica. Sottolinea che la proposta di documento conclusivo che le Commissioni si apprestano ad approvare restituisce fedelmente l'articolato percorso di approfondimento sviluppato nel corso di diversi mesi e che, coerentemente, non assume determinazioni di carattere politico, rinviate ai successivi passaggi legislativi.

Osserva, pertanto, che la proposta di documento conclusivo si limita a rappresentare in modo rigoroso e oggettivo il lavoro svolto dalle Commissioni, caratterizzato da un approccio attento e approfondito, pur nella legittima pluralità delle posizioni espresse nel dibattito, evidenziando come il confronto nel merito delle scelte di indirizzo sarà oggetto dei futuri provvedimenti.

Alla luce di tali considerazioni, preannuncia il voto favorevole del gruppo Fratelli d'Italia sulla proposta di documento conclusivo dell'indagine conoscitiva e auspica, al contempo, un'ulteriore riflessione da parte dei gruppi che hanno preannunciato voto contrario.

Le Commissioni approvano la proposta di documento conclusivo dell'indagine conoscitiva *(vedi allegato)*.

La seduta termina alle 15.

N.B.: Il resoconto stenografico della seduta è pubblicato in un fascicolo a parte.

ALLEGATO

Indagine conoscitiva sul ruolo dell'energia nucleare nella transizione energetica e nel processo di decarbonizzazione.

DOCUMENTO CONCLUSIVO APPROVATO DALLE COMMISSIONI

INDICE

Premessa 33

Il contesto extra-europeo ed europeo 35

Contesto extra-europeo 35

Contesto europeo 42

Le prospettive di decarbonizzazione, sicurezza energetica e sviluppo di ricerca e industria 51

I costi 76

Questioni relative alla tutela dell'ambiente e della salute .. 89

Questioni connesse allo sviluppo dell'energia nucleare 103

L'approvvigionamento di uranio 109

Le nuove tecnologie 113

Nucleare di IV generazione 113

Small Modular Reactors (SMR) 117

Fusione nucleare 133

Premessa

Gli Uffici di Presidenza, integrati dai rappresentanti dei gruppi, delle Commissioni X Attività produttive e VIII Ambiente e lavori pubblici della Camera dei deputati, nella riunione congiunta del 27 febbraio 2024, hanno convenuto sull'opportunità di svolgere un'indagine conoscitiva sul ruolo dell'energia nucleare nella transizione energetica e nel processo di decarbonizzazione, sulla quale è stata acquisita, ai sensi dell'articolo 144, comma 1, del regolamento, l'intesa con il Presidente della Camera.

L'indagine conoscitiva è stata quindi deliberata dalle Commissioni nella seduta del 5 marzo 2024 ed è stato fissato al 15 giugno 2024 il termine per la sua conclusione. Tale termine è stato quindi dapprima prorogato al 31 dicembre 2024 e successivamente al 31 marzo 2025.

Gli obiettivi dell'indagine, secondo quanto prevede il programma deliberato, sono i seguenti:

- esaminare costi e rischi di approvvigionamento delle tecnologie nucleari e della materia prima fissile e valutare costi e benefici rispetto ad altre fonti energetiche per il sistema industriale nazionale;
- valutare il potenziale industriale italiano nel settore nucleare, mantenutosi anche grazie alle sinergie con le attività di realizzazione di centrali nucleari nel mondo; valutare le competenze e capacità italiane mantenute in questo settore da università e settore pubblico, e sviluppate anche grazie alla partecipazione a progetti internazionali;
- verificare i progressi compiuti in ambito scientifico, tecnico e tecnologico, concentrando l'attenzione sulle tecnologie di ultima generazione in fase più avanzata di realizzazione;
- analizzare le modalità di gestione dei rifiuti di natura nucleare a bassa, media ed alta intensità, anche in termini di valutazione dei costi di gestione e di adeguatezza delle strutture che li ospitano; verificare lo stato dell'arte del *decommissioning* delle centrali presenti sul territorio italiano e dell'individuazione e delle bonifiche delle sorgenti orfane;
- verificare le iniziative da adottare per attrarre nel Paese imprese, tecnologie e competenze scientifiche e ingegneristiche operanti nel settore nucleare; valutare i possibili sviluppi futuri nel settore del nucleare, anche con riferimento ai tempi di attuazione, in particolare in relazione allo sviluppo dell'energia da fusione e delle altre tecnologie ancora in fase sperimentale;
- valutare i costi e i rischi connessi con l'approvvigionamento del materiale fissile, il funzionamento e la sicurezza degli impianti nucleari, il trattamento e la disposizione finale delle scorie, il trasporto delle sostanze radioattive.

Le Commissioni hanno svolto un ampio ciclo di audizioni dal 19 marzo 2024 al 4 marzo 2025. I resoconti stenografici di tutte le audizioni e la documentazione depositata sono consultabili nel sito web della Camera dei deputati.

Il presente documento conclusivo contiene i principali elementi di informazione e di valutazione acquisiti nel corso delle audizioni e raggruppati in diversi ambiti tematici di seguito riportati e concernenti: il contesto extra-europeo ed europeo nel quale si sviluppa l'energia nucleare; le prospettive di decarbonizzazione, sicurezza energetica e sviluppo di ricerca e industria; i costi; questioni relative alla tutela dell'ambiente e della salute; questioni connesse allo sviluppo dell'energia nucleare; l'approvvigionamento di uranio; le nuove tecnologie relative al nucleare di IV generazione, agli *Small Modular Reactors* (SMR) e alla fusione nucleare.

Gli elementi acquisiti delineano un quadro conoscitivo articolato e numerosi elementi di valutazione, sulla cui base potranno svilupparsi, a livello parlamentare, le future riflessioni sulla materia dell'energia nucleare nell'ambito dell'esame del disegno di legge delega in materia di energia nucleare sostenibile, che sarà esaminato dalle Commissioni riunite VIII e X in sede referente.

Il contesto extra-europeo ed europeo

Contesto extra-europeo

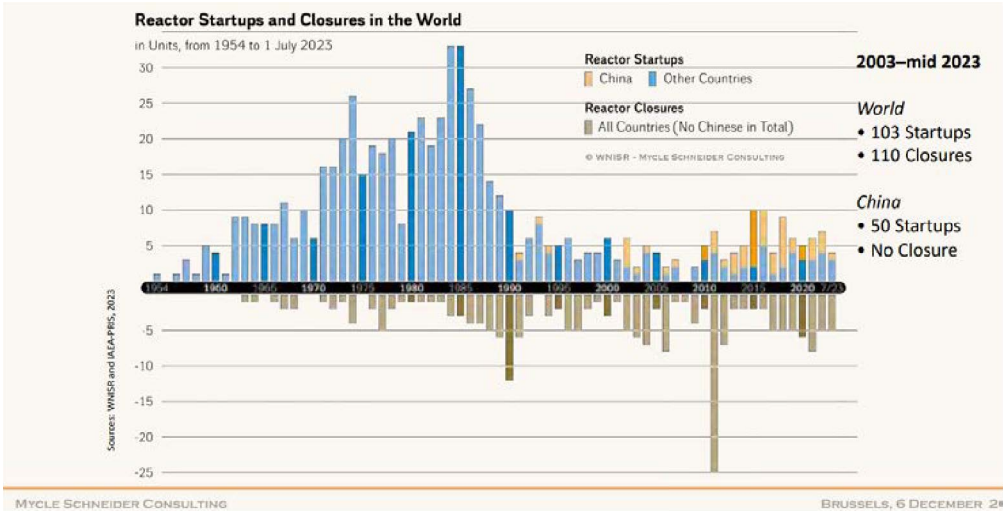
Enrico Zio, professore ordinario di impianti nucleari al Politecnico di Milano

Nel corso dell'audizione del 19 marzo 2024, è stato evidenziato come il cambiamento climatico, unitamente alle crescenti disuguaglianze economiche e alle tensioni geopolitiche, rappresenti uno dei principali fattori che orientano la comunità internazionale verso la ricerca di fonti energetiche abbondanti, a basse emissioni, economicamente competitive e affidabili. In tale contesto, è stato segnalato un rinnovato interesse per l'ingegneria nucleare e per la costruzione di nuovi impianti, con una previsione di significativo sviluppo nei prossimi dieci anni, in particolare in Cina e in India, dove le tecnologie ad acqua appaiono prevalenti. È stato altresì osservato che circa cinquanta Paesi stanno valutando l'avvio di programmi nucleari e che in Nord America si registra un forte coinvolgimento del capitale privato, con investimenti complessivi pari a circa 4 miliardi di dollari, e un impegno pubblico che, per il solo bilancio federale statunitense per il 2025, ammonta a 1,6 miliardi di dollari. Sono stati infine richiamati l'avvio di nuove progettualità in Canada, la decisione del Governo giapponese di riattivare impianti sospesi, il piano cinese per un'espansione di 150 GW da ottenersi mediante l'energia nucleare in quindici anni e la revisione delle politiche di *phase-out* dall'energia nucleare in Corea del Sud e in Svezia.

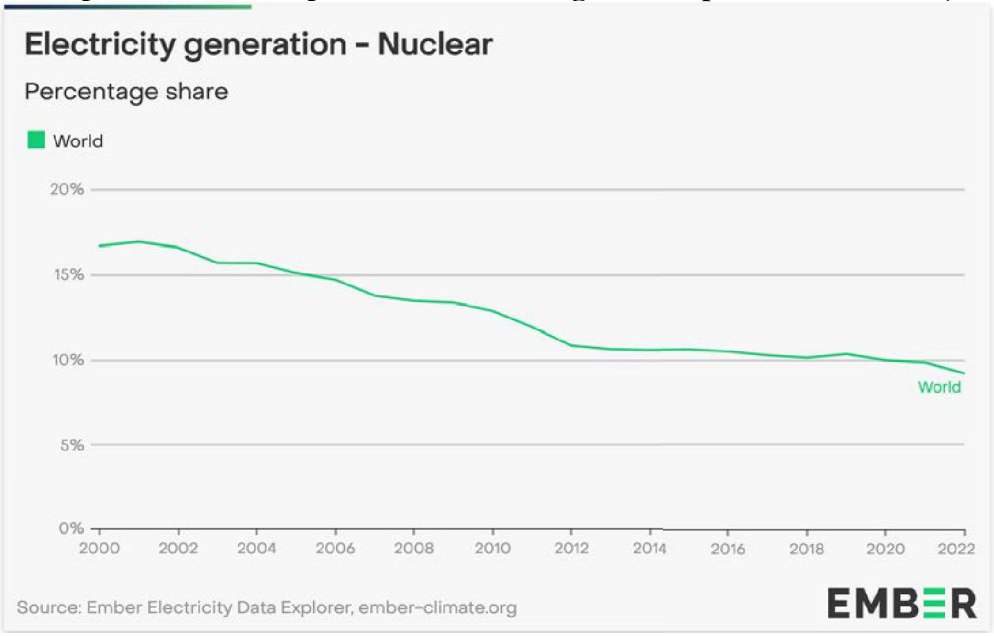
Greenpeace Italia

Nel documento trasmesso alle Commissioni Greenpeace Italia ha evidenziato, sulla base dei dati riportati nel grafico sottostante e allegato alla documentazione consegnata, che il numero di reattori avviati nel mondo è crollato ormai da vent'anni e in questi ultimi decenni una minima ripresa è legata soprattutto ai reattori costruiti in Cina. Data l'età media dei reattori commerciali attualmente operativi, che è di 31,9 anni (marzo 2024), e lo stallo nella costruzione di nuovi reattori, la strategia dell'industria nucleare in Occidente si sta concentrando soprattutto nel prolungare la vita utile dei vecchi reattori, strategia peraltro non priva di rischi.

La quota di energia nucleare sul totale della produzione elettrica mondiale è scesa dal picco del 17 per cento raggiunto nel 1996 a circa il 9,2 per cento del 2022, come si vede nell'allegato. Va peraltro ricordato come, nei Paesi aderenti all'OCSE, gli investimenti pubblici in ricerca e sviluppo dal 2000 al 2022 destinati alle tecnologie di fissione e fusione nucleare siano pari a circa 102 miliardi di euro, mentre per tutte le fonti rinnovabili nello stesso periodo gli investimenti ammontano a circa 62 miliardi.



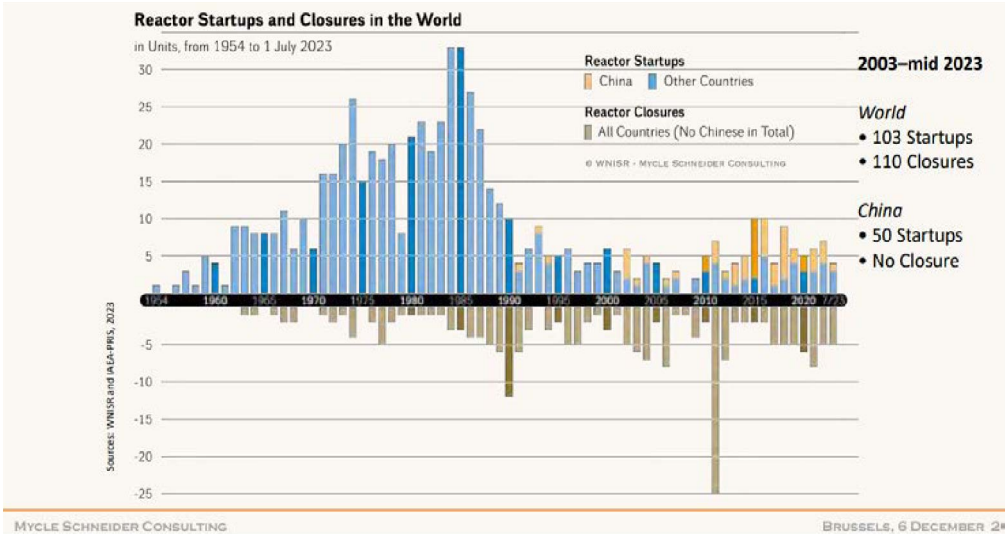
Quota percentuale della produzione elettrica globale coperta dal nucleare (2000-22)



ECCO – think tank italiano per il clima

Nel corso dell'audizione del 3 aprile 2024, Michele Governatori, responsabile del settore elettricità e gas di ECCO, ha evidenziato, sulla base dei dati riportati nel grafico sottostante e allegato alla documentazione consegnata, come la fase di massima espansione del nucleare risalga agli anni Novanta del secolo scorso, periodo in cui si registra il numero più elevato di impianti costruiti a fronte di numerose successive dismissioni. È stato tuttavia rilevato che, pur trattandosi di un *trend* ormai consolidato, si osserva una parziale inversione di tendenza,

in particolare in alcuni Paesi a limitata partecipazione democratica, tra cui la Cina, che stanno ricominciando a investire in modo significativo nel settore nucleare.



WWF Italia

Nel corso dell'audizione del 9 aprile 2024 la responsabile del settore clima ed energia di WWF Italia, Mariagrazia Midulla, ha posto in evidenza come nel mondo sarebbero operativi 411 reattori con un'età media di circa 31 anni (ad esempio quelli negli USA superano i 41 anni e quelli francesi sfiorano i 37 anni), un'età che è andata aumentando nel tempo soprattutto per ragioni economiche (alti costi del *decommissioning*) che hanno spinto molti operatori in diversi paesi (ad esempio Francia) a voler prolungare da 40 a 60 anni la vita degli impianti, con un evidente aumento dei rischi per usura e deterioramento dei materiali esposti alle radiazioni del processo di fissione.

Parallelamente si è anche verificato un non sufficiente ingresso di nuove unità così nelle due decadi che vanno dal 2002 al 2021 a fronte di 98 nuovi ingressi si sono verificate 105 chiusure. Oltre la metà dei nuovi reattori è stata realizzata in Cina. Attualmente nel mondo sarebbero in costruzione 53 nuove unità, con tempi di realizzazione molto diversi. Tecnicamente il numero di nuovi reattori non sarà in grado di sostituire quelli che dovranno essere dismessi per raggiunti limiti di età.

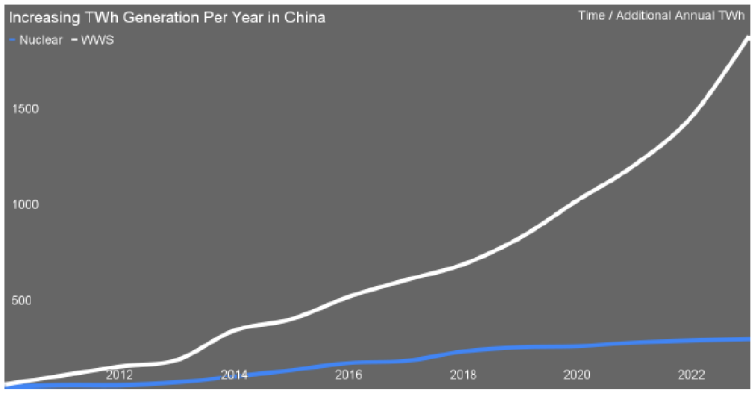
Gianni Silvestrini, direttore scientifico di Kyoto Club

Nel corso dell'audizione del 24 settembre 2024, il direttore scientifico di Kyoto Club, Gianni Silvestrini, ha evidenziato come la Cina, nel perseguire l'obiettivo di ridurre progressivamente l'utilizzo del carbone, stia investendo con decisione non solo nel nucleare, ma anche nelle fonti rinnovabili e nell'idroelettrico. Sulla base dei dati riportati nel grafico

allegato alla documentazione depositata, è stato rilevato che, fino al 2023, la crescita delle rinnovabili risulta circa sei volte superiore rispetto al contributo del nucleare.

Incremento annuo della produzione rinnovabili e nucleare in Cina

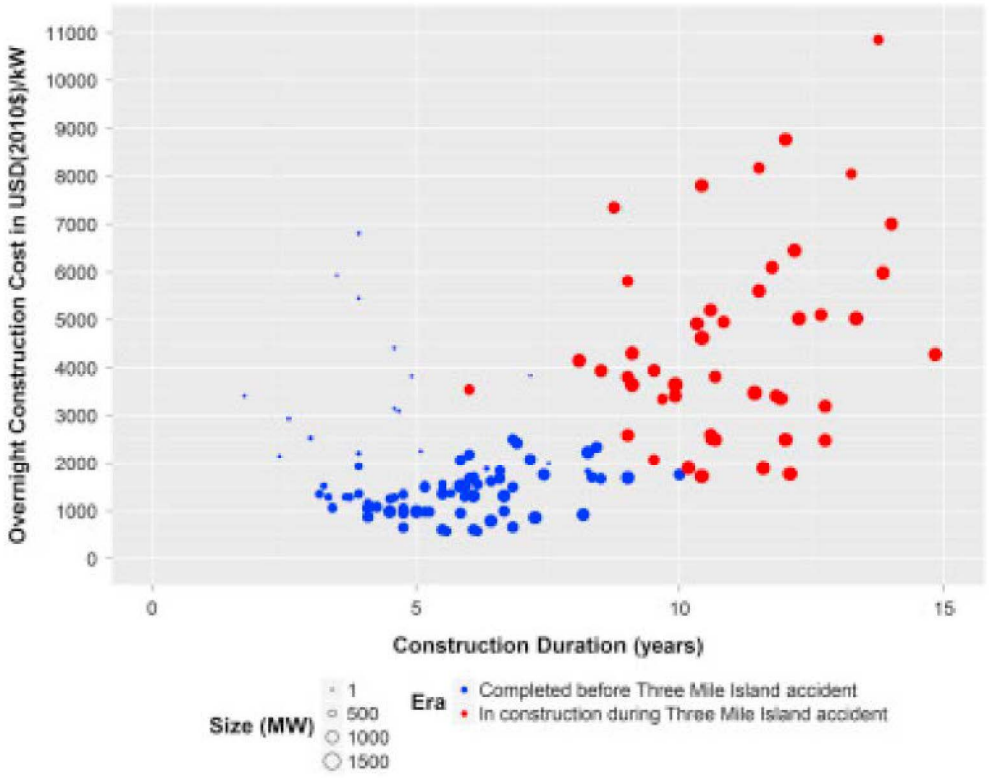
Michael Barnard, Chief Strategist, TFIE Strategy Inc



In Cina la quota di elettricità verde, in forte ascesa, è stata nel 2023 quasi sei volte superiore a quella del nucleare.

È stato altresì sottolineato che il rapido calo dei costi delle tecnologie rinnovabili apre la prospettiva di un percorso verso la neutralità climatica fondato su efficienza energetica, fonti rinnovabili e sistemi di accumulo di lunga durata.

Con riferimento al contesto statunitense, è stato infine osservato che, nonostante un recente stanziamento governativo di 6 miliardi di dollari a sostegno del comparto, la costruzione di nuovi impianti ha registrato ritardi significativi e un incremento dei costi, come evidenziato nel seguente grafico del documento depositato, che indica il passaggio da tempi medi di realizzazione di circa cinque anni a durate prossime ai quindici.



Ansaldo Nucleare S.p.A.

Nel corso dell'audizione del 3 ottobre 2024, l'amministratore delegato di Ansaldo Nucleare S.p.A., Daniela Gentile, ha evidenziato come la regione Asia-Pacifico (APAC) rappresenti attualmente l'area geografica più dinamica nello sviluppo di nuove progettualità nel settore nucleare, concentrando 40 dei 61 impianti in costruzione a livello mondiale.

È stato rilevato che, sulla base dei piani di sviluppo in corso, l'area APAC potrebbe detenere, già entro il 2030, la quota prevalente di generazione nucleare a livello globale. In tale contesto, la Cina si distingue per un programma particolarmente ambizioso, che ne consolida la posizione di *leader* internazionale nel comparto e che ha già determinato, negli ultimi vent'anni, un raddoppio della quota di energia nucleare nel proprio *mix* energetico.

Fare Ambiente – Movimento ecologista europeo

Nel corso dell'audizione dell'8 gennaio 2025, il presidente di Fare Ambiente – Movimento ecologista europeo, Vincenzo Pepe, ha richiamato l'esperienza del reattore di Olkiluoto, sottolineando come, pur a fronte di un raddoppio dei costi in fase di costruzione, l'impianto abbia conseguito un risultato di rilievo attraverso il dimezzamento delle bollette nazionali.

Con riferimento ai tempi di realizzazione, è stato altresì richiamato il caso degli Emirati Arabi Uniti, ritenuto di particolare rilievo in quanto il primo reattore è stato completato nel 2020, partendo da una condizione iniziale di totale assenza di infrastrutture nucleari e portando a compimento l'intero progetto in un arco temporale complessivo di dodici anni.

Marco Ricotti, presidente del Consorzio inter-universitario per la ricerca tecnologica nucleare (CIRTEN)

Nel corso dell'audizione del 30 gennaio 2025, il presidente del Consorzio interuniversitario per la ricerca tecnologica nucleare (CIRTEN), Marco Ricotti, ha riferito che le centrali nucleari attualmente in costruzione a livello mondiale sono sessantadue, di cui circa tre quarti localizzate in Cina e in Russia e realizzate con tecnologia russa.

Tale dato, è stato osservato, testimonia uno spostamento del baricentro tecnologico verso oriente e un conseguente arretramento dell'Occidente, che dovrebbe tornare a investire nello sviluppo di tali competenze, al fine di perseguire obiettivi di decarbonizzazione e di autonomia strategica.

Con riferimento al contesto europeo, è stato inoltre rilevato che i programmi di ricerca e sviluppo includono tanto i grandi quanto i piccoli reattori, nonché le soluzioni riconducibili alla IV generazione.

Marco Bella, professore associato di Chimica organica presso l'Università degli studi di Roma La Sapienza

Nel corso dell'audizione del 22 maggio 2024, è stato osservato come i principali costruttori di reattori a livello mondiale siano attualmente la Cina e, in misura ancor più rilevante, la Russia.

È stato richiamato, a titolo esemplificativo, il caso della nuova centrale in costruzione in Turchia, inaugurata congiuntamente dai presidenti Putin ed Erdoğan, finanziata, gestita e alimentata con combustibile di origine russa, consistente in uranio arricchito, la cui produzione è ormai concentrata quasi esclusivamente nel territorio russo. Tale circostanza, è stato sottolineato, determina la presenza di una infrastruttura energetica di rilievo strategico riconducibile alla Russia all'interno di un Paese membro della NATO.

È stato inoltre ricordato che anche gli Stati Uniti, fino ad oggi, hanno importato dalla Russia significativi quantitativi di combustibile nucleare, per valori pari a diversi miliardi di dollari, configurando un quadro di persistente dipendenza energetica.

Massimiliano Fratoni, professore associato presso il dipartimento di ingegneria nucleare dell'Università della California

Nel corso dell'audizione del 19 febbraio 2025, è stato illustrato come gli Stati Uniti rappresentino oggi uno dei contesti più avanzati nello sviluppo delle nuove tecnologie

nucleari, grazie a un'intensa attività di investimento sia pubblico sia privato. È stato ricordato che il Governo statunitense ha avviato il programma "*Advanced Reactor Demonstration Program*", finalizzato alla selezione e alla realizzazione di reattori avanzati, mentre negli ultimi anni si sono registrati consistenti investimenti da parte di grandi operatori privati, quali Google, Microsoft e Meta, interessati ad assicurare approvvigionamenti energetici stabili per sostenere la crescita delle infrastrutture dedicate all'intelligenza artificiale.

È stato inoltre rilevato che uno degli ostacoli principali all'utilizzo dei nuovi reattori riguarda il rilascio delle licenze, ambito nel quale si registrano tuttavia significativi progressi: nel 2020 la società NuScale ha ottenuto la prima certificazione per un reattore di nuova generazione non pressurizzato; successivamente, Kairos Power ha ottenuto tre autorizzazioni per la costruzione di reattori ad alta temperatura raffreddati a sali fusi, mentre l'Abilene Christian University ha conseguito il permesso per la realizzazione di un reattore di ricerca della medesima tipologia.

Nel 2024 la *Nuclear Regulatory Commission* ha inoltre accettato la domanda di autorizzazione alla costruzione del reattore veloce raffreddato a sodio della società TerraPower. È stato infine precisato che tali permessi riguardano esclusivamente la costruzione e non ancora l'esercizio degli impianti, pur prospettandosi, per Kairos, il completamento e la messa in funzione del reattore tra il 2027 e il 2028, o comunque entro il 2030; analoga tempistica è prevista per il reattore *Natrium* di TerraPower, il cui obiettivo resta quello di ottenere l'autorizzazione alla costruzione entro il 2030.

Agenzia internazionale per l'energia atomica - AIEA

Nel corso dell'audizione del 4 marzo 2025, il coordinatore delle attività programmatiche del dipartimento di energia nucleare dell'AIEA, Andrea Borio Di Tigliole, ha illustrato come, a partire dal 2019, si sia consolidato a livello globale il riconoscimento del ruolo centrale dell'energia nucleare nella transizione verso fonti a basse emissioni di carbonio, processo avviato con il rapporto dell'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) sul riscaldamento globale e successivamente confermato da ulteriori conferenze e rapporti internazionali, fino al recente *Global Stocktake* della COP28, nel corso della quale oltre trenta Paesi si sono impegnati a triplicare la capacità nucleare installata entro il 2050. È stato rilevato che l'Agenzia registra una crescente domanda di assistenza tecnica, con numerosi Paesi attualmente impegnati in diverse fasi del percorso verso l'adozione del nucleare: dodici in fase post-decisionale, tre con impianti in costruzione e venti in fase pre-decisionale, cui si aggiungono ulteriori venti che manifestano un interesse generale.

Le proiezioni dell'AIEA indicano che entro il 2050 la capacità installata potrebbe raggiungere i 950 gigawatt elettrici nello scenario più favorevole e oltre 500 gigawatt nello scenario meno favorevole, rappresentando in entrambi i casi un incremento significativo rispetto ai livelli attuali.

È stato infine precisato che circa il 75 per cento di tale capacità sarebbe fornito da reattori di grande taglia, mentre la quota degli SMR (*Small Modular Reactors*) è stata rivista al rialzo, dal 10 al 25 per cento, in considerazione dei progressi tecnologici che ne favoriranno la diffusione nei prossimi cinque-dieci anni.

GE Hitachi Nuclear Energy

Nel corso dell'audizione del 4 marzo 2025, la direttrice del consiglio di GE Vernova Italia, Roberta Galli, ha illustrato l'esperienza pluridecennale del gruppo nel settore nucleare, maturata attraverso la divisione GE Hitachi, che conta oltre ottant'anni di attività e sessantasette reattori operativi in dieci Paesi.

È stato evidenziato che l'azienda, con una presenza consolidata in Europa, contribuisce alla transizione energetica del continente promuovendo tecnologie nucleari avanzate e modulari orientate a garantire sicurezza, sostenibilità e indipendenza energetica. In tale ambito, è stato presentato il reattore modulare di piccole dimensioni BWRX-300, caratterizzato da elevati standard di sicurezza, costi contenuti, tempi di costruzione ridotti e impiego di componenti già collaudati, senza ricorso a uranio ad alto arricchimento.

È stato sottolineato che tale tecnologia risulta potenzialmente idonea anche al contesto italiano, in quanto suscettibile di valorizzare competenze esistenti e di coinvolgere la filiera industriale nazionale. GE Vernova è già impegnata in progetti di SMR (*Small Modular Reactors*) in Polonia, Regno Unito, Svezia, Estonia e Nord America, con piani di sviluppo concreti e significativi investimenti, fondati sul coinvolgimento del tessuto produttivo locale, secondo un modello che la società propone di replicare anche in Italia, invitando istituzioni e imprese a un confronto sulle opportunità offerte dal nucleare di nuova generazione.

Contesto europeo

Enrico Zio, professore ordinario di impianti nucleari al Politecnico di Milano

Nel corso dell'audizione del 19 marzo 2024, è stato rilevato che in Europa diversi Paesi, tra cui Francia, Finlandia, Svezia, Olanda, Regno Unito, Polonia, Repubblica Ceca, Ungheria e Romania sono intenzionati a costruire nuovi impianti nucleari.

Anima Confindustria meccanica varia

Nel corso dell'audizione del 28 marzo 2024, il delegato per l'Energia di ANIMA Confindustria, Alberto Zerbinato, ha illustrato come la Francia, fortemente orientata allo sviluppo del nucleare, punti a conseguire la decarbonizzazione portando la quota di produzione da tale fonte fino al 70 per cento. È stato richiamato, in particolare, il progetto *Nuward* della società EDF (*Électricité de France*), multinazionale di servizi elettrici di proprietà del Governo francese, che prevede la realizzazione di generatori SMR (*Small Modular Reactors*)

da 2 × 170 MWe e 2 × 540 MWth, configurandosi come un modello versatile destinato a coprire esigenze di natura elettrica, termica, di produzione di idrogeno e di desalinizzazione.

È stato inoltre segnalato che la manifattura italiana, con il comparto meccanico in posizione di rilievo, si sta candidando a essere *partner* del programma, la cui commercializzazione è prevista per il 2025 e la cui costruzione del primo impianto di riferimento in Francia è programmata per il 2030.

La Germania, invece, ha intrapreso un percorso incentrato sulle fonti rinnovabili, che nel 2023 hanno superato il 50 per cento del *mix* nazionale, con l'obiettivo di raggiungere l'80 per cento entro il prossimo decennio, principalmente attraverso l'eolico e, in parte, mediante termovalorizzatori alimentati a biomasse. È stato ipotizzato che tra Francia e Germania possa realizzarsi uno scambio di energia per compensare eventuali squilibri di produzione.

In tale quadro, è stato osservato che l'Italia, penalizzata dalla limitata disponibilità della risorsa eolica, difficilmente potrà raggiungere obiettivi analoghi basandosi unicamente sulle energie rinnovabili; pertanto, l'industria nazionale, grazie all'eccellenza delle proprie competenze, è stata indicata come *partner* ideale per contribuire allo sviluppo tecnologico e al *mix* energetico nel settore nucleare.

WWF Italia

Nel corso dell'audizione del 9 aprile 2024 la responsabile del settore clima ed energia di WWF Italia, Mariagrazia Midulla, ha posto in evidenza come al momento gli impianti più avanzati ad uno stadio commerciale sono quelli della cosiddetta generazione III+. Si tratta di reattori che dovrebbero aver aggiunto alcuni miglioramenti nei sistemi passivi di sicurezza, ma che non hanno risolto il problema della produzione delle scorie.

In Europa sono noti come esempi i due EPR (*European pressurized reactor*) di Flamanville in Francia e Olkiluoto in Finlandia. Questi impianti di grande taglia (ognuno con potenza di 1.600 MW) hanno però incontrato notevoli problemi tecnici durante la loro costruzione e questo si è ripercosso sia sui tempi di realizzazione sia sui costi. Nel caso di Olkiluoto, che aveva avviato il cantiere nel 2005 e avrebbe dovuto concludere i lavori entro il 2009, i tempi di costruzione si sono dilatati di oltre tre volte, così nel 2022 si parlava già di tempi di costruzione di 17 anni contro i 5 previsti ma poi si è andati ancora oltre arrivando alla reale operatività solo nel 2023 e parallelamente i costi sono lievitati nello stesso modo.

Un discorso assolutamente speculare si può fare per l'impianto di Flamanville, che aveva avviato i lavori nel 2007 e doveva completarli nel 2012 ma che ad oggi non è ancora operativo.

Gianni Silvestrini, direttore scientifico di Kyoto Club

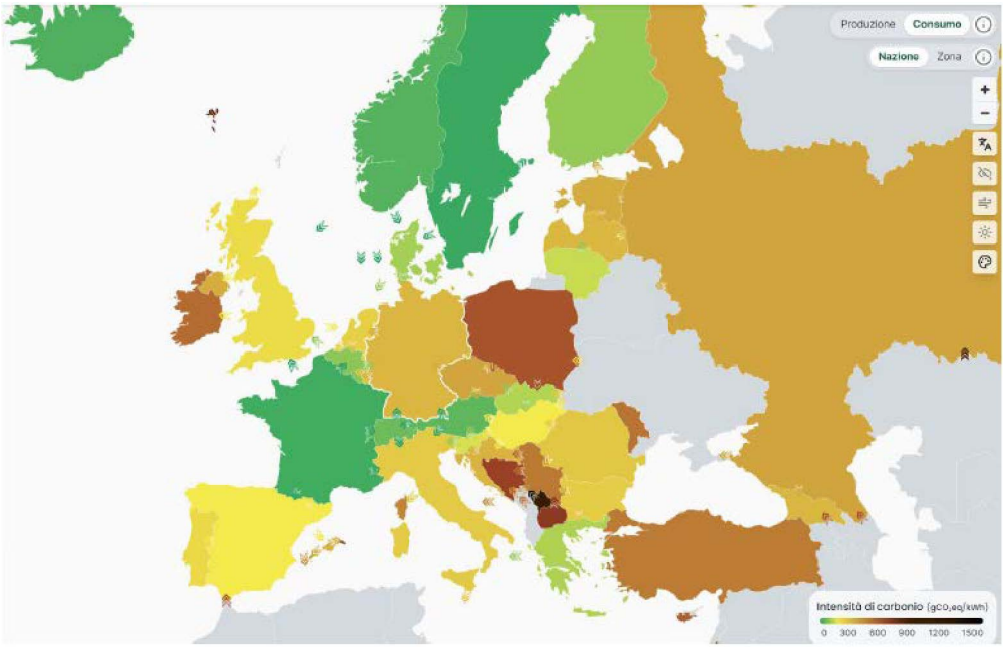
Nel corso dell'audizione del 24 settembre 2024, il direttore scientifico di Kyoto Club, Gianni Silvestrini, ha osservato come la scelta della Francia di puntare con decisione sull'energia nucleare trovi fondamento anche in una visione strategica più ampia,

evidenziando che, secondo quanto affermato dal presidente Macron, l'interdipendenza tra gli usi civili e quelli militari del nucleare rappresenta un elemento determinante della politica energetica francese.

Walter Ambrosini, professore ordinario di Impianti Nucleari presso l'Università degli studi di Pisa

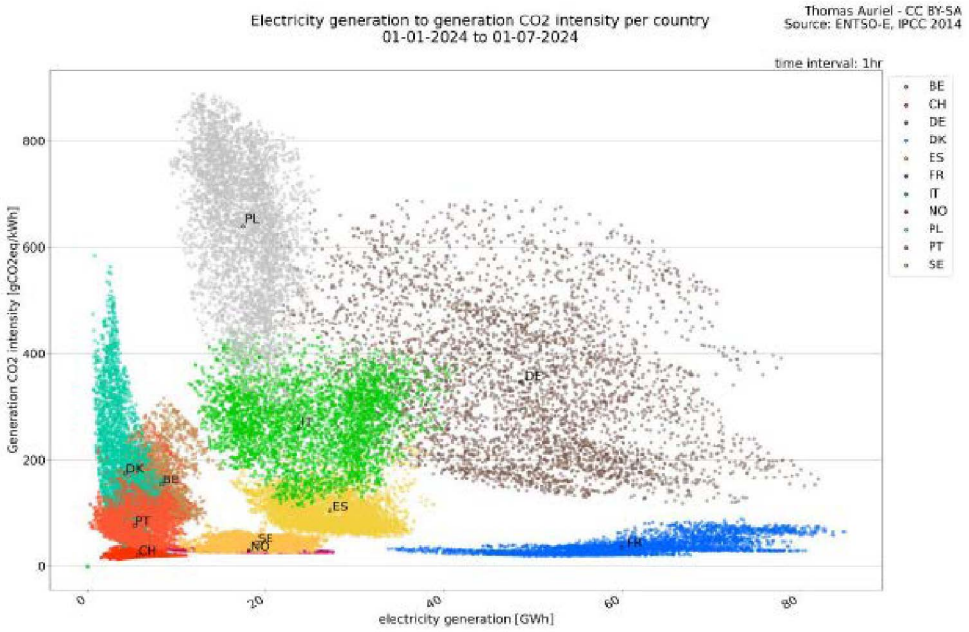
Nel corso dell'audizione del 24 settembre 2024 è stato illustrato, sulla base dei dati riportati nella *electricity map* sottostante e allegata alla documentazione depositata, come l'intensità di gas serra prodotta per unità di energia elettrica risulti significativamente inferiore nei Paesi che combinano nucleare, fonti rinnovabili e idroelettrico, tra cui in particolare la Francia.

È stato osservato che, dal confronto tra il caso francese e quello tedesco, emerge come il contributo del nucleare determini una sensibile riduzione delle emissioni di gas climalteranti per chilowattora, a fronte di valori oltre dieci volte superiori in Germania, dove, pur disponendo di una potenza installata molto elevata, l'effettivo utilizzo risulta solo parziale.



Il grafico sottostante, estrapolato da *BotElectricity*, è un grafico che rappresenta l'intensità di emissioni e la sua distribuzione oraria nel periodo compreso tra il 1° gennaio e il 1° luglio 2024. Si osserva come la Germania - indicata dai pallini marroni - presenti una forte variabilità dei valori di CO_2 equivalente dovuta all'alternanza tra la disponibilità di fonti rinnovabili, che ne riduce l'intensità, e i momenti di carenza, compensati dal ricorso al carbone.

È stato rilevato che l'Italia mostra un andamento analogo, con compensazione affidata prevalentemente al gas e livelli produttivi inferiori, mentre la Francia presenta valori mediamente più bassi grazie alla maggiore presenza della fonte nucleare.



Nel corso dell'audizione è stato evidenziato come, tra il 1975 e il 1989, la Francia abbia realizzato circa cinquantasei centrali nucleari tuttora in esercizio, determinando in tale periodo una profonda decarbonizzazione del proprio sistema elettrico. Tale esperienza è stata richiamata a dimostrazione della capacità del nucleare di contribuire in tempi relativamente brevi alla riduzione delle emissioni nel settore energetico, sottolineando l'efficacia dell'intervento francese, attuato attraverso la costruzione simultanea di numerosi impianti.

Ansaldo Nucleare S.p.A.

Nel corso dell'audizione del 3 ottobre 2024, l'amministratore delegato di Ansaldo Nucleare S.p.A., Daniela Gentile, ha illustrato come, a livello europeo, siano attualmente diciotto i Paesi che dispongono di progetti di sviluppo in corso o che prevedono strategie di potenziamento dell'energia nucleare. Tra questi, è stato evidenziato che Francia, Polonia, Svezia, Finlandia e Repubblica Ceca stanno investendo nella costruzione di nuovi reattori, inclusi gli SMR (*Small Modular Reactors*).

È stato inoltre rilevato che Paesi Bassi e Belgio, dopo una fase iniziale di dismissione della produzione nucleare, hanno rivisto i propri indirizzi di politica energetica, orientandosi nuovamente verso lo sviluppo del comparto.

In controtendenza rispetto a tali programmi, la Germania, la Svizzera e la Spagna hanno invece adottato strategie nazionali di progressiva dismissione.

È stato infine sottolineato che, pur a fronte di differenti scelte, il nucleare continua a essere considerato una tecnologia strategica per la transizione energetica, con un'attenzione crescente rivolta al cosiddetto "nuovo nucleare".

Gilberto Pichetto Fratin, Ministro dell'ambiente e della sicurezza energetica

Nel corso dell'audizione del 9 ottobre 2024, il Ministro dell'ambiente e della sicurezza energetica ha illustrato come la Germania, sulla base di valutazioni tecniche e scientifiche, abbia scelto di incrementare ulteriormente la produzione da fonti rinnovabili, in particolare eolico e fotovoltaico, che già oggi raggiungono complessivamente circa 140 gigawatt di potenza installata. È stato ricordato che la neutralità tecnologica consente a ciascun Paese di definire il proprio *mix* energetico in funzione delle caratteristiche geomorfologiche e delle risorse disponibili, quali vento, irraggiamento solare e disponibilità idrica.

Nel dettaglio, è stato osservato che nel 2023 la Germania ha prodotto il 32 per cento della propria energia elettrica da fonte eolica, mentre la seconda fonte, pari al 26 per cento, è risultata il carbone, individuato come la più inquinante tra le fonti non rinnovabili. Seguono, con una quota pari all'11-12 per cento, il fotovoltaico e il gas, anche quest'ultimo non rinnovabile né privo di impatto ambientale. Tale *mix* ha contribuito a rendere la Germania tra i Paesi con i livelli più elevati di emissioni in Europa e con le bollette più onerose, anche in ragione dei costi di sostegno alle rinnovabili.

Il Ministro ha tuttavia precisato che non è corretto trarre conclusioni semplificate da fenomeni complessi: citando dati forniti dalle Nazioni Unite, emerge infatti che eolico e fotovoltaico figurano tra le tecnologie a minore impatto ambientale sull'intero ciclo di vita, collocandosi, rispettivamente, al quarto e al terzo posto, con idroelettrico e nucleare che sono invece la seconda e la prima fonte meno inquinante.

È stato inoltre rilevato che i risultati delle politiche energetiche dei vari Paesi sono già evidenti e che lo saranno ancor più nei prossimi anni; il prezzo delle bollette, secondo quanto esposto dal Ministro, dipende infatti da una pluralità di fattori e non può essere valutato unicamente sulla base del costo di produzione dell'energia, dovendo tenere conto anche della disponibilità della risorsa, della necessità di sistemi di accumulo e della flessibilità del sistema. In tale prospettiva, il nucleare è stato indicato come una fonte in grado di contribuire in modo significativo alla decarbonizzazione, in quanto già intrinsecamente a basse emissioni, e di concorrere al tempo stesso alla riduzione dei costi energetici.

Fare Ambiente - Movimento ecologista europeo

Nel corso dell'audizione dell'8 gennaio 2025, il presidente di Fare Ambiente – Movimento ecologista europeo, Vincenzo Pepe, ha evidenziato come la Germania rappresenti un caso di studio emblematico, avendo investito circa 600 miliardi di euro nelle energie rinnovabili e

registrato, nel 2023, un significativo calo della produzione nei settori energivori, con livelli inferiori a quelli del periodo pandemico.

In tale contesto, è stato richiamato che il Fondo Monetario Internazionale prevede per la Germania una fase recessiva quale diretta conseguenza della perdita di competitività industriale. È stato inoltre citato il caso della California, dove, nonostante ingenti investimenti nelle fonti rinnovabili, il costo dell'energia risulta superiore di circa il 70 per cento rispetto alla media nazionale statunitense, con una copertura totale da rinnovabili limitata a poche ore giornaliere e una dipendenza dai combustibili fossili che, per buona parte della giornata, supera il 50 per cento.

Massimo Garribba, direttore generale aggiunto responsabile delle politiche EURATOM presso la Direzione generale energia della Commissione europea.

Nel corso dell'audizione del 4 marzo 2025, è stato illustrato che la nuova Commissione europea ha avviato il proprio mandato ponendo al centro le priorità della competitività e della sostenibilità. Nei primi cento giorni sono state avviate iniziative di rilievo, tra cui la "Bussola per la competitività" e il "Patto per l'industria pulita", con l'obiettivo di rendere l'Unione europea un polo di riferimento per la manifattura avanzata e le tecnologie a basse emissioni. In tale contesto è stato presentato il "Piano d'azione per l'energia a prezzi sostenibili", che prevede la pubblicazione del nuovo Piano nucleare comunitario (PINC), previsto dal Trattato EURATOM, volto a facilitare lo sviluppo di tecnologie di nuova generazione, come i piccoli reattori modulari, e a valorizzare il potenziale della fusione come fonte energetica del futuro.

È stato inoltre sottolineato che la Commissione considera il nucleare un elemento essenziale per il conseguimento degli obiettivi di decarbonizzazione entro il 2050, ricordando che attualmente circa il 23 per cento dell'elettricità europea proviene da impianti nucleari e che, entro il 2040, il consumo elettrico complessivo è destinato a raddoppiare, con una copertura stimata intorno al 90 per cento da fonti rinnovabili e nucleari, anche in relazione alla crescente domanda indotta da *data center* e intelligenza artificiale.

Pur nel rispetto della sovranità nazionale nella definizione del *mix* energetico, la Commissione ha il compito di garantire elevati standard di sicurezza, anche attraverso una normativa comune in materia di smaltimento dei rifiuti radioattivi.

È stato infine ricordato che, negli ultimi due anni, dodici Stati membri hanno aderito a un'alleanza per la promozione del nucleare, e che l'espansione di tale settore richiede autorità regolatorie solide, strategie affidabili e la massima trasparenza nelle decisioni pubbliche.

Confcommercio

Nel corso dell'audizione del 30 gennaio 2025, il responsabile del settore ambiente, *utilities* e sicurezza di Confcommercio, Pierpaolo Masciocchi, ha riferito che, secondo gli ultimi dati elaborati dall'Osservatorio dell'associazione, nei settori del terziario di mercato la spesa per

l'energia elettrica nel 2024 risulta mediamente superiore di circa il 50 per cento rispetto al 2019, con un ulteriore incremento di quasi il 20 per cento nel solo mese di dicembre, a seguito dell'eccezionale rialzo del prezzo del gas registrato a fine anno. È stato sottolineato che, in tale contesto, risulta essenziale valutare e valorizzare ogni tecnologia in grado di ridurre i costi energetici, promuovendo soluzioni più efficienti, sicure e sostenibili.
È stato evidenziato, in particolare, che l'integrazione di una fonte come il nucleare sostenibile nel *mix* energetico nazionale - oggi composto prevalentemente da gas, rinnovabili e fonti fossili - consentirebbe di disporre di una tecnologia a basse emissioni, programmabile e caratterizzata da continuità operativa. Tale opzione, oltre a garantire maggiore affidabilità e sicurezza degli approvvigionamenti, contribuirebbe al raggiungimento degli obiettivi di neutralità climatica (*Net-Zero*) al 2050, riducendo la dipendenza del Paese dai fornitori esteri di combustibili fossili e di tecnologie rinnovabili, nonché l'esposizione alla volatilità dei prezzi.

È stato inoltre osservato che, nel confronto con gli altri Paesi dell'Unione europea, la diversa composizione delle fonti di produzione determina significative variazioni nei prezzi dell'energia elettrica sui mercati nazionali.

Prezzo energia elettrica in Europa
Mercato Day Ahead (euro/MWh)

	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Italia (fonte: GME)	52.3	38.9	125.7	304.1	127.0	108.6
Francia (Fonte: Entsoe)	39.4	32.2	109.2	275.8	96.9	55.0
Germania (Fonte: Entsoe)	43.0	36.9	96.8	235.4	95.2	74.8
Spagna (Fonte: OMIE)	47.8	34.0	112.2	167.5	88.4	63.2
Polonia (Fonte: Entsoe)	55.6	46.7	87.0	166.7	111.7	89.1
Ungheria (Fonte: HUPX)	50.3	39.0	114.0	271.5	106.9	101.0

Con riferimento ai dati della tabella sopra riportata e allegata alla documentazione depositata, si osserva come la dinamica dei prezzi del mercato elettrico italiano presenti caratteristiche peculiari rispetto al contesto europeo.

In particolare, è stato evidenziato che, nel 2024, il prezzo medio PUN (prezzo unico nazionale) dell'elettricità in Italia è risultato sistematicamente il più elevato in Europa, superiore di oltre il 10 per cento rispetto a quello ungherese e polacco, del 45 per cento rispetto a quello tedesco, del 71 per cento rispetto a quello spagnolo e circa doppio rispetto a quello francese. Secondo le ipotesi di scenario del Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC), le cause di tali differenze di prezzo sono riconducibili sia a fattori di mercato, in particolare al prezzo del gas, tuttora superiore alla media europea, sia alla composizione del *mix* energetico nazionale, caratterizzato da una prevalente presenza di impianti a ciclo combinato, con costi variabili più elevati rispetto alle centrali nucleari e a

carbone operanti in altri Paesi, nonché agli oneri per i servizi di rete e di sistema, influenzati dagli incentivi alle fonti rinnovabili.

A tal proposito, il PNIEC prevede il contenimento di tali fattori di svantaggio attraverso un *mix* equilibrato di rinnovabili, gas e nucleare, stimando per quest'ultimo una quota di produzione compresa tra l'11 e il 22 per cento della domanda elettrica nazionale, pari a una capacità installata tra 8 e 16 gigawatt, in linea con gli obiettivi di decarbonizzazione al 2050.

L'investimento nel nuovo nucleare, secondo Confcommercio, potrebbe generare un impatto economico complessivo superiore ai 50 miliardi di euro e attivare fino a 117.000 nuovi posti di lavoro entro il 2050. È stato infine sottolineato che, per garantire l'attrattività del settore, occorrerebbe introdurre strumenti di mercato idonei ad assicurare la redditività e la mitigazione dei rischi per gli investitori, come i *Power Purchase Agreement* (PPA) tra produttori e grandi consumatori, soluzione che consentirebbe di evitare ulteriori aggravi sulle bollette di famiglie e imprese, già incise da oneri non direttamente correlati ai consumi energetici.

Le prospettive di decarbonizzazione, sicurezza energetica e sviluppo di ricerca e industria

Enrico Zio, professore ordinario di impianti nucleari al Politecnico di Milano

Nel corso dell'audizione del 19 marzo 2024, è stato sottolineato che, nell'ambito delle strategie di decarbonizzazione, l'energia nucleare rappresenta una delle fonti a più basse emissioni di anidride carbonica, collocandosi su livelli analoghi a quelli dell'eolico. È stato inoltre evidenziato che il nucleare richiede un utilizzo di suolo estremamente ridotto, configurandosi pertanto come una soluzione particolarmente adatta per i Paesi caratterizzati da elevata densità abitativa e limitata disponibilità di spazi.

Sotto il profilo delle prestazioni, è stato rilevato che il fattore di carico degli impianti nucleari - ossia il rapporto tra l'energia effettivamente prodotta e quella teoricamente ottenibile - si attesta intorno al 92 per cento, a conferma dell'elevata efficienza di tale tecnologia.

Sono state infine richiamate le potenzialità offerte dai piccoli e piccolissimi reattori modulari, le cosiddette "batterie nucleari", che assicurano flessibilità e continuità di approvvigionamento: negli Stati Uniti, ad esempio, alcuni campus universitari hanno presentato richiesta per installare tali dispositivi, in grado di garantire per oltre venticinque anni una fornitura costante di energia senza interruzioni.

Fabio Giannetti, professore associato di Impianti nucleari presso l'Università degli studi di Roma La Sapienza

Nel corso dell'audizione del 22 maggio 2024, è stato osservato che il processo di decarbonizzazione del settore elettrico rappresenta solo una parte del percorso complessivo necessario per ridurre le emissioni dell'intero sistema energetico europeo, che dovrà essere affrontato nella sua globalità entro il 2050.

È stato rilevato che una delle strategie principali consisterà nell'aumentare in modo significativo la quota di energia elettrica sul totale dei consumi, con l'obiettivo di raddoppiare o triplicare la produzione attuale. Considerato il superamento progressivo delle fonti fossili, le opzioni disponibili si concentrano sulle rinnovabili e sul nucleare, individuando in una combinazione delle due la soluzione più efficace.

È stato richiamato, in proposito, lo scenario delineato dall'Agenzia internazionale dell'energia (IEA), che prevede un sistema completamente decarbonizzato basato su una quota prevalente di rinnovabili, con il contributo del nucleare e di tecnologie di accumulo come batterie e altri sistemi di *storage*. Con riferimento al caso italiano, è stato ricordato che il Paese importa annualmente circa 51 terawattora di energia, proveniente soprattutto da Francia, Svizzera e Slovenia, e in larga parte di origine nucleare. In tale prospettiva, è stato

suggerito di sostituire progressivamente tali importazioni con una produzione interna di energia nucleare, integrata da fonti rinnovabili.

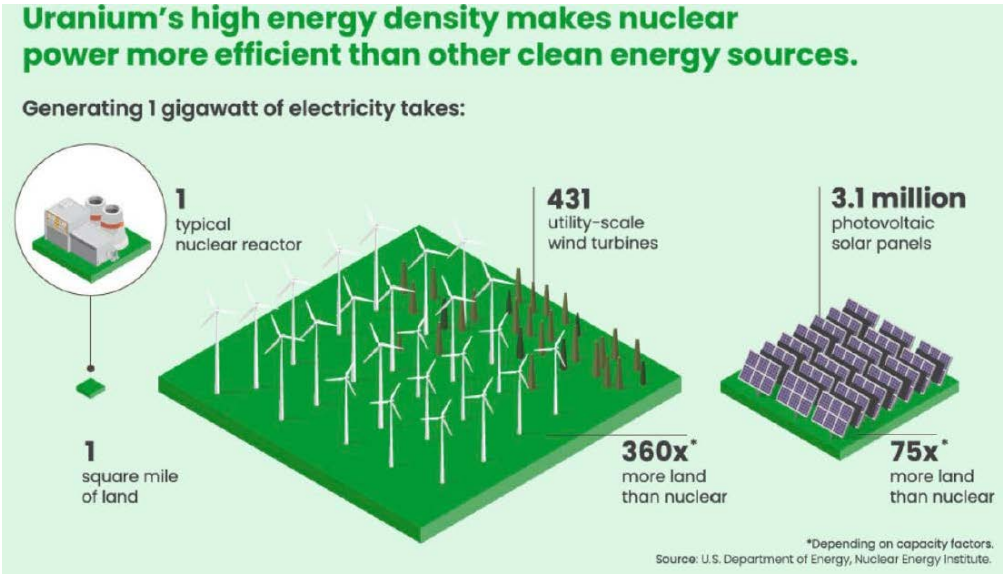
È stato inoltre fatto presente che, secondo gli studi dell'Agenzia internazionale per l'energia atomica (AIEA) con proiezione al 2050, nello scenario *Net-Zero Emissions* (NZE) - volto al raggiungimento della neutralità climatica, ossia delle zero emissioni nette di CO_2 - la produzione complessiva di energia dovrà triplicare rispetto ai livelli attuali per soddisfare la domanda globale in un contesto decarbonizzato. Tale crescita comporterà, in coerenza con gli impegni assunti alla COP28, una triplicazione anche della quota di energia nucleare prodotta, riconosciuta come elemento essenziale per il conseguimento degli obiettivi di riduzione delle emissioni.

In tale quadro, il nucleare è stato indicato come uno strumento in grado di contribuire efficacemente alla diminuzione della CO_2 e dei costi energetici, non solo in termini di produzione ma anche di prezzo finale, grazie all'affidabilità e alla continuità che ne caratterizzano l'esercizio. È stato infine ricordato che, secondo le analisi di *Life Cycle Assessment* (LCA) della Commissione economica per l'Europa delle Nazioni Unite (UNECE), il nucleare presenta il più basso impatto complessivo in termini di emissioni, con un valore LCA compreso tra 5 e 6, inferiore o comparabile a quello delle principali fonti rinnovabili, risultando pertanto conforme al principio europeo del "*do no significant harm*", che impone che ogni progetto o investimento sostenuto dai fondi dell'Unione europea non provochi danni significativi agli obiettivi ambientali durante tutto il suo ciclo di vita.

Amici della Terra

Nel corso dell'audizione del 28 marzo 2024, la presidente di Amici della Terra, Monica Tommasi, ha osservato che il tentativo di sostituire i combustibili fossili con fonti rinnovabili elettriche intermittenti - quali batterie, veicoli elettrici e idrogeno - non ha finora prodotto i risultati attesi, nonostante gli ingenti investimenti degli ultimi decenni, a causa della loro discontinuità e della conseguente scarsa affidabilità. È stato inoltre rilevato che tali tecnologie presentano un'efficienza limitata, in quanto la bassa densità energetica comporta un elevato consumo di materiali, con effetti che possono amplificare, anziché ridurre, i danni ambientali e le criticità sociali.

A titolo comparativo, è stato citato uno studio del Dipartimento statunitense dell'Energia secondo cui la produzione di un gigawatt elettrico richiede un reattore nucleare e un'area di circa 2,6 chilometri quadrati, mentre la stessa quantità di energia, quando il vento è disponibile, necessita di 431 turbine eoliche su una superficie circa 360 volte maggiore, pari a 232 chilometri quadrati, e, nel caso del solare, di 3,1 milioni di pannelli su un'estensione di 200 chilometri quadrati, superiore a quella della città di Milano.



WWF Italia

Nel corso dell'audizione del 9 aprile 2024 la responsabile del settore clima ed energia di WWF Italia, Mariagrazia Midulla ha posto in evidenza come il nucleare non rappresenta una significativa soluzione per il contrasto ai cambiamenti climatici perché occorre considerare l'intera filiera nucleare con un approccio del tipo LCA. Così facendo si scopre come le emissioni di gas serra, non siano affatto nulle in considerazione della grande quantità di energia fossile che serve per tutte le attività che vanno dall'estrazione del minerale, al suo arricchimento, alla costruzione della centrale (che richiede cemento e acciaio di elevate qualità e quantità) fino alle fasi di *decommissioning* e alla molto lunga e complessa gestione delle scorie (per cui non esiste ancora una soluzione veramente definitiva).

A queste fasi andrebbero però anche aggiunte le sempre dimenticate operazioni di bonifica e ripristino ambientale delle miniere di uranio. Jean Willem Storm van Leeuwen e Philip Smith ("Nuclear power –the Energy balance", Joe Willem Storm van Leeuwen & Philip Smith, October 2007) già in un lavoro del 2007 considerando l'intero ciclo di vita, aveva stimato emissioni pari a 112-165 g CO2 kWh. Altri lavori successivi hanno confermato questi dati. Si tratta però di valori che, sulla base dei dati esistenti, saranno destinati a salire per il ricorso a giacimenti con concentrazioni di uranio minori che quindi richiederanno maggiore energia per i processi estrattivi.

Al riguardo il rapporto Energy Balance of Nuclear Power Generation (Austrian Institute of Ecology, Austrian Energy Agency. Energy Balance of Nuclear Power Generation. Life Cycle Analysis of Nuclear Power: Energy Balance and CO2 Emissions. Vienna 2011) evidenziava come quando la concentrazione del minerale uranifero scende intorno allo 0,01 per cento, le emissioni salgono già a 210 g CO2/kWh. Ma soprattutto se si parla di mitigazione

climatica occorre porre l'attenzione sul fatto che se si pensasse di incrementare la realizzazione di impianti nucleari proprio nelle lunghe ed energivore fasi di cantiere si avrebbero ingenti emissioni di CO2, e questo proprio negli anni ritenuti maggiormente cruciali dalla comunità scientifica internazionale per cercare di rallentare il riscaldamento globale. In pratica si immetterebbe in atmosfera più CO2 proprio quando dovremmo maggiormente ridurla.

Legambiente

Nel corso dell'audizione del 14 gennaio 2025, la responsabile energia di Legambiente, Katiuscia Eroe, ha evidenziato che il nucleare non sia la risposta giusta, in termini economici e di tempo – lo dicono i fatti: come abbiamo raccontato in maniera esaustiva nel Rapporto I Costi del Nucleare, presentato dal 100 per cento Rinnovabili Network, in Europa, nel 2023, il costo di generazione dell'elettricità prodotta da nuove centrali nucleari, secondo l'Agenzia Internazionale per l'Energia, sarebbe di 170 $/MWh, contro i 50 $/MWh del fotovoltaico (3,4 volte di meno del nucleare) e quella prodotta dall'eolico onshore di 60 $/MWh (2,8 volte di meno). Dati confermati, seppur con qualche variazione, a rialzo, da Lazard, importante banca d'affari non certo un'associazione ambientalista, che dichiara il costo di generazione dell'elettricità delle centrali nucleari pari a 183 dollari a MWh, il 14% in più di quello dell'AIE. Il maggiore costo di generazione deriva da una valutazione più realistica, del costo capitale impiegato per la costruzione di centrali nucleari.

Ad esempio, i costi dei 2 reattori AP1000 a Vogtle, in America, hanno raggiunto i 36 miliardi di dollari (WNISR 2024, pag. 27) per una potenza totale di 2.200 MW, dunque oltre i 16.000 dollari per kW. Quelli dell'EPR di Flamanville (1.630 MW netti) sono stati pari a 13,2 miliardi di euro (WNISR 2024 pag. 109), dunque 8.000 euro per kW, senza calcolare i rilevanti oneri finanziari (il costo di Flamanville 3 supera i 19 miliardi di euro se li si include, come ha valutato la Cour des Comptes nel 2020).

Dati, che visti gli obiettivi di riduzione dei costi energetici, che giustamente si vuole porre il Governo, è bene tenere a mente. Soprattutto quando esistono tecnologie in grado tranquillamente di ridurre costi e garantire sicurezza energetica e stabilità della rete. Tecnologie che richiedono certamente interventi e investimenti importanti, ma che l'Italia dovrà comunque fare, visto che, negli obiettivi dichiarati nel Piano Nazionale Integrato Energia e Clima, il ruolo del nucleare oscilla tra l'11 e 20%. Quindi con un ruolo primario delle rinnovabili, che, se pure si attestassero ad una percentuale non superiore all'80 per cento richiederebbero gli stessi interventi infrastrutturali delle reti, lo sviluppo di accumuli, di idrogeno verde, le cui previsioni di sviluppo rientrano negli obiettivi al 2030. A tal proposito, vale la pena sottolineare come nel caso dell'EPR il costo di costruzione dei reattori è andato crescendo nel tempo, esattamente il contrario di ciò che è accaduto per le tecnologie rinnovabili.

Sergio Ulgiati, professore associato di chimica ambientale presso l'Università degli studi di Napoli Parthenope

Nel corso dell'audizione del 22 gennaio 2025 è stato evidenziato che la decisione di includere nuovamente l'energia nucleare nell'ambito della produzione energetica in Italia e della transizione verso una situazione energetica globale priva di emissioni di CO2 e altri gas serra comporta una valutazione attenta dei tempi necessari per questa evoluzione. La semplice costruzione di nuovi impianti nucleari (e in Italia ne servirebbe un gran numero, qualora si intenda rispettare gli obiettivi di decarbonizzazione dell'Unione Europea) comporterebbe tempi notevoli, se si considera che il nostro paese attualmente possiede circa 123,3 GWe di potenza installata lorda, di cui 61,0 GWe di potenza da fonti rinnovabili (TERNA, 2022). Se la potenza energetica fossile (123,3-61,0= 62,3 GWe) deve essere coperta da almeno una frazione di energia nucleare (anche solo il 10%, entro il 2030, cioè 6,2 GWe da nucleare), ciò vorrebbe dire 6 centrali nucleari da 1000 MW in cinque anni oppure una potenza equivalente sotto forma di centrali di minori dimensioni (SMR, Small Modular Reactor, intorno ai 300 MW).

Che questo possa avvenire in un tempo compatibile con gli impegni di decarbonizzazione assunti in sede europea, con tutte le fasi da percorrere per l'attuazione (decisione, progettazione, scelta del sito, contrattazione della fornitura di Uranio, prevedibile opposizione delle popolazioni locali, costruzione, collaudo, identificazione dei siti di stoccaggio a fine vita) appare una pura illusione.

CONFAPI

Nel corso dell'audizione del 6 febbraio 2025, l'esperto in materia di energia nucleare e materie prime di CONFAPI, Gianclaudio Torlizzi, ha evidenziato come uno dei principali punti di forza della tecnologia nucleare risieda nella sua affidabilità.

Con riferimento all'andamento dei costi dell'energia, è stato osservato che il prezzo dell'elettricità all'ingrosso in Italia risulta significativamente più elevato rispetto a quello di altri Paesi europei che dispongono, nel proprio *mix* energetico, di una quota stabile di energia di base (c.d. *baseload*), come la Spagna - dove il nucleare rappresenta circa il 20 per cento della produzione - e la Francia.

È stato sottolineato che il nucleare costituisce l'unica fonte in grado di garantire, nel lungo periodo, una reale produzione *baseload* capace di valorizzare il contributo delle rinnovabili, che, in assenza di una fonte programmabile di supporto, tendono a generare un innalzamento strutturale dei costi dell'energia.

Infine, nel corso dell'audizione, è stato fatto presente che lo sviluppo esclusivo delle fonti rinnovabili, senza un adeguato apporto di energia nucleare, potrebbe determinare una sollecitazione eccessiva e condizioni di stress sulla rete elettrica nazionale.

Confindustria

Nel corso dell'audizione del 6 febbraio 2025, il delegato per l'energia di Confindustria, Aurelio Regina, ha evidenziato come l'energia nucleare da fissione stia progressivamente riconquistando un ruolo centrale nel dibattito politico ed economico, con numerosi Paesi, sia dell'Unione europea sia extraeuropei, che continuano a considerarla una componente stabile del proprio *mix* energetico. A tal proposito, è stato segnalato che, nel 2022, tale tecnologia ha coperto il 9,1 per cento della produzione elettrica globale, pari a circa 2.600 terawattora, e che a livello mondiale risultano attualmente in costruzione 61 reattori, per una capacità lorda complessiva di 68,4 gigawatt, mentre ulteriori 111 impianti sono programmati (113,9 gigawatt complessivi) e 337 risultano in fase di proposta (per 378,2 gigawatt complessivi).

È stato inoltre rilevato che, secondo le stime del Governo e le previsioni contenute nel Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC), il fabbisogno elettrico nazionale passerà dagli attuali 300 terawattora annui a circa 400 terawattora nel 2040 e a quasi 600 nel 2050. In tale contesto, il nucleare è stato indicato come una risorsa determinante per assicurare una generazione di energia programmabile e affidabile, capace di stabilizzare la rete e di integrare le fonti rinnovabili. Nello scenario con nucleare delineato dal PNIEC, tale tecnologia è stimata coprire circa l'11 per cento del fabbisogno elettrico al 2050, corrispondente a una produzione compresa tra 42 e 57 terawattora annui e a una capacità installata tra 7,5 e 8,5 gigawatt.

È stato infine sottolineato che l'opzione nucleare contribuisce alla stabilità dei prezzi dell'energia, riducendo l'esposizione del Paese alle fluttuazioni dei mercati dei combustibili fossili, cui l'Italia risulta particolarmente vulnerabile per la limitata disponibilità di risorse interne.

Come evidenziato dal documento depositato a margine dell'audizione, il nucleare, come le fonti rinnovabili, è caratterizzato da alti costi di capitale iniziali e da costi operativi contenuti, con un'incidenza ridotta della materia prima sul costo complessivo di produzione.

Confcommercio

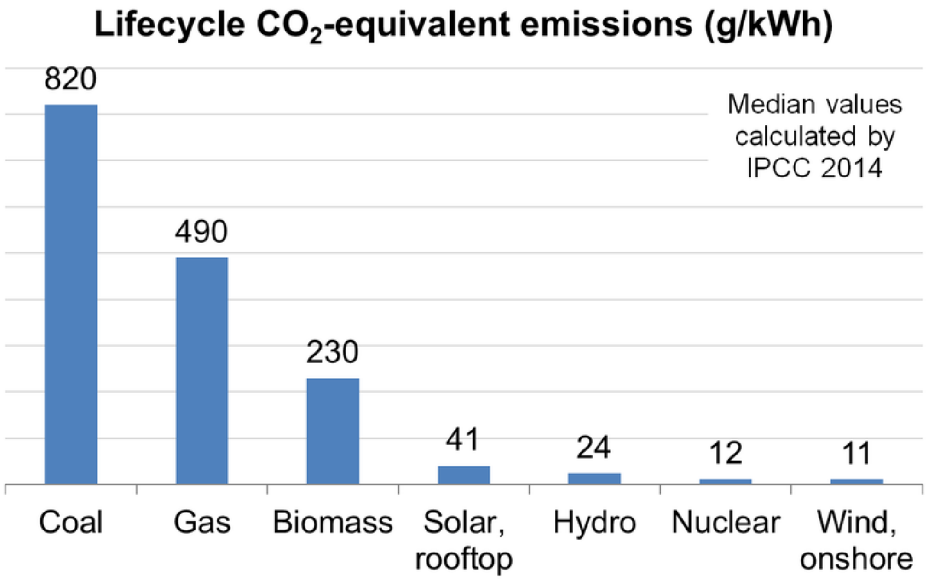
Nel corso dell'audizione del 30 gennaio 2025, il responsabile del settore ambiente, *utilities* e sicurezza di Confcommercio, Pierpaolo Masciocchi, ha rilevato che circa la metà dei progetti nucleari attualmente in corso si concentra in Cina, Paese destinato a superare l'Unione europea e gli Stati Uniti in termini di capacità nucleare entro il 2030.

È stato tuttavia osservato che tale scenario potrebbe mutare con l'affermazione delle nuove tecnologie, in particolare dei reattori modulari, qualora l'innovazione, il sostegno pubblico e l'adozione di modelli di *business* evoluti consentano di ridurre significativamente i costi e i tempi di realizzazione. Secondo le stime riportate nel Rapporto dell'Agenzia internazionale dell'energia (IEA), i reattori modulari potrebbero rappresentare fino al 10 per cento della capacità nucleare mondiale entro il 2040.

È stato poi sottolineato che Italia ed Europa dovrebbero agire con tempestività per non perdere opportunità di sviluppo in un mercato in rapida evoluzione, promuovendo la partecipazione degli investitori privati attraverso strumenti di mercato, quali contratti di lungo periodo e *Power Purchase Agreement* (PPA), in grado di garantire la certezza dei ritorni economici e la copertura dei rischi, evitando il ricorso a forme di incentivazione diretta che graverebbero sulle bollette o sulla fiscalità generale.

Luca Romano, esperto in materia di energia nucleare

Nel corso dell'audizione del 28 marzo 2024, è stato evidenziato che l'energia nucleare rappresenta, secondo la Commissione economica per l'Europa delle Nazioni Unite e l'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), una delle fonti energetiche più pulite attualmente disponibili, come si evince dal grafico sotto riportato.



È stato osservato che, considerando i costi complessivi derivanti dalla necessità di stabilizzare l'intermittenza delle rinnovabili, in particolare nelle reti ad alta penetrazione come quella californiana, il costo effettivo delle energie rinnovabili può superare quello delle centrali nucleari più onerose, come l'impianto di Vogtle (Georgia, USA), risultando inoltre più che doppio rispetto ai contratti per differenza (CfD, *contract-for-difference*) stipulati in Francia per i nuovi impianti.

È stato ricordato che il prezzo dell'energia pagato dagli utenti finali è determinato dai meccanismi di domanda e offerta del mercato elettrico, e non dal costo di produzione sostenuto dai produttori. È stato spiegato che, nei momenti di elevata produzione di energia rinnovabile, l'eccesso di offerta determina un abbassamento del prezzo dell'energia fino a livelli nulli o negativi, rendendo necessario il ricorso a incentivi che compensino la mancata remunerazione della produzione. Tali incentivi, pur non figurando nei costi di produzione, gravano sulle bollette. Analogamente, quando la produzione da fonti rinnovabili cala, in particolare nelle ore serali, si rende necessario l'intervento di impianti di riserva, generalmente alimentati a gas, i cui costi di esercizio sono sostenuti attraverso il meccanismo del *capacity market*, il cui costo è anch'esso riflesso nelle bollette.

È stato rilevato che questa struttura del mercato determina fenomeni di forte oscillazione dei prezzi ("*squeeze*") nelle ore di picco della domanda, con ricadute sui costi per famiglie e imprese. In tale quadro, il nucleare è stato indicato come una fonte capace di stabilizzare i prezzi, riducendo la distanza tra il picco di domanda e la necessità di energia di *backup*, grazie

alla sua produzione continua e programmabile. È stato ricordato che, nei Paesi o nelle regioni con elevata penetrazione di energia rinnovabile, come la California, i prezzi delle bollette risultano sensibilmente più elevati - fino al 70 per cento in più rispetto alla media statunitense - e che, analogamente, in Europa, nonostante i rilevanti investimenti effettuati in Italia e Germania nelle energie rinnovabili, i due Paesi continuano a registrare tra i livelli tariffari più alti del continente, a differenza di quelli che impiegano il nucleare, caratterizzati da costi iniziali più elevati ma da bollette più contenute.

È stato infine sottolineato che, sebbene il nucleare comporti investimenti di capitale rilevanti, esso contribuisce a stabilizzare il sistema di domanda e offerta, favorendo la riduzione dei prezzi finali dell'energia e una maggiore competitività del sistema economico. Le energie rinnovabili, al contrario, pur presentando costi di investimento inferiori e risultando convenienti dal punto di vista del produttore, determinano meccanismi di instabilità e di incremento dei costi complessivi del sistema, che finiscono per rendere l'elettricità più onerosa e il Paese meno competitivo sul piano economico.

Anima Confindustria meccanica varia

Nel corso dell'audizione del 28 marzo 2024, il delegato per l'Energia di ANIMA Confindustria, Alberto Zerbinato, ha rilevato che, per l'Italia, il raggiungimento della piena decarbonizzazione esclusivamente attraverso l'impiego di fonti rinnovabili appare difficilmente realizzabile, sia per la limitata disponibilità della risorsa eolica rispetto ai Paesi del Nord Europa, sia per le difficoltà connesse ai procedimenti autorizzativi relativi alla produzione di energia da biomasse o da rifiuti.

Dal suo punto di vista è pertanto auspicabile, ai fini del conseguimento dell'obiettivo del 100 per cento di decarbonizzazione, prevedere un *mix* energetico che comprenda anche la fonte nucleare, quale strumento idoneo a coprire la quota di energia mancante e a compensare la discontinuità tipica delle energie rinnovabili.

È stato infine osservato che, qualora il Paese non fosse in grado di assicurare autonomamente tale produzione, si vedrebbe costretto ad acquistare energia elettrica *carbon-free* dai Paesi confinanti, con evidenti ripercussioni sull'economia nazionale e sulla sicurezza energetica.

Comitato Nucleare e Ragione

Nel corso dell'audizione del 9 aprile 2024, il presidente del Comitato Nucleare e Ragione, Pierluigi Totaro, ha sottolineato che uno dei principali vantaggi delle tecnologie nucleari consiste nella limitata incidenza del costo del combustibile rispetto al costo complessivo di produzione dell'energia, poiché la componente principale dell'investimento è rappresentata dall'impianto stesso. Tale caratteristica, è stato osservato, consente di ridurre l'esposizione alle

fluttuazioni dei mercati energetici, a differenza delle fonti fossili, il cui prezzo è fortemente condizionato dall'andamento internazionale delle materie prime.

È stata inoltre richiamata l'importanza della corretta localizzazione degli impianti, tenendo conto della sismicità del territorio, che in Italia presenta livelli di rischio medio o elevato in alcune aree, ma anche zone pienamente idonee, come dimostrato dalla presenza di ex centrali nucleari costruite in siti a bassa pericolosità sismica.

Con riferimento all'eventuale ritorno del nucleare nel Paese, è stato ribadito che esistono solide evidenze scientifiche circa il contributo che tale tecnologia può offrire nella lotta ai cambiamenti climatici, collocandosi, in termini di emissioni di anidride carbonica, su livelli comparabili a quelli delle principali fonti rinnovabili. Analoghe considerazioni valgono per altri parametri ambientali, tra cui il consumo di suolo e l'impatto sugli ecosistemi, che confermano la rilevanza del nucleare nel quadro della sostenibilità.

È stato inoltre ricordato che l'Unione europea ha classificato la fissione nucleare come fonte energetica sostenibile e che tale valutazione riguarda anche le tecnologie oggi disponibili, non solo quelle di futura generazione. Con riferimento alla gestione dei rifiuti radioattivi, è stato precisato che la tecnologia attuale consente di garantirne la conservazione in condizioni di sicurezza, senza conseguenze per l'uomo e l'ambiente, e che le principali difficoltà risiedono più nell'accettazione sociale che in reali limiti tecnici.

È stato infine sottolineato che, anche in materia di sicurezza, il nucleare si conferma tra le fonti più affidabili: l'analisi dei tassi di mortalità per unità di energia prodotta, a confronto con le altre fonti, evidenzia come il rischio associato risulti estremamente contenuto, a fronte dell'impatto emotivo generato dai pochi incidenti di rilievo verificatisi nel corso della storia.

Walter Ambrosini, professore ordinario di Impianti Nucleari presso l'Università degli studi di Pisa

Nel corso dell'audizione del 24 settembre 2024, è stato richiamato il rapporto elaborato dal Centro comune di ricerca (JRC, *Joint Research Center*) della Commissione europea sui rischi connessi all'energia nucleare, predisposto per valutare la conformità di tale tecnologia al principio del *do no significant harm* (DNSH), ossia del "non arrecare danno significativo" all'ambiente e alla salute.

È stato evidenziato che le conclusioni del rapporto non hanno riscontrato alcuna evidenza scientificamente fondata che il nucleare comporti danni superiori rispetto ad altre tecnologie di produzione energetica già incluse nella tassonomia europea.

È stato inoltre precisato che, allo stato attuale, la terza generazione di reattori costituisce la soluzione tecnologica più affidabile, con particolare riferimento ai modelli EPR (*European Pressurized Reactor*) di progettazione francese e AP1000 di progettazione statunitense, attualmente in fase di commercializzazione.

Ansaldo Nucleare S.p.A.

Nel corso dell'audizione del 3 ottobre 2024, l'amministratore delegato di Ansaldo Nucleare S.p.A., Daniela Gentile, ha illustrato come, negli scenari al 2050, si preveda un incremento significativo del fabbisogno elettrico, stimato tra 2 e 2,9 superiore rispetto ai livelli del 2023 a livello europeo e quasi doppio per l'Italia, in relazione alla crescente elettrificazione dei consumi finali e all'aumento della capacità computazionale indotta dalle nuove tecnologie digitali. In tale prospettiva, il nuovo nucleare è stato indicato come una soluzione chiave, in quanto tecnologia di generazione a più bassa intensità carbonica, capace al tempo stesso di assicurare una fornitura stabile e modulabile su base giornaliera e annuale.

È stato inoltre sottolineato che l'energia nucleare può svolgere un ruolo determinante nei processi di decarbonizzazione, poiché, considerando l'intero ciclo di vita, presenta il più basso fattore emissivo tra le tecnologie di produzione elettrica. Grazie alla sua programmabilità e continuità di esercizio, essa contribuisce a stabilizzare il sistema energetico, operando in complementarità con le fonti rinnovabili intermittenti e consentendo la realizzazione di un modello di produzione elettrica integrato e a basse emissioni.

Per quanto concerne le materie prime critiche necessarie per le tecnologie e le infrastrutture energetiche, anche sotto questo profilo il nucleare risulta essere la tecnologia verde che garantisce il più elevato livello di sicurezza strategica. È stato osservato, infatti, che per ogni gigawattora di elettricità prodotta, il solare richiede oltre 200 chilogrammi di materie prime critiche - principalmente rame e silicio - l'eolico oltre 160 chilogrammi, il carbone 14, l'energia nucleare 9 e il gas 4. L'energia nucleare richiede, dunque, una quantità significativamente inferiore di materie prime critiche, riducendo di conseguenza la dipendenza da tali risorse.

È stato infine sottolineato che un ulteriore elemento di sicurezza strategica è rappresentato dalla capacità di sviluppare e mantenere catene del valore nazionali per queste tecnologie, come dimostra il fatto che le filiere del settore nucleare in Europa e in Italia figurano tra le più consolidate a livello mondiale.

Nomisma Energia

Nel corso dell'audizione del 28 gennaio 2025, il presidente di NE Nomisma Energia, Davide Tabarelli, ha osservato che, nonostante la temporanea riduzione delle emissioni di anidride carbonica registrata durante la pandemia, le emissioni globali sono tornate a crescere, rendendo di fatto irraggiungibili gli obiettivi fissati dall'Accordo di Parigi. È stato rilevato che circa il 75 per cento delle emissioni di CO_2 deriva dalla combustione di fonti fossili e che, sebbene l'Europa abbia ridotto tale consumo di un miliardo di tonnellate, la Cina lo ha incrementato di tredici miliardi, annullando gli effetti positivi dello sforzo europeo.

È stato inoltre ricordato che, su scala globale, l'80 per cento dell'energia prodotta negli ultimi centoventi anni - e presumibilmente nei prossimi venti - continuerà a provenire dai combustibili fossili. Attualmente, l'energia nucleare rappresenta circa il 5 per cento della

produzione energetica mondiale, superando le principali fonti rinnovabili come l'eolico e il solare, entrambe attestate intorno al 2 per cento.

Nel corso dell'audizione è stato evidenziato che il nucleare costituisce una componente indispensabile della transizione energetica, poiché rappresenta l'unica fonte ad alta densità energetica in grado di generare energia senza emissioni di CO_2. A differenza delle energie rinnovabili, che risultano intermittenti, non disponibili per tutto l'anno e richiedono vaste superfici di terreno, il nucleare garantisce una produzione stabile con un impatto spaziale minimo. È stato inoltre evidenziato che le nuove fonti rinnovabili producono esclusivamente elettricità e non calore, risultando quindi non idonee a soddisfare i fabbisogni di settori ad alta temperatura, come quello chimico o metallurgico.

Il presidente di NE Nomisma Energia ha infine ricordato che il nucleare rappresenta oggi la principale fonte di produzione energetica in Europa, coprendo circa il 25 per cento del fabbisogno e che, qualora le centrali attualmente operative cessassero improvvisamente di funzionare, i prezzi dell'energia subirebbero un forte incremento e si potrebbero verificare criticità di approvvigionamento, come interruzioni notturne del servizio.

Alla luce di tali elementi, ha segnalato l'opportunità di avviare fin da subito una riflessione concreta sull'integrazione dell'energia nucleare nel sistema energetico nazionale.

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

Nel corso dell'audizione del 30 gennaio 2025, il direttore del dipartimento nucleare dell'ENEA, Alessandro Dodaro, ha evidenziato che l'energia nucleare rappresenta una fonte affidabile e programmabile, non soggetta alle variabili stagionali o climatiche.

È stato inoltre sottolineato che tale caratteristica la rende il complemento ideale alla produzione da fonti rinnovabili, la cui natura intermittente non consente una continuità di approvvigionamento. Il nucleare, è stato precisato nel corso dell'audizione, può garantire alle imprese una disponibilità costante di energia a basso costo, contribuendo alla sostituzione dei combustibili fossili, ancora ampiamente utilizzati sul territorio nazionale.

Société des Professionnels Italiens du Nucléaire en France - SPIN

Nel corso dell'audizione del 4 febbraio 2025, il presidente della *Société des Professionnels Italiens du Nucléaire en France* (SPIN), Massimo Ciambrella, ha sottolineato che il nucleare rappresenta una fonte energetica abbondante, sostenibile e ad alta valenza industriale. Ha inoltre ricordato che, dalla dismissione dell'ultima centrale nucleare italiana nel 1990, il Paese ha attraversato un lungo periodo di "vedovanza nucleare", durante il quale il relativo patrimonio di competenze si è in parte disperso, pur sopravvivendo significative eccellenze, quali il centro di ricerca ENEA del Brasimone, ed imprese italiane che continuano a figurare tra i principali fornitori di componenti per progetti nucleari europei e internazionali. A tal riguardo, il

presidente della SPIN ha evidenziato che il sistema universitario nazionale ha mantenuto una solida tradizione formativa in campo nucleare, con numerosi scienziati e ingegneri italiani che trovano oggi occupazione in centri di ricerca esteri, in particolare in Francia, dove sono presenti in ruoli di rilievo nei principali dipartimenti scientifici e industriali del settore.

È stata quindi illustrata l'attività della SPIN, fondata nel 2022 e composta da un centinaio di iscritti, con un bacino di circa trecento professionisti interessati, che promuove eventi di *networking* e seminari per favorire lo scambio di competenze e collaborazioni tra Italia e Francia nel campo nucleare.

In conclusione, è stato affermato che un'eventuale ripartenza del nucleare in Italia dovrà poggiare sulla valorizzazione delle competenze esistenti, sulla creazione delle infrastrutture necessarie e su una visione sistemica capace di restituire al Paese un ruolo di rilievo nel settore.

Bpifrance

Nel corso dell'audizione del 4 febbraio 2025, il responsabile settoriale per il nucleare e i metalli critici presso la direzione dell'innovazione di Bpifrance, Massimiliano Picciani, ha illustrato le attività della banca pubblica di investimento francese, interamente detenuta dallo Stato, che gestisce un programma di investimenti da 54 miliardi di euro focalizzato sull'innovazione, sulla transizione energetica e sulla digitalizzazione. Nell'ambito di tale programma, un miliardo di euro è destinato allo sviluppo dei piccoli reattori modulari, attraverso sovvenzioni e prestiti agevolati ripartiti su due linee di intervento: la prima dedicata al progetto *Nuward*, reattore modulare ad acqua pressurizzata sviluppato da EDF (*Électricité de France*), e la seconda rivolta a un bando per reattori nucleari innovativi di quarta generazione.

È stato precisato che al progetto *Nuward* sono stati assegnati 500 milioni di euro, ma che il programma è stato sospeso durante l'estate precedente a causa di scelte progettuali che comportavano tempi e costi eccessivi rispetto all'obiettivo di ingresso sul mercato previsto per il 2029-2030. Il progetto, sostenuto da EDF (*Électricité de France*), è attualmente in fase di revisione.

Con riferimento al bando per i reattori innovativi di quarta generazione, sono state finanziate undici *start-up*, di cui nove dedicate alla fissione e due alla fusione, nate in Francia o attratte dall'estero. Tra queste figurano le società *Newcleo* e *Renaissance Fusion*, entrambe fondate da dirigenti italiani. Tutte le imprese selezionate hanno ricevuto, oltre al contributo economico statale, un supporto tecnologico da parte del Commissariato all'energia atomica, omologo francese dell'ENEA.

È stato illustrato come i progetti a fissione sono suddivisi in tre categorie: il primo gruppo, composto da tre iniziative basate su tecnologie più mature, destinate alla produzione di calore industriale o teleriscaldamento, potrebbe raggiungere il mercato entro la fine del decennio; il secondo gruppo comprende i reattori a sali fusi, caratterizzati da un livello di maturità inferiore, la cui commercializzazione è prevista intorno al 2040; il terzo gruppo, con grado

intermedio di sviluppo, riguarda i reattori a neutroni veloci con refrigerante al sodio o al piombo, due dei quali derivano dall'esperienza dei programmi francesi *Super-Phénix* e *Astrid*, mentre uno è riconducibile alla società *Newcleo*, con una possibile immissione sul mercato all'inizio del 2030.

È stato infine spiegato che la logica del bando è quella di valorizzare l'esperienza francese nel settore nucleare, favorendo la collaborazione tra istituzioni e imprese innovative, in una prospettiva di ricerca esplorativa e di cofinanziamento privato.

Adolfo Urso, Ministro delle imprese e del *made in Italy*

Nel corso dell'audizione del 26 febbraio 2025, il Ministro delle imprese e del *made in Italy* ha evidenziato che, in un contesto energetico globale ed europeo attraversato da profonde trasformazioni finalizzate alla decarbonizzazione e alla sostenibilità dei sistemi energetici, l'Italia si trova nella condizione di dover garantire, contemporaneamente, competitività industriale e sostenibilità ambientale, in coerenza con gli obiettivi del piano *Clean Industrial Deal*, e in un quadro di sicurezza energetica, economica e nazionale.

È stato sottolineato che la completa decarbonizzazione richiede di insistere sullo sviluppo dell'industria energetica e di accelerare sulla produzione di energia rinnovabile, che deve tuttavia essere accompagnata da fonti di produzione continuative, come oggi il gas e, in prospettiva, il nucleare. In tale direzione, il Ministro ha spiegato che il Governo ha inteso intraprendere la strada del nucleare di terza generazione avanzata e di quarta generazione, basato su reattori industriali di piccole dimensioni, adattabili, componibili e trasportabili anche in *container*. Tale tecnologia è stata definita la più avanzata, pulita, sicura e continuativa, in grado di fornire energia a costi inferiori e di garantire l'autonomia energetica italiana ed europea.

Il Ministro ha inoltre segnalato che è in corso di presentazione un disegno di legge in materia di energia nucleare, e che parallelamente si sta definendo un nuovo soggetto industriale, destinato a riunire le principali aziende a controllo pubblico in possesso delle competenze e delle tecnologie necessarie. In tale contesto, è stato ricordato che l'Italia dispone di brevetti nel campo del nucleare di terza generazione avanzata e, soprattutto, di quarta generazione.

L'obiettivo è costruire in Italia reattori di nuova generazione installabili nel rispetto delle leggi sulla sicurezza e sulla tutela ambientale, su richiesta di aziende e distretti industriali. Le centrali, compatte e modulari, potranno soddisfare le esigenze delle imprese ad alto consumo energetico e dei nuovi *data center*, contribuendo a migliorare la competitività nazionale.

Il Ministro ha fatto presente che nel 2022 il costo dell'energia elettrica per l'industria italiana ha superato del 38 per cento la media europea, con un prezzo medio di 0,25 euro per chilowattora contro 0,18 della media UE, e che, nello stesso anno, i costi energetici hanno inciso per l'8 per cento sui costi di produzione della manifattura italiana, rispetto al 4,8 per

cento in Francia. Nel 2023, il prezzo medio all'ingrosso dell'energia in Italia è stato di 127 euro per megawattora, il 30 per cento in più rispetto a Germania e Francia e il 50 per cento in più rispetto alla Spagna, mentre negli Stati Uniti il prezzo risulta inferiore di due o tre volte.

È stato osservato che, per ridurre tale divario, è necessario passare da Paese importatore a Paese produttore ed esportatore di energia, adottando una politica energetica ambiziosa. La soluzione, secondo il Ministro, consiste in una combinazione di energie rinnovabili e nucleare di nuova generazione, fondata su una visione di piena neutralità tecnologica, capace di coniugare politica ambientale e industriale, sostenibilità, dimensione sociale ed equilibrio economico.

Nel corso dell'audizione, il Ministro ha evidenziato che le industrie energivore oggi soddisfano il proprio fabbisogno di energia e calore prevalentemente attraverso turbine a gas, molte delle quali saranno dismesse entro il 2035 e non potranno essere sostituite unicamente da impianti rinnovabili, se non con costi eccessivi per le imprese e i territori. I nuovi reattori nucleari potranno invece sopperire a tali necessità, garantendo un uso più efficiente del suolo in quanto, secondo le stime, il nucleare richiede circa dieci ettari di superficie, contro i cento necessari per l'eolico e i mille per il fotovoltaico.

Il Ministro ha inoltre chiarito che i costi dell'energia prodotta da piccoli reattori di nuova generazione non supererebbero i 100 euro per megawattora, un valore competitivo rispetto a quello delle rinnovabili, il cui attuale costo medio di 65 euro per megawattora deve essere integrato con le spese per lo stoccaggio e altri oneri di sistema, a fronte di una durata di esercizio fino a quattro volte inferiore.

È stato ribadito che l'Italia deve affrontare la sfida dello sviluppo energetico, senza la quale non è possibile il progresso economico e industriale, richiamando l'esempio storico della CECA, la Comunità Europea del Carbone e dell'Acciaio, come primo passo verso l'integrazione economica del continente. È stato inoltre sottolineato che l'autonomia strategica in campo energetico è indispensabile, in considerazione della vulnerabilità delle catene globali di approvvigionamento.

Le fonti su cui l'Europa può fare leva sono le energie rinnovabili e il nucleare, supportate da tecnologie emergenti come l'intelligenza artificiale, la meccanica quantistica e l'installazione di *data center*. Nonostante la produzione di energia nucleare in Italia sia cessata nel 1990, il Paese ha conservato un *know-how* strategico, con imprese attive in progetti internazionali e centri di eccellenza impegnati nella ricerca e nello sviluppo di tecnologie di quarta generazione e di fusione, tra cui Ansaldo Energia, Ansaldo Nucleare, Enel, Edison, Newcleo ed ENEA, con il centro del Brasimone.

Da parte sua, il Ministero delle imprese e del *made in Italy* partecipa alla piattaforma per il nucleare sostenibile coordinata dal Ministero dell'ambiente e della sicurezza energetica, all'Alleanza industriale europea sugli SMR e agli Importanti Progetti di Interesse Comune Europeo (IPCEI, *important project of common european interest*) sul nucleare, che favoriscono la

definizione di standard comuni di certificazione e l'accesso ai fondi europei. Tra le proposte più rilevanti vi è la creazione di una *NewCo* italiana per il nucleare di nuova generazione, con la partecipazione di Ansaldo Nucleare come integratore industriale ed Enel come operatore e *architect engineer*. La compagine societaria, ancora in via di definizione, prevede una partecipazione del 51 per cento di Enel, del 39 per cento di Ansaldo e del 10 per cento di Leonardo, con la selezione in corso del *partner* tecnologico.

L'obiettivo è sviluppare impianti nucleari industriali di piccola taglia, modulari e trasportabili, con alti standard di sicurezza, destinati a chiunque intenda installarli nei mercati europeo e globale. È stato altresì osservato che, per rassicurare l'opinione pubblica, occorrerà adottare misure di sicurezza avanzate e rispettare gli standard internazionali, pur rilevando che l'orientamento generale appare oggi più favorevole allo sviluppo competitivo del Paese rispetto al passato.

Il Ministro ha poi affermato che anche l'Unione europea deve perseguire l'autonomia energetica, che potrà essere conseguita solo attraverso una combinazione di energie rinnovabili e nucleare, di cui anche l'Italia dovrà dotarsi. Ha segnalato che, in ambito europeo, il Governo sta inoltre lavorando a un *non paper* sul meccanismo di adeguamento del carbonio alle frontiere (CBAM, *Carbon Border Adjustment Mechanism*) e a una proposta di revisione volta a sostenere le industrie energivore - come siderurgia, chimica, vetro e carta - nel percorso di transizione ambientale, ricordando che l'Italia si distingue per l'elevato utilizzo di tecnologie *green*, in particolare nel comparto siderurgico.

È stato infine precisato che la strategia nazionale si fonda su due direttrici: nel breve periodo, sostenere famiglie e imprese rispetto al costo dell'energia; nel lungo periodo, strutturare un contesto legislativo che consenta lo sviluppo del nucleare di nuova generazione accanto alle fonti rinnovabili, nella prospettiva di sostituire progressivamente il gas.

Ciò consentirà all'Italia e all'Europa di raggiungere un'autonomia strategica nella produzione energetica, analoga a quella conseguita dagli Stati Uniti, rafforzando la competitività industriale e l'indipendenza economica del continente.

Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale - ISPRA

Nel corso dell'audizione del 4 marzo 2025, la direttrice generale dell'Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale (ISPRA), Maria Siclari, e la responsabile della Sezione Valutazione di Impatto Ambientale del Dipartimento per la valutazione, i controlli e la sostenibilità ambientale, Anna Cacciuni, hanno illustrato il ruolo strategico dell'Istituto nella gestione ambientale e nella definizione delle politiche energetiche nazionali, evidenziandone la funzione di supporto tecnico-scientifico ai decisori pubblici in materia di sostenibilità e tutela ambientale.

È stato sottolineato che l'azione dell'ISPRA è particolarmente rilevante nel contesto della transizione energetica, processo complesso che richiede un approccio integrato tra

innovazione tecnologica, sicurezza ambientale e analisi dei rischi. In quanto ente pubblico di ricerca inserito nel Sistema nazionale per la protezione dell'ambiente (SNPA), l'Istituto contribuisce alla pianificazione energetica sostenibile mediante la produzione di dati ambientali affidabili, strumenti di monitoraggio e attività di valutazione di impatto.

È stato ricordato che la partecipazione dell'ISPRA al dibattito sul ruolo del nucleare nella decarbonizzazione deriva dalle competenze maturate in ambito tecnico e normativo. Fino all'attivazione dell'Ispettorato per la sicurezza nucleare e la radioprotezione (ISIN), l'Istituto è stato l'autorità nazionale competente in materia, redigendo documenti fondamentali come la Guida tecnica n. 29 per la localizzazione dei depositi di rifiuti radioattivi, che ha costituito la base scientifica per l'individuazione delle aree rientranti nella Carta nazionale delle aree potenzialmente idonee (CNAPI). Anche dopo il trasferimento delle competenze all'ISIN, ISPRA continua a svolgere funzioni di controllo e vigilanza sugli impianti industriali complessi, tra cui centrali termoelettriche e raffinerie, operando in collaborazione con le Agenzie regionali per la protezione dell'ambiente (ARPA) e le Agenzie delle province autonome per la protezione dell'ambiente (APPA).

È stato inoltre evidenziato che l'Istituto è impegnato nella prevenzione dei rischi derivanti da attività industriali ad alto impatto ambientale, in attuazione della "normativa Seveso", e fornisce supporto tecnico nella valutazione della sostenibilità di impianti e processi produttivi. Nell'ambito del Sistema di Protezione civile, ISPRA contribuisce alla gestione delle emergenze con interventi specialistici e analisi su qualità dell'aria, emissioni atmosferiche e altri parametri ambientali. L'Istituto è anche coinvolto nelle valutazioni ambientali strategiche di piani e programmi nazionali, tra cui il Piano nazionale integrato energia e clima (PNIEC) e il Piano nazionale di adattamento ai cambiamenti climatici (PNACC), collaborando con la Commissione VIA-VAS per l'elaborazione di scenari coerenti con gli obiettivi di decarbonizzazione.

È stato richiamato, inoltre, il recente coinvolgimento di ISPRA nella "Piattaforma nazionale per il nucleare sostenibile" istituita dal Ministero dell'ambiente e della sicurezza energetica, dove coordina il gruppo di lavoro dedicato agli aspetti ambientali, alla comunicazione e all'accettabilità sociale del nucleare. Tale incarico riflette la fiducia attribuita all'Istituto per la sua capacità di affrontare con rigore scientifico le questioni ambientali connesse allo sviluppo di questa tecnologia, contribuendo alla definizione di linee guida e *roadmap* per l'integrazione del nucleare nel *mix* energetico in affiancamento alle fonti rinnovabili.

Nel corso dell'audizione è stato poi ricordato che, a livello europeo, il nucleare è incluso nella tassonomia delle tecnologie sostenibili e che gli studi condotti, tra cui quelli del *Joint Research Center* (JRC), confermano la compatibilità di tale fonte con i criteri DNSH (*do no significant harm*), purché siano garantite adeguate condizioni di sicurezza ambientale e di gestione a lungo termine dei rifiuti radioattivi. In tale ambito, ISPRA può svolgere un ruolo

centrale nell'analisi del ciclo di vita delle centrali nucleari, valutando gli impatti ambientali complessivi, dalle emissioni di CO_2 - generalmente contenute - al consumo di acqua per il raffreddamento, fino alla gestione delle scorie, considerata tra le criticità principali. È stato infine sottolineato che le valutazioni sito-specifiche e l'adozione di tecnologie avanzate per la riduzione degli impatti costituiscono ambiti in cui l'Istituto può offrire un contributo determinante.

In conclusione, è stato ribadito che la transizione energetica richiede un equilibrio tra ambizione climatica e sostenibilità tecnica ed economica, e che il raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione al 2050, come delineato nel PNIEC, potrebbe richiedere una quota programmabile di produzione elettrica a basse emissioni, nella quale il nucleare rappresenta una possibile opzione integrativa rispetto alle rinnovabili. In tale prospettiva, ISPRA, con la propria esperienza tecnico-scientifica, è stato indicato come un attore essenziale per garantire valutazioni, monitoraggi e supporto alle decisioni pubbliche nel rispetto dell'ambiente e della sicurezza collettiva.

Gilberto Pichetto Fratin, Ministro dell'ambiente e della sicurezza energetica

Nel corso dell'audizione del 9 ottobre 2024, il Ministro dell'ambiente e della sicurezza energetica ha evidenziato che la riduzione dei costi del sistema energetico non rappresenta l'unico fattore in grado di generare effetti positivi sull'economia nazionale. È stato osservato che, a differenza del fotovoltaico e dei sistemi di accumulo elettrochimico, settori nei quali prevale la *leadership* industriale cinese, la tecnologia nucleare è sviluppata e resa disponibile dai Paesi occidentali, tra cui l'Italia, grazie alle significative competenze e capacità industriali già presenti sul territorio. Tali capacità, ha precisato il Ministro, devono essere consolidate e potenziate nel tempo attraverso la partecipazione delle imprese italiane alla *supply chain* europea, che si sta strutturando nell'ambito dell'Alleanza industriale europea sugli SMR (*Small Modular Reactors*).

È stato sottolineato che ciò consentirebbe di assicurare un'elevata affidabilità nella fornitura e nella manutenzione della tecnologia nucleare, con rilevanti ricadute economiche sul piano nazionale, in termini di crescita occupazionale e incremento del prodotto interno lordo.

Il Ministro ha infine rilevato che il nucleare costituisce una fonte energetica intrinsecamente più sostenibile, in quanto priva di emissioni di anidride carbonica e caratterizzata da un impatto territoriale limitato: rispetto alle fonti rinnovabili, infatti, richiede superfici da cinquanta a duecentocinquanta volte inferiori, senza considerare gli spazi necessari per i sistemi di accumulo, con evidenti vantaggi anche sotto il profilo della tutela del paesaggio.

Anima Confindustria meccanica varia

Nel corso dell'audizione del 28 marzo 2024, il delegato per l'Energia di ANIMA Confindustria, Alberto Zerbinato, ha evidenziato che l'industria italiana dispone delle competenze necessarie per competere nella fase di industrializzazione degli impianti nucleari di tipo SMR (*Small Modular Reactors*), in particolare nel ciclo di processo primario che comprende la caldaia nucleare, gli involucri e le strutture di carpenteria.

È stato inoltre rilevato che il sistema industriale nazionale può svolgere un ruolo significativo anche nei settori delle macchine rotanti, dei motori elettrici, delle pompe, delle tubazioni e delle saldature, ambiti in cui imprese italiane sono già coinvolte in progetti internazionali e nei quali esistono ampie prospettive di sviluppo e crescita.

Ansaldo Nucleare S.p.A.

Nel corso dell'audizione del 3 ottobre 2024, l'amministratore delegato di Ansaldo Nucleare S.p.A., Daniela Gentile, ha illustrato le prospettive economiche legate allo sviluppo del nuovo nucleare, evidenziando che, secondo le proiezioni al 2050 a livello europeo, tale comparto potrebbe generare un mercato potenziale di circa 25 miliardi di euro, ai quali si aggiungerebbero ulteriori 21 miliardi in caso di riapertura al nucleare all'interno dei confini nazionali, nell'ambito delle previsioni del PNIEC. Considerando anche gli effetti indiretti e indotti, è stato quindi stimato che l'investimento nel nuovo nucleare potrebbe determinare un impatto economico complessivo di circa 50 miliardi di euro e la creazione di oltre 117.000 nuovi posti di lavoro.

È stato sottolineato che un simile scenario richiede una pianificazione tempestiva e la definizione dei fattori abilitanti per favorire gli investimenti necessari all'adeguamento della filiera industriale, con particolare riguardo al rafforzamento delle capacità produttive e alla valorizzazione delle competenze nella progettazione e nella manifattura. È stato inoltre ricordato che la modularità dei piccoli reattori nucleari consente la produzione e l'assemblaggio delle componenti in fabbrica, favorendo così lo sviluppo della *supply chain* nazionale.

L'amministratore delegato di Ansaldo Nucleare S.p.A. ha rilevato che l'Italia dispone già di una filiera nucleare consolidata, composta da oltre settanta imprese specializzate, più della metà delle quali di dimensioni medio-grandi, che forniscono componenti tecnologicamente avanzate per progetti in corso nel Regno Unito, in Francia e in Romania, nonché per l'ammodernamento degli impianti in Francia e Slovenia. È stato inoltre ricordato che la rilevanza della filiera nucleare italiana è confermata dall'ampia partecipazione delle imprese nazionali alla *SMR EU Industrial Alliance*, nella quale l'Italia occupa il secondo posto per numero di aziende aderenti, dopo la Francia.

In conclusione, è stato affermato che per promuovere lo sviluppo del nuovo nucleare e accelerare il percorso di decarbonizzazione è indispensabile definire una chiara visione industriale di medio-lungo periodo, capace di massimizzare i benefici economici per gli utenti

finali e per il sistema-Paese, valorizzando al contempo le competenze e le eccellenze della filiera industriale e della ricerca nazionale.

Istituto Bruno Leoni

Nel corso dell'audizione del 22 gennaio 2025, il direttore del settore ricerche e studi dell'Istituto Bruno Leoni, Carlo Stagnaro, ha osservato che, negli ultimi anni, diversi fattori hanno reso più favorevoli gli investimenti nel settore dell'energia nucleare. È stato ricordato, in primo luogo, che molti impianti nucleari oggi operativi si avvicinano alla fine del loro ciclo di vita, costringendo i Paesi che ne dipendono, come la Francia, a valutarne la sostituzione. In secondo luogo, è stato sottolineato come l'obiettivo della decarbonizzazione abbia assunto un ruolo sempre più centrale nelle politiche energetiche, orientando la transizione verso tecnologie a basse emissioni di carbonio.

Si rileva che, sebbene le fonti rinnovabili abbiano beneficiato di incentivi pubblici e della progressiva riduzione dei costi, la loro natura intermittente e non programmabile ne limita la capacità di garantire la copertura del carico di base del sistema elettrico, in particolare per il settore industriale. È stato inoltre evidenziato che, nonostante i progressi tecnologici negli accumuli energetici rappresentino un elemento indispensabile per la decarbonizzazione, essi non sono ancora sufficienti a garantire la piena elettrificazione dei consumi, considerata un pilastro della strategia europea e nazionale verso la neutralità climatica.

In tale contesto, è stato affermato che la crescente domanda di energia elettrica decarbonizzata e la necessità di stabilità nella fornitura rendono il nucleare un elemento chiave per il raggiungimento della neutralità carbonica in modo economicamente sostenibile. È stato infine richiamato il parere dell'Agenzia internazionale dell'energia (IEA), secondo cui il ruolo del nucleare diventa tanto più cruciale quanto più si punta a una riduzione drastica delle emissioni, rappresentando un pilastro essenziale nel percorso verso l'obiettivo del *Net-Zero*.

CESI S.p.A.

Nel corso dell'audizione del 28 gennaio 2025, il presidente del consiglio di amministrazione di CESI S.p.A., Guido Bortoni, ha sottolineato che, per integrare efficacemente il nucleare avanzato nel sistema elettrico nazionale, è necessario valutarne l'impatto complessivo sull'intero assetto del vettore elettrico. Ha evidenziato, inoltre, l'importanza di un costante coordinamento con i gestori delle reti di trasmissione e dei sistemi di accumulo, al fine di garantire la sicurezza e l'adeguatezza del sistema elettrico, nonché di ottimizzare gli investimenti destinati allo sviluppo delle infrastrutture di rete e stoccaggio.

È stato osservato che l'Italia può contare su un *know-how* consolidato nel campo dell'integrazione dei sistemi e delle tecnologie di controllo e monitoraggio, che può essere valorizzato per sviluppare modelli di ottimizzazione dell'inserimento del nucleare avanzato nel vettore elettrico. In tale ambito, è stato proposto di elaborare strumenti di analisi e

pianificazione capaci di supportare le scelte infrastrutturali e tecnologiche in funzione di diversi obiettivi strategici, quali, ad esempio, la riduzione dei costi complessivi per il sistema, il rafforzamento della competitività e la sicurezza energetica.

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

Nel corso dell'audizione del 30 gennaio 2025, il direttore del Dipartimento Nucleare dell'ENEA, Alessandro Dodaro, ha illustrato il potenziale industriale italiano nel settore nucleare, evidenziando che, grazie alle attività di ricerca e sviluppo in ambito di fusione e alle collaborazioni internazionali con i Paesi che impiegano la fissione come fonte energetica, l'Italia dispone di una filiera industriale già ampiamente strutturata. È stato precisato che, nel settore dei reattori refrigerati ad acqua (SMR – *Small Modular Reactor*), le imprese italiane partono da una posizione di svantaggio competitivo, poiché tale tecnologia richiede la miniaturizzazione di reattori già esistenti, ambito nel quale i costruttori di impianti di grandi dimensioni godono di un vantaggio tecnologico.

Diversamente, per quanto riguarda i reattori raffreddati a metallo liquido (AMR – *Advanced Modular Reactor*), è stato rilevato che le industrie italiane, con il supporto dell'ENEA, si collocano in una posizione più avanzata rispetto alle filiere estere. Tale tecnologia, una volta validata sul campo, è destinata a rappresentare un segmento di mercato ad elevato potenziale, nel quale l'Italia potrebbe assumere un ruolo di rilievo.

Con riferimento alle competenze e capacità nazionali in ambito accademico e pubblico, il direttore ha ricordato che, nonostante l'assenza di finanziamenti pubblici negli ultimi venticinque anni, l'ENEA ha mantenuto le proprie strutture sperimentali e competenze tecnico-scientifiche, riconosciute a livello internazionale, tra cui due reattori di ricerca operativi presso il Centro Ricerche della Casaccia. Tale risultato è stato reso possibile grazie alla partecipazione ai programmi di ricerca EURATOM e alle collaborazioni con industrie nazionali e internazionali, che hanno continuato a finanziare attività di ricerca applicata.

È stato inoltre ricordato che nel 2024 il Ministero dell'ambiente e della sicurezza energetica ha finanziato un programma di ricerca nucleare dedicato alle tecnologie della fissione e della fusione, nonché agli impieghi non energetici delle stesse, attraverso un Accordo di Programma con ENEA nell'ambito dell'iniziativa Mission Innovation 2.0.

In merito alle azioni necessarie per attrarre in Italia imprese, tecnologie e competenze scientifiche e ingegneristiche, è stato auspicato che la legge delega sul nucleare e i relativi decreti applicativi vengano approvati in tempi rapidi, al fine di ricostruire un quadro normativo idoneo alla realizzazione e all'esercizio di centrali nucleari nel Paese. È stata infine sottolineata l'importanza di promuovere la partecipazione dell'Italia agli IPCEI (*important project of common european interest*) sul nucleare, attualmente in discussione presso l'*High Level*

Group che assiste la Commissione europea in materia, richiamando in proposito l'esperienza maturata da ENEA nella realizzazione degli IPCEI sull'idrogeno.

Istituto nazionale di fisica nucleare - INFN

Nel corso dell'audizione del 30 gennaio 2025, il presidente dell'Istituto nazionale di fisica nucleare, Antonio Zoccoli, ha evidenziato che il sistema industriale italiano è già fortemente connesso allo sviluppo delle tecnologie nucleari, sia attraverso le *partnership* con imprese straniere impegnate nella realizzazione di impianti per la produzione di energia, sia grazie alle tecnologie nucleari non energetiche sviluppate per applicazioni in altri settori. Tale patrimonio di conoscenze, è stato osservato, può essere valorizzato, reindirizzato e ulteriormente ampliato.

È stato sottolineato che il ruolo delle aziende italiane dovrà integrarsi in sinergia con i principali operatori internazionali che oggi guidano lo sviluppo e la costruzione di impianti nucleari. In questa prospettiva, la creazione di reti di collaborazione e il rafforzamento delle *partnership* internazionali sono stati indicati come elementi essenziali non solo per sostenere lo sviluppo tecnico e industriale della filiera nucleare in Italia, ma anche per favorirne la crescita e il consolidamento strutturale.

È stato inoltre ricordato che il sistema degli enti di ricerca e dell'università italiana riveste un'importanza preminente in questo ambito. L'avvio di una nuova linea di sviluppo nel campo del nucleare commerciale per la produzione di energia, è stato precisato, potrebbe rappresentare un attrattore di competenze per le realtà scientifiche e industriali già operative nel Paese.

È stata infine segnalata l'utilità di introdurre misure di detassazione e incentivi economici per favorire il reclutamento di personale altamente qualificato nel panorama internazionale, nonché la necessità di adeguare le normative che regolano gli studi connessi ai reattori a fusione, attualmente più restrittive rispetto a quelle vigenti in altri Paesi, come Stati Uniti e Regno Unito, dove tali tecnologie rientrano nella categoria delle macchine acceleratrici. In Italia, la classificazione dei suddetti impianti quali reattori nucleari comporta infatti un aggravio significativo degli adempimenti documentali e burocratici.

Antonio Naviglio, professore emerito di impianti nucleari

Nel corso dell'audizione del 30 gennaio 2025, il professore emerito di impianti nucleari Antonio Naviglio ha evidenziato il forte interesse che il settore delle tecnologie nucleari continua a suscitare tra gli studenti universitari italiani, pur rilevando che molti di essi scelgono di proseguire la propria carriera professionale all'estero, in particolare in Francia, dove si registra una significativa presenza di personale tecnico e scientifico italiano.

È stato inoltre sottolineato che l'Italia ha conservato nel tempo una solida capacità realizzativa nel campo nucleare, non solo in ambito accademico, ma anche industriale. Diverse

imprese italiane, infatti, si sono aggiudicate commesse di rilievo a livello internazionale nel settore, a conferma dell'esistenza di una tradizione nazionale nel campo dell'energia nucleare che, pur nelle dimensioni contenute dell'attuale comparto, merita di essere pienamente valorizzata e rilanciata.

Massimiliano Fratoni, professore associato presso il dipartimento di ingegneria nucleare dell'Università della California

Nel corso dell'audizione del 19 febbraio 2025, è stato sottolineato che uno dei fattori decisivi per lo sviluppo e la crescita del settore nucleare risiede nella formazione e nel potenziamento del capitale umano. È stato ricordato come l'Italia disponga di una consolidata tradizione nel campo dell'energia nucleare e come, nel tempo, siano rimasti attivi programmi universitari di elevato livello, che hanno formato numerosi professionisti oggi impegnati all'estero.

Il professor Fratoni ha inoltre osservato che, nei principali atenei e centri di ricerca internazionali, in particolare negli Stati Uniti e in Europa, la presenza di studenti e ricercatori italiani nel settore nucleare è costante e di rilievo, con molti di essi coinvolti anche in posizioni di *leadership* scientifica. Tale patrimonio di competenze dovrebbe essere valorizzato e reintegrato nel sistema nazionale qualora l'Italia decidesse di riavviare un proprio programma nucleare.

Associazione italiana nucleare - AIN

Nel corso dell'audizione del 28 gennaio 2025, il presidente dell'Associazione italiana nucleare (AIN), Stefano Monti, ha sottolineato che l'industria nazionale dispone delle competenze e delle capacità necessarie per intercettare una quota significativa del mercato nucleare internazionale, grazie a una catena di fornitura industriale di alto livello, integrata da eccellenze nella ricerca, nella formazione e nella gestione di progetti complessi. Tale condizione costituisce una base solida per una più ampia partecipazione italiana a iniziative e progetti nucleari all'estero, con benefici attesi già nei prossimi anni in termini di incremento del prodotto interno lordo e di occupazione altamente qualificata.

È stato inoltre evidenziato che il Governo ha già destinato rilevanti risorse finanziarie all'ENEA per il triennio 2024-2026, al fine di sostenere la ricerca e lo sviluppo nel settore. In sinergia con tali risorse, è stata prospettata la necessità di avviare un programma di natura industriale che renda più competitiva la filiera italiana nell'acquisizione di commesse estere e, successivamente, nella realizzazione di progetti sul territorio nazionale.

In questo quadro, è stato infine proposto di istituire un *hub* industriale, sul modello di altri Paesi europei che stanno rivalutando l'opzione nucleare, per consentire una rapida qualificazione e certificazione di prodotti e processi nei settori dei sistemi e componenti

dell'isola nucleare, della strumentazione, dei sistemi di controllo e delle apparecchiature meccaniche ed elettriche.

Conflavoro PMI

Nel corso dell'audizione del 30 gennaio 2025, il delegato nazionale allo sviluppo di impresa e all'internazionalizzazione di Conflavoro PMI, Enrico Fantini, ha sottolineato l'importanza di affrontare il tema del nucleare attraverso un disegno di legge delega, concepito come testo unico sul nucleare sostenibile. Tale provvedimento, volto a sistematizzare l'intera materia, dovrebbe prevedere, tra gli altri aspetti, l'istituzione di un'autorità indipendente dedicata e la definizione di un programma nazionale entro il 2027, aprendo all'impiego delle tecnologie più avanzate, incluse quelle modulari.

È stato auspicato che l'attività di normazione possa svilupparsi in modo ampiamente condiviso con gli *stakeholder* e accompagnata da un'informazione consapevole dell'opinione pubblica, garantendo al contempo un'efficace attuazione della fase esecutiva. In tale contesto, è stata prospettata l'opportunità di inserire nel disegno di legge specifici incentivi per le piccole e medie imprese italiane, che possono assumere un ruolo strategico nella filiera nucleare, ad esempio nella produzione di componentistica avanzata, nelle tecnologie digitali per il monitoraggio e nei sistemi di sicurezza, oltre a beneficiare della riduzione dei costi energetici che potrebbe derivarne.

È stato inoltre rilevato che l'adozione dei piccoli reattori modulari (SMR), caratterizzati da modularità e tempi di realizzazione più contenuti, potrebbe favorire il coinvolgimento del settore privato e il riposizionamento delle PMI nel comparto nucleare, superando le barriere economiche e tecnologiche che ne hanno finora limitato la partecipazione.

A tal fine, sono stati indicati due strumenti operativi prioritari: la promozione del coinvolgimento in iniziative multilaterali, volte a incentivare il trasferimento tecnologico e la diffusione di buone pratiche, e la previsione di incentivi fiscali per favorire la competitività del comparto, in particolare in relazione all'implementazione dei reattori modulari.

La realizzazione di una rete di piccole centrali nucleari, è stato infine osservato, potrebbe favorire la creazione di comunità energetiche rinnovabili (CER) dedicate, basate su un modello di gestione decentrata dell'energia che includa attivamente le PMI, in combinazione con misure di stabilizzazione dei prezzi dell'energia, come la possibile separazione tra i mercati di elettricità e gas, al fine di garantire maggiore stabilità economica per il tessuto produttivo nazionale.

Istituto nazionale di fisica nucleare - INFN

Nel corso dell'audizione del 30 gennaio 2025, il presidente dell'Istituto nazionale di fisica nucleare, Antonio Zoccoli, ha evidenziato che una diversificazione delle fonti energetiche rappresenta un elemento essenziale per ridurre i costi e i rischi legati all'approvvigionamento di energia. È stato rilevato come, allo stato attuale, il costo di produzione dell'energia da fonte nucleare risulti competitivo rispetto ad altre fonti, offrendo al contempo una maggiore flessibilità nella gestione del sistema energetico.

È stato inoltre sottolineato che il nucleare presenta la peculiarità di garantire una produzione elettrica continua e a basse emissioni di anidride carbonica, a differenza delle fonti rinnovabili, come il solare e l'eolico, soggette a fluttuazioni. In tale prospettiva, l'investimento in impianti nucleari di piccola o media scala di potenza è stato indicato come particolarmente adatto al contesto industriale italiano, poiché consentirebbe di ridurre significativamente i costi di trasporto dell'energia elettrica, che oggi incidono per circa il 20 per cento sul totale delle bollette.

I costi

Enrico Zio, professore ordinario di impianti nucleari al Politecnico di Milano

Nel corso dell'audizione del 19 marzo 2024, è stato rilevato come l'attuale modello di *business* dei grandi impianti nucleari presenti rilevanti criticità strutturali, connesse alla complessità dei procedimenti autorizzativi, alle difficoltà realizzative, alla notevole dimensione degli impianti e alla loro funzione esclusivamente limitata alla produzione di energia elettrica destinata alla rete. È stato altresì evidenziato che, sotto il profilo economico, i costi di realizzazione risultano significativamente più elevati nel mondo occidentale rispetto al contesto asiatico, anche in ragione di un impianto normativo che rende difficoltosa l'introduzione di modifiche progettuali in corso d'opera. A tali elementi si sommano l'elevato indebitamento iniziale, la contrazione della catena di approvvigionamento e la limitata esperienza della forza lavoro disponibile nel settore.

È stato sottolineato, tuttavia, che esistono margini di miglioramento mediante l'introduzione di innovazioni tecniche e procedurali, quali la standardizzazione del *design* e la conseguente accelerazione dei processi di apprendimento e ottimizzazione delle procedure costruttive, con effetti positivi in termini di riduzione dei costi di autorizzazione e dei tempi di realizzazione. Tali misure, secondo le esperienze maturate in altri comparti industriali, potrebbero consentire una diminuzione dei costi di capitale compresa tra il 10 e il 50 per cento.

È stato, peraltro, evidenziato che l'attuale fase di ripartenza del nucleare rimane esposta a molteplici fattori di rischio, che potrebbero determinare una nuova battuta d'arresto qualora anche i reattori avanzati e i piccoli reattori modulari dovessero incorrere in superamenti di costi e tempi analoghi a quelli registrati dai grandi impianti negli ultimi quindici anni, o qualora la loro operatività restasse confinata alla sola produzione di energia elettrica per la rete, senza un adeguato accesso ad altri mercati in cui la loro flessibilità potrebbe risultare di particolare interesse. È stato altresì richiamato il rischio che un eventuale grave incidente possa nuovamente compromettere la fiducia nell'energia nucleare.

In conclusione, è stato osservato che, pur permanendo un ampio interesse per il nucleare quale strumento essenziale ai fini della decarbonizzazione, occorre considerare attentamente l'incidenza dei costi legati al rischio finanziario. È stato altresì ricordato che i reattori nucleari di piccola taglia possono costituire un elemento di rilievo nel processo di transizione energetica, pur presentando costi superiori per unità di energia generata, circostanza che rende opportuno estenderne l'impiego anche ad altri ambiti applicativi, al fine di valorizzarne appieno le potenzialità.

È stato infine precisato che l'impiego di tecnologie diverse da quelle ad acqua comporterebbe un incremento dei rischi operativi, in ragione della ridotta esperienza maturata nel loro utilizzo.

Da ultimo, è stato sottolineato come l'effettivo inserimento dell'energia nucleare nel *mix* energetico nazionale richieda una programmazione armonica e coordinata di tutte le attività necessarie, sino alle fasi di verifica e di autorizzazione, in un quadro coerente di politiche energetiche. A tal fine, saranno indispensabili rilevanti sforzi per pianificare in modo organico le attività di ricerca e sviluppo, la dimostrazione tecnologica e la semplificazione dei procedimenti di verifica e autorizzazione.

Greenpeace Italia

Greenpeace Italia ha evidenziato, nel documento depositato, che le enormi difficoltà affrontate dai due principali Paesi occidentali che possiedono la tecnologia nucleare – la Francia e gli Stati Uniti – hanno un riscontro anche nelle proiezioni dei costi delle tecnologie oggi commercialmente disponibili. In proposito, si ricorda che sia l'azienda proprietaria della tecnologia francese, Areva, che quella nippo-americana, la Toshiba-Westinghouse, sono fallite, rispettivamente nel 2016 e 2017, per i costi associati alla costruzione delle loro prime centrali di generazione III+: l'EPR in Finlandia, e l'AP-1000 negli USA.

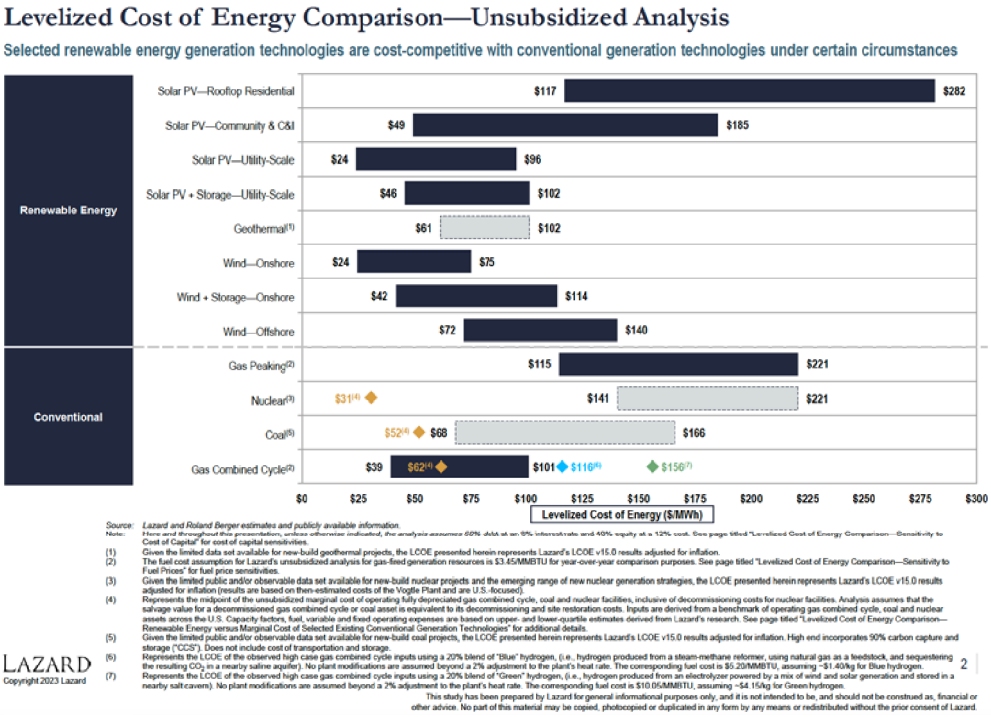
La banca d'affari Lazard pubblica periodicamente delle stime dei costi industriali attualizzati dell'elettricità dei futuri impianti per le diverse tecnologie, stime che sono un riferimento per gli investitori privati. Come si vede nella tabella allegata al documento trasmesso da Greenpeace, tratta dal rapporto del 2023, il costo minimo stimato per le tecnologie nucleari (stimati in 141 $/MWh) è maggiore dei costi massimi sia per i sistemi solari fotovoltaici associati a batterie industriali, sia per quelli eolici a terra e a mare accoppiati a batterie industriali.

Nel documento si evidenzia che il "Contratto per differenza" relativo all'EPR in costruzione a Hinkley Point nel Regno Unito (UK) – contratto con cui la francese EDF si è impegnata nella realizzazione dei due reattori EPR - prevede un prezzo garantito per 35 anni per la futura elettricità del reattore, prezzo attualizzato in parte all'inflazione.

Il progetto dell'EPR, originariamente un'iniziativa industriale franco-tedesca (Framatome e Siemens), era stato lanciato nel 1991. Oltre 30 anni dopo è sostanzialmente fallito sul piano economico e presenta anche delle criticità tecnologiche, come è emerso nel caso dell'incidente alla centrale EPR in Cina di Taishan. Per ridurne i costi, l'azienda EDF ha sviluppato una variante più semplice, il progetto dell'EPR-2, e ha previsto la costruzione di sei reattori in Francia mentre, come già ricordato, l'unico EPR in costruzione a Flamanville non è ancora operativo. Stimato in tre miliardi di euro quando fu annunciato nel 2004, l'EPR di Flamanville avrebbe dovuto entrare in servizio inizialmente nel 2012, ma ripetute difficoltà hanno portato

a molteplici ritardi e costi aggiuntivi per il progetto, rivalutato a 13,2 miliardi di euro, a cui si aggiungono gli oneri finanziari per un totale superiore ai 19 miliardi di euro.

Un'analisi critica delle stime dell'EDF sull'EPR-2 è stata recentemente condotta su commissione di Greenpeace Francia e riporta un costo stimato dell'elettricità futura tra i 135 e i 176 euro/MWh, un valore ben più alto dei 70 euro/MWh presentati da EDF e più allineato con le stime di Lazard. Il settore nucleare francese è in forte crisi: i reattori esistenti stanno invecchiando e molti di questi presentano seri problemi di corrosione, con conseguenti fermi impianto e riduzione della produzione, mentre la nuova tecnologia commerciale non è mai decollata.



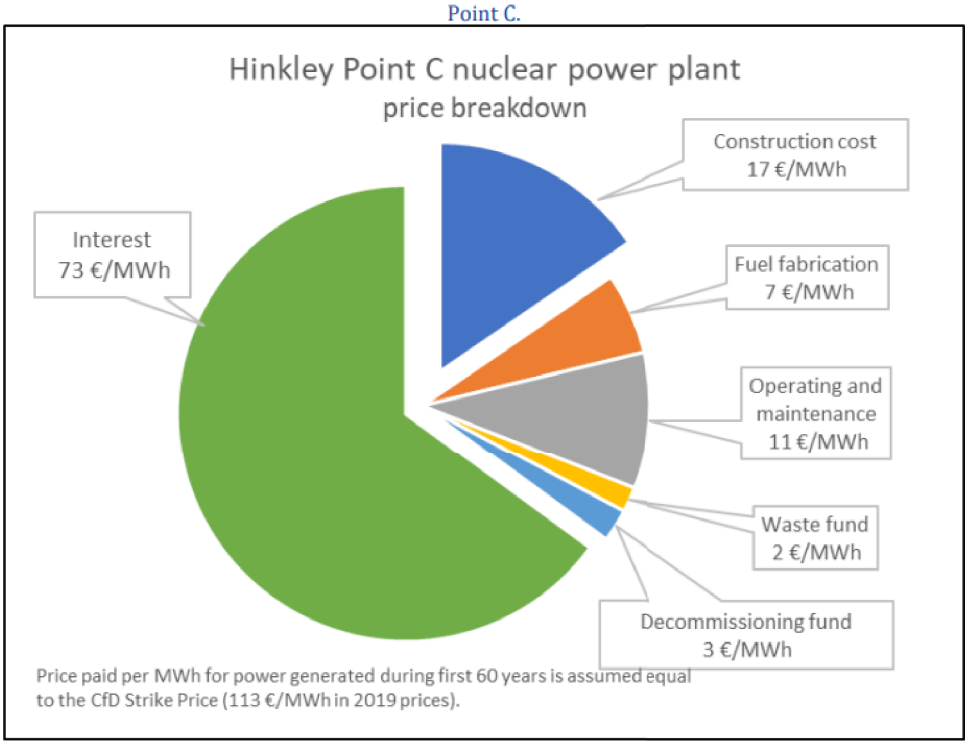
Stime dei costi attualizzati (senza sussidi) per diverse tecnologie energetiche (Fonte: Lazard, 2023)

Istituto Bruno Leoni

Nel corso dell'audizione del 22 gennaio 2025, il direttore del Settore ricerche e studi dell'Istituto Bruno Leoni, Carlo Stagnaro, ha evidenziato che il settore nucleare si contraddistingue per l'elevata incidenza dei costi fissi, a fronte di una componente variabile di entità più contenuta. È stato sottolineato, in particolare, che il costo medio unitario dell'energia prodotta da impianti nucleari è fortemente condizionato dall'entità dell'investimento iniziale e, conseguentemente, dalle condizioni del relativo finanziamento (Osimani e Tripputi, 2022).

A titolo esemplificativo, è stato richiamato il caso dell'impianto di Hinkley Point C, attualmente in costruzione nel Regno Unito, la cui analisi economica, illustrata nella Figura 1 sottostante, mostra la composizione stimata del costo medio di generazione.

Figura 1. Composizione del costo medio attualizzato dell'energia nucleare dall'impianto di Hinkley Point C.



Fonte: van Dorp (2019).

È stato rilevato che la significativa dipendenza dal capitale iniziale, unitamente ai prolungati tempi di costruzione, genera una marcata incertezza circa la possibilità di assicurare ritorni economici adeguati a coprire l'investimento sostenuto. Inoltre, l'aumentata sensibilità sociale nei confronti dei rischi connessi all'energia nucleare ha condotto, nel tempo, a un progressivo irrigidimento dei requisiti regolatori e di sicurezza, con conseguenti ripercussioni sull'incremento dei costi di progettazione e di costruzione dei nuovi impianti (Lovering et al., 2016).

In conclusione, è stato osservato che la rarefazione degli investimenti nel settore ha determinato, da un lato, una progressiva perdita di *know-how* e, dall'altro, una riduzione della capacità produttiva e della scala operativa delle imprese impegnate nello sviluppo tecnologico nucleare.

WWF Italia

Nel corso dell'audizione del 9 aprile 2024, la responsabile del settore clima ed energia di WWF Italia, Mariagrazia Midulla, ha rilevato che, allo stato attuale, gli impianti nucleari più avanzati giunti a uno stadio commerciale appartengono alla cosiddetta generazione III+, vale a dire reattori che introducono taluni miglioramenti nei sistemi passivi di sicurezza, senza tuttavia risolvere il problema della gestione e dello smaltimento delle scorie radioattive. In ambito europeo, sono stati richiamati a titolo esemplificativo i due impianti EPR (*European Pressurized Reactor*) di Flamanville, in Francia, e di Olkiluoto, in Finlandia, entrambi di grande taglia, con una potenza unitaria pari a 1.600 MW, che hanno incontrato rilevanti difficoltà tecniche nel corso della costruzione, con significative ripercussioni sui tempi di realizzazione e sui costi complessivi.

Nel caso di Olkiluoto, avviato nel 2005 e previsto in completamento nel 2009, i tempi di costruzione si sono dilatati di oltre tre volte, giungendo nel 2022 a una durata effettiva di 17 anni, fino al raggiungimento della piena operatività solo nel 2023, con un parallelo incremento dei costi. Analoga situazione è stata riscontrata per l'impianto di Flamanville, i cui lavori, iniziati nel 2007 con conclusione prevista nel 2012, non risultano ancora ultimati; il caricamento del combustibile nucleare è stato più volte rinviato, con l'ultima scadenza fissata al 2024, mentre il costo complessivo dell'impianto ha già raggiunto i 13,2 miliardi di euro, quasi quattro volte superiore alle stime iniziali formulate nel 2004.

È stato inoltre evidenziato che, anche prescindendo da tali incrementi di spesa, il costo livellato dell'energia (LCOE – *Levelized Cost of Energy*) del nucleare risulta superiore a quello delle fonti di energia rinnovabili. Secondo le analisi condotte dalla banca statunitense Lazard, l'LCOE del fotovoltaico, comprensivo dei sistemi di accumulo, si colloca tra 46 e 102 dollari per MWh, mentre quello del nucleare varia tra 141 e 221 dollari per MWh. Qualora si considerassero anche i costi connessi alla copertura dei rischi di incidente, le cifre risulterebbero pressoché incalcolabili, come dimostra il caso di Fukushima, i cui oneri complessivi sono stimati in circa 600 miliardi di euro.

È stato infine ricordato che l'elevato costo del nucleare non costituisce un fenomeno recente, ma un elemento strutturale di questa tecnologia. È stato citato, in proposito, il caso degli Stati Uniti, dove i costi finali di realizzazione degli impianti hanno storicamente superato le stime iniziali da due a quattro volte. È stato altresì precisato che le valutazioni economiche risultano spesso sottostimati, poiché non includono in misura adeguata gli oneri, anch'essi rilevanti, relativi al *decommissioning* e alla gestione delle scorie radioattive, la cui sorveglianza dovrà protrarsi per tempi estremamente lunghi, né quelli potenziali derivanti da incidenti nucleari.

Associazione italiana economisti dell'energia - AIEE

Nel corso dell'audizione dell'8 gennaio 2025, il presidente dell'Associazione italiana economisti dell'energia (AIEE), Matteo Di Castelnuovo, ha illustrato il quadro della

produzione elettrica europea, rilevando che le energie rinnovabili coprono attualmente il 47 per cento della produzione complessiva, mentre l'energia nucleare rappresenta il 24 per cento e il restante 29 per cento deriva da combustibili fossili. All'interno di tale quota nucleare, la parte preponderante della produzione è attribuibile ai reattori francesi.

Con riferimento al contesto nazionale, è stato evidenziato che in Italia la produzione da fonti di energia rinnovabile si attesta intorno al 40 per cento, mentre la principale criticità risiede nella forte dipendenza dal gas naturale, che costituisce oltre il 50 per cento del *mix* elettrico. È stato inoltre richiamato il caso della Germania, che nel 2024 ha raggiunto una quota di energie rinnovabili pari al 55 per cento, pur avendo da tempo abbandonato l'energia nucleare. Tale dato risulta particolarmente significativo, considerando che vent'anni prima la quota tedesca di energie rinnovabili si attestava al 6 per cento. È stato altresì rilevato che il prezzo medio dell'elettricità in Italia nel 2024 era pari a 108 euro per MWh, contro i 78 euro per MWh registrati in Germania, a conferma del divario competitivo tra i due Paesi.

Per quanto concerne il confronto tra le diverse tecnologie di generazione, è stato richiamato l'indicatore LCOE (*Levelized Cost of Electricity*), che esprime il costo medio di produzione nell'arco di vita dell'impianto. È stato specificato che, nel periodo compreso tra il 2009 e il 2024, il costo del fotovoltaico è diminuito da 359 a 60 dollari per MWh, quello dell'eolico da 135 a 50 dollari, mentre il costo dell'energia nucleare è aumentato da 123 a 182 dollari per MWh. Sulla base di tali dati, è stato osservato che l'energia nucleare risulta, ad oggi, la tecnologia di produzione più onerosa su larga scala.

È stato inoltre illustrato lo stato dell'arte degli impianti nucleari in Europa, dove sono stati completati due impianti e uno risulta tuttora in costruzione, oltre a quelli slovacchi, la cui edificazione ha avuto inizio già negli anni Ottanta. Il primo impianto, Olkiluoto in Finlandia, un reattore di III generazione, ha iniziato la costruzione nel 2005 con previsione di completamento nel 2009, ma è entrato in funzione soltanto nel marzo 2022, con un ritardo di quattordici anni e un costo finale di 11 miliardi di euro, pari a tre volte il *budget* originario. Analoghe difficoltà hanno interessato l'impianto di Flamanville, in Francia, realizzato con la medesima tecnologia e gestito da EDF (*Électricité de France*), che ha accumulato dodici anni di ritardo, raggiungendo un costo complessivo di 13 miliardi di euro, circa quattro volte superiore alla stima iniziale.

Infine, è stato citato l'impianto di Hinkley Point, nel Regno Unito, la cui costruzione, avviata tra il 2010 e il 2011, avrebbe dovuto concludersi nel 2017 con un costo di 18 miliardi di sterline, ma la messa in esercizio è ora prevista per il 2031, con un costo stimato di 35 miliardi di sterline che, tenuto conto dell'inflazione e del prezzo garantito per trentacinque anni, potrebbe raggiungere complessivamente i 46 miliardi.

In conclusione, è stato osservato che tale quadro rappresenta lo stato dell'arte degli impianti di nuova generazione costruiti o in corso di realizzazione in Europa, confermando come

l'energia nucleare costituisca, allo stato attuale, la tecnologia di produzione energetica più costosa.

Massimo Beccarello, professore di economia industriale ed economia dell'ambiente presso l'Università degli studi di Milano Bicocca

Nel corso dell'audizione dell'8 gennaio 2025 è stato osservato che, nell'ambito dell'analisi costi-benefici, occorre considerare che per tutte le tecnologie "rinnovabili o assimilate" il costo effettivo di sistema, valutato in una prospettiva intertemporale, dipende da ipotesi legate all'evoluzione dell'offerta di energia e allo sviluppo della domanda.

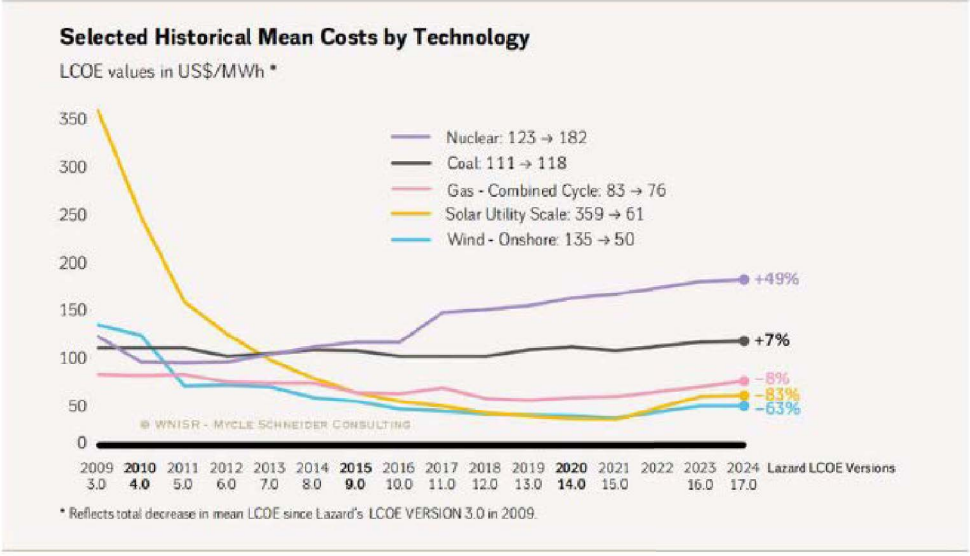
È stato rilevato che un semplice confronto tra il costo medio livellato dell'energia elettrica (LCOE - *Levelized Cost of Electricity*) prodotta da fonti di energia rinnovabile e quello relativo all'energia nucleare risulterebbe fuorviante e privo di significato, in quanto andrebbe invece valutato il potenziale di efficienza in relazione allo sviluppo prospettico, secondo un approccio analogo a quello adottato per la promozione delle fonti di energia rinnovabile.

È stato inoltre sottolineato che, in considerazione della dimensione manifatturiera del fabbisogno energetico nazionale, una fonte di base (*base-load*) decarbonizzata appare imprescindibile per il conseguimento degli obiettivi di neutralità climatica fissati al 2050.

Legambiente

Nel corso dell'audizione del 14 gennaio 2025, la responsabile energia di Legambiente, Katiuscia Eroe, ha evidenziato che, secondo le stime dell'Agenzia internazionale per l'energia (AIE – *International Energy Agency*), nel 2023 in Europa il costo di generazione dell'elettricità prodotta da nuove centrali di energia nucleare si attestava intorno a 170 dollari per megawattora, a fronte dei 50 dollari per megawattora del fotovoltaico – pari a un costo inferiore di 3,4 volte – e dei 60 dollari per megawattora dell'eolico terrestre, con un costo inferiore di 2,8 volte.

Tali dati risultano confermati, seppur con lievi variazioni al rialzo, dalle analisi della banca d'affari Lazard, che stima un costo di generazione dell'elettricità da energia nucleare pari a 183 dollari per megawattora, ovvero superiore del 14 per cento rispetto alla valutazione dell'Agenzia internazionale per l'energia, come riportato nella figura sottostante.



Source: Lazard Estimates, 2024

Notes: **LCOE**: Levelized Cost of Energy

È stato precisato che tale maggiore costo di generazione riflette una valutazione più realistica del capitale necessario alla costruzione delle centrali nucleari. A titolo esemplificativo, è stato richiamato il caso dei due reattori AP1000 di Vogtle, negli Stati Uniti, i cui costi hanno raggiunto i 36 miliardi di dollari per una potenza complessiva di 2.200 megawatt, pari a oltre 16.000 dollari per kilowatt. Per l'impianto EPR (*European Pressurized Reactor*) di Flamanville, con una potenza netta di 1.630 megawatt, i costi ammontano a 13,2 miliardi di euro, equivalenti a circa 8.000 euro per kilowatt, senza includere i rilevanti oneri finanziari che, secondo la Corte dei conti francese nel 2020, portano il costo complessivo a superare i 19 miliardi di euro.

È stato inoltre richiamato lo studio sul costo medio livellato dell'energia elettrica (LCOE – *Levelized Cost of Energy*) pubblicato nel giugno 2024, dal quale emerge che il costo di generazione dell'elettricità prodotta da impianti solari è diminuito, tra il 2009 e il 2024, dell'83 per cento, passando da 359 a 61 dollari per megawattora, mentre quello degli impianti eolici si è ridotto del 63 per cento, da 135 a 50 dollari per megawattora.

Al contrario, il costo di generazione dell'energia nucleare è aumentato del 49 per cento nello stesso periodo, in particolare dopo l'incidente del 2011 alla centrale di Fukushima, passando da 123 a 182 dollari per megawattora.

È stato infine sottolineato che le valutazioni dei costi di generazione dell'energia nucleare e delle energie rinnovabili – in particolare eolico e fotovoltaico – devono essere integrate con ulteriori considerazioni. Per l'energia nucleare, in particolare, vi sono costi di sistema spesso sottostimati o non inclusi nel calcolo secondo il metodo del costo medio livellato dell'energia

elettrica (LCOE – *Levelized Cost of Energy*), come quelli relativi al *decommissioning* e alla bonifica dei siti, nonché alla gestione dei rifiuti radioattivi di media e alta attività generati dal funzionamento e dallo smantellamento delle centrali.

È stato rilevato, infine, che tali costi risultano molto elevati e i tempi di completamento delle operazioni estremamente lunghi.

Conflavoro PMI

Nel corso dell'audizione del 30 gennaio 2025, il delegato nazionale allo sviluppo di impresa e all'internazionalizzazione di Conflavoro PMI, Enrico Fantini, ha osservato che, sotto il profilo economico, sebbene i costi iniziali di costruzione delle centrali di energia nucleare risultino elevati, i costi operativi si dimostrano competitivi nel lungo periodo grazie a una pluralità di fattori.

È stato infatti evidenziato che, pur richiedendo ingenti investimenti iniziali – connessi alla complessità tecnologica, alla stringente disciplina in materia di sicurezza e ai prolungati tempi di realizzazione – le centrali di nuova generazione presentano una vita operativa particolarmente estesa, che, con adeguati interventi di manutenzione e aggiornamento, può superare i sessant'anni, consentendo così un progressivo ammortamento dei costi di costruzione nel corso dei decenni.

È stato altresì sottolineato che le centrali di energia nucleare beneficiano di economie di scala, in quanto, una volta completata la fase di costruzione, i costi di gestione e manutenzione vengono distribuiti su un arco temporale molto ampio e su una produzione continua e stabile di energia, priva delle intermittenze proprie delle fonti di energia rinnovabile. Tale caratteristica assicura un costo medio livellato dell'energia elettrica (LCOE – *Levelized Cost of Energy*) competitivo rispetto ad altre tecnologie di generazione, soprattutto in considerazione dell'assenza di emissioni di anidride carbonica, che, nel quadro della transizione energetica e delle politiche di *carbon pricing*, costituisce un vantaggio economico rilevante.

È stato infine rilevato che il costo del combustibile nucleare risulta relativamente contenuto in rapporto all'elevata quantità di energia prodotta, contribuendo ulteriormente alla sostenibilità economica complessiva del ciclo produttivo nucleare.

Federico Maria Butera, professore emerito di fisica tecnica ambientale del Politecnico di Milano

Nel corso dell'audizione del 19 febbraio 2025, è stato rilevato che, negli scenari energetici italiani futuri orientati alla decarbonizzazione, gli impianti di energia nucleare dovranno operare a potenza variabile, anziché costante, al fine di compensare la variabilità delle fonti di energia rinnovabile. È stato precisato, tuttavia, che il costo dell'energia nucleare dipende in misura significativa dal fattore di capacità (*capacity factor*), ossia dalla percentuale di tempo in cui un impianto opera alla massima potenza: quanto più basso è tale valore, tanto più elevato

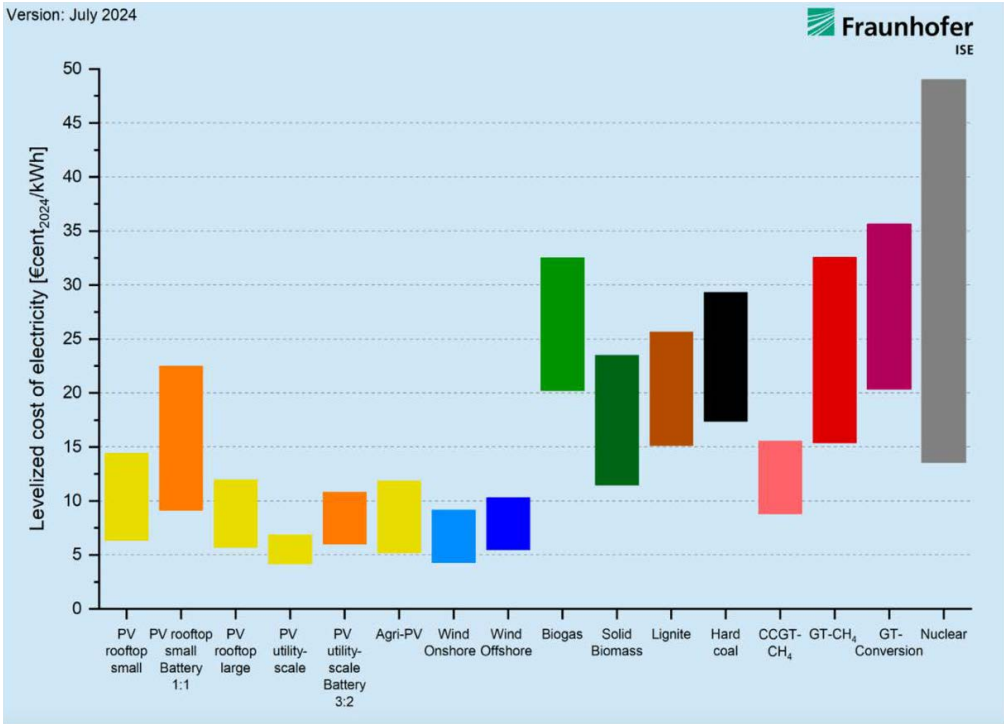
risulta il costo per chilowattora prodotto, espresso dal costo medio livellato dell'energia elettrica (LCOE – *Levelized Cost of Electricity*).

Secondo le stime dell'Agenzia internazionale per l'energia (IEA – *International Energy Agency*), nel 2023 il costo medio livellato dell'energia elettrica prodotta da impianti nucleari in Europa è pari a 170 dollari per megawattora, con una riduzione stimata a 120 dollari per megawattora entro il 2050, sulla base di un fattore di capacità del 70-75 per cento. Qualora l'energia nucleare fosse utilizzata per bilanciare la produzione da fonti di energia rinnovabile, il fattore di capacità risulterebbe inferiore, determinando un conseguente aumento dei costi di generazione.

È stato inoltre osservato che i costi di produzione dell'energia fotovoltaica e di quella eolica non sono direttamente confrontabili con quelli dell'energia nucleare o delle fonti fossili, poiché le fonti di energia rinnovabile non sono programmabili. I dati della stessa Agenzia internazionale per l'energia, che stimano un costo medio livellato dell'energia elettrica per il fotovoltaico pari a 50 dollari per megawattora nel 2023 e a 25 dollari per megawattora nel 2050, possono pertanto risultare fuorvianti se confrontati direttamente con l'energia nucleare, che è invece una fonte programmabile.

Un'analisi condotta dal *Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems* (ISE) ha stimato, per la Germania, un costo medio livellato dell'energia elettrica compreso tra 136 e 490 euro per megawattora nel 2024 per l'energia nucleare, tenendo conto della necessità di modulare la potenza per compensare la variabilità delle fonti di energia rinnovabile. A titolo comparativo, gli impianti fotovoltaici dotati di sistemi di accumulo elettrochimico - in grado di rendere programmabile la produzione solare - presentano costi stimati tra 60 e 120 euro per megawattora.

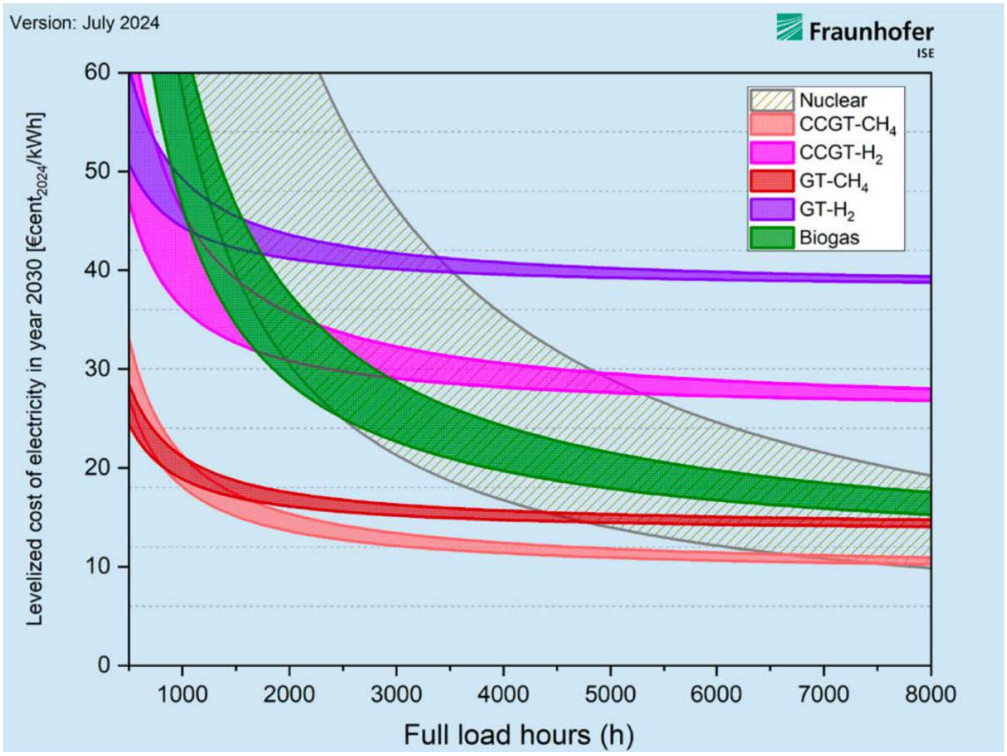
È stato inoltre rilevato che, in Italia, grazie a una più elevata radiazione solare, tali costi potrebbero risultare inferiori, rendendo il fotovoltaico con accumulo economicamente più conveniente rispetto all'energia nucleare.



LCOE delle tecnologie per le energie rinnovabili e delle centrali elettriche convenzionali in Germania nel 2024

È stato evidenziato che il richiamato rapporto del *Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems (ISE)* analizza il fattore di capacità anche per altre tecnologie oltre all'energia nucleare, mettendo in luce che, qualora tale parametro risulti particolarmente basso, il costo dell'energia prodotta da impianti nucleari può superare quello generato da turbine a gas alimentate a idrogeno verde. Ciò in quanto l'energia nucleare, caratterizzata da elevati costi di capitale e bassi costi operativi, risulta meno idonea a compensare la variabilità delle fonti di energia rinnovabile rispetto a tecnologie che presentano costi di capitale più contenuti e costi operativi più elevati, come appunto le turbine a idrogeno.

È stato inoltre specificato che, in uno scenario in cui le fonti di energia rinnovabile rappresentino una quota compresa tra il 78 e l'89 per cento e l'energia nucleare tra l'11 e il 22 per cento - come previsto dal Piano nazionale integrato per l'energia e il clima (PNIEC) 2024 e dal disegno di legge sul nucleare sostenibile - nei periodi di sovrapproduzione sarà necessario interrompere parzialmente il funzionamento di alcuni impianti, sia rinnovabili sia nucleari. Tale perdita di produzione comporterà inevitabilmente un incremento del costo complessivo di generazione dell'energia elettrica, indipendentemente dalla configurazione tecnologica adottata.



Costi di generazione dell'energia elettrica per diversi tipi di impianto in funzione del numero di ore di funzionamento a piena potenza. Il rapporto fra il numero di ore a piena potenza e 8760 (numero totale delle ore in un anno) corrisponde al *capacity factor*.

È stato rilevato che, considerando l'energia nucleare quale fonte destinata a compensare la variabilità delle fonti di energia rinnovabile, e sulla base dei dati elaborati dalle principali fonti internazionali, il costo per chilowattora prodotto risulta superiore rispetto a quello delle fonti di energia rinnovabile dotate di sistemi di accumulo. Ne consegue che l'energia nucleare non contribuirebbe, nell'attuale contesto tecnologico ed economico, alla riduzione del costo dell'energia per gli utenti finali.

È stato pertanto osservato che la strategia energetica più vantaggiosa per il Paese consista nel potenziare le fonti di energia rinnovabile e i sistemi di accumulo, tecnologie già oggi disponibili, mature e caratterizzate da un'elevata competitività economica rispetto all'energia nucleare.

Livio De Santoli, prorettore per la sostenibilità presso La Sapienza Università di Roma

Nel corso dell'audizione del 19 febbraio 2025, è stato rilevato che lo sviluppo dell'energia nucleare incontra alcune significative barriere, riconducibili principalmente ai costi e ai tempi di realizzazione.

In primis, è stato osservato che la costruzione di nuovi reattori richiede tempi pluridecennali e investimenti dell'ordine di diversi miliardi di euro. Per prevenire ritardi e contenere i costi, si è sottolineata la necessità di adottare strategie di standardizzazione dei progetti, di semplificare i procedimenti autorizzativi e di assicurare un quadro normativo stabile. È stato altresì evidenziato che i progetti nucleari sono frequentemente soggetti a incrementi di spesa e a dilatazioni dei tempi di realizzazione, dovuti a modifiche progettuali e alla non omogeneità delle normative di riferimento.

È stato inoltre sottolineato che la realizzazione di nuove centrali di energia nucleare implica investimenti iniziali molto elevati, che rappresentano una sfida finanziaria di rilievo e richiedono una chiara definizione del ruolo dell'intervento pubblico. L'individuazione di fonti di finanziamento privato per tali progetti, in particolare nei mercati dell'energia liberalizzati in cui i rischi economici gravano sui fornitori e sugli operatori, deve essere strettamente connessa a una coerente politica industriale di filiera.

Sergio Ulgiati, professore associato di chimica ambientale presso l'Università degli studi di Napoli Parthenope

Nel corso dell'audizione del 22 gennaio 2025 è stato evidenziato che il costo di un chilowattora prodotto attraverso la filiera dell'energia nucleare dipende da due fattori fondamentali: il costo del combustibile e il costo dell'impianto rapportato alla sua durata operativa. Il primo è influenzato da elementi quali la localizzazione e la profondità della miniera, la qualità del minerale e il fabbisogno di lavoro umano, con un intervallo di variazione compreso tra 40 e 130 dollari per chilogrammo. Il secondo, invece, dipende dalla tipologia e dalle dimensioni dell'impianto, nonché da variabili tecnologiche, oscillando tra i 5 e gli 11 miliardi di euro per gigawatt elettrico, includendo una serie di costi indiretti quali lo smantellamento a fine vita e la gestione dei depositi permanenti di scorie radioattive, attualmente non presenti in alcun Paese.

È stato inoltre specificato che, secondo le analisi condotte nel 2024 dal gruppo di ricerca finanziaria Lazard, l'energia nucleare non risulta competitiva né rispetto alle fonti di energia rinnovabile né, paradossalmente, rispetto alle fonti fossili, soprattutto se si considerano i cosiddetti costi nascosti, tra cui lo smantellamento degli impianti, il trattamento delle scorie radioattive e i danni alla salute e all'ambiente connessi all'attività estrattiva, nonché - per le fonti fossili - l'inquinamento derivante dalla combustione e le emissioni di gas climalteranti.

Questioni relative alla tutela dell'ambiente e della salute

Andrea Malizia, professore associato in misure e strumentazioni nucleari presso l'Università degli studi di Rom Tor Vergata

Nel corso dell'audizione del 3 aprile 2024, sono state preliminarmente fornite alcune definizioni di riferimento, tra cui quelle di "rischio", inteso come la combinazione tra la probabilità di accadimento di un evento e il suo impatto, di "vulnerabilità", ossia la capacità di un sistema o di un bene di risultare suscettibile a eventi dannosi, e di "esposizione", intesa come l'insieme delle persone, dei beni materiali e immateriali, della flora e della fauna potenzialmente coinvolti in un evento. È stato evidenziato che, per quanto riguarda gli impianti di energia nucleare, il rischio derivante dalla combinazione tra vulnerabilità, esposizione e probabilità di accadimento può ritenersi basso.

Tale valutazione si fonda sull'osservazione dei livelli di contaminazione radiologica nelle aree europee in cui sono presenti impianti nucleari, che non risultano superiori rispetto a quelle prive di tali installazioni. Le fonti dei dati citati comprendono la rete nazionale di sorveglianza sulla radioattività ambientale (RESORAD), la rete dei Vigili del fuoco, gestita dal Ministero dell'interno, con oltre 3.000 punti di rilevazione, e la mappa REMon (*Radioactivity Environmental Monitoring*), predisposta dal Centro comune di ricerca (*Joint Research Center* – JRC) dell'Unione europea, che comprende 5.500 punti di misura distribuiti sul territorio europeo. I livelli di dose misurata, espressi in energia per chilogrammo, risultano mediamente compresi tra 100 e 200 nanosievert all'ora, pari a 1-2 millisievert all'anno, coincidenti con il limite stabilito dal decreto legislativo 31 luglio 2020, n. 101. Tali valori sono sostanzialmente analoghi nelle aree con e senza impianti di energia nucleare.

È stato inoltre richiamato il portale "*Our World in Data*", che riporta il numero di decessi normalizzati per terawattora di energia prodotta, considerando sia le morti derivanti da contaminazione da particolato (PM5 e PM10) sia quelle connesse a incidenti. Da tali dati emerge che i livelli più elevati di mortalità sono associati agli impianti alimentati da combustibili fossili, mentre energia nucleare, eolica e fotovoltaica presentano un numero di decessi per terawattora comparabile e tra i più bassi a livello internazionale.

È stato infine sottolineato che gli impianti di energia nucleare di terza generazione attualmente in commercio sono dotati di sistemi di controllo passivi. Sotto il profilo progettuale, in considerazione delle caratteristiche tecniche di stoccaggio dei rifiuti previste per il deposito nazionale, il rischio di esposizione a forti contaminazioni radiologiche risulta limitato, in quanto la probabilità di accadimento è ritenuta attualmente bassa.

Istituto superiore di sanità (ISS)

Nel corso dell'audizione del 6 febbraio 2025, Francesco Bochicchio, direttore del Centro nazionale per la protezione dalle radiazioni e fisica computazionale dell'Istituto superiore di sanità (ISS), ha evidenziato che, allo stato attuale, il Piano nazionale di emergenza per la radioprotezione considera esclusivamente scenari di incidenti verificatisi in impianti situati al di fuori del territorio nazionale, senza prevedere, pertanto, ipotesi di emergenze che richiedano evacuazioni di popolazione in Italia. È stato quindi rilevato che, qualora si intendesse prendere in considerazione anche la possibilità di incidenti severi in impianti collocati sul territorio nazionale, il Piano di emergenza dovrebbe essere integralmente rivisto.

A titolo esemplificativo, applicando la metodologia elaborata dall'Agenzia internazionale per l'energia atomica (IAEA - *International Atomic Energy Agency*) e dalla Commissione internazionale per la protezione radiologica (ICRP – *International Commission on Radiological Protection*), è stato esaminato lo scenario di un incidente severo con rilascio del 10 per cento dei radionuclidi contenuti nel nocciolo del reattore, prendendo come riferimento un impianto recentemente costruito in Finlandia. È stato osservato che gli effetti di un tale evento si distinguerebbero tra quelli a breve e quelli a lungo termine.

Tra gli effetti a breve termine, è stata richiamata la cosiddetta "sindrome acuta da radiazioni", che si manifesta quando le dosi assorbite superano determinate soglie, nell'ordine di alcuni sievert. È stato ricordato che un'esposizione a circa 4 sievert provoca il decesso del 50 per cento delle persone colpite entro pochi giorni o settimane. Con riferimento invece agli effetti a lungo termine, sono stati riportati dati stimativi sulle possibili incidenze tumorali in assenza di evacuazione: considerando i principali radionuclidi (iodio, stronzio e cesio), i tumori alla tiroide derivanti da iodio inalato potrebbero colpire il 20 per cento dei bambini e il 13 per cento degli adulti esposti; i tumori ossei da stronzio inalato potrebbero insorgere nel 12 per cento dei bambini e nel 29 per cento degli adulti esposti. Altri tumori da irraggiamento esterno o inalazione di cesio, stronzio e iodio interesserebbero il 18 per cento dei bambini e il 19 per cento degli adulti esposti, configurando un impatto sanitario complessivo rilevante.

È stato sottolineato che la misura più efficace per ridurre tali effetti consisterebbe nel limitare l'esposizione attraverso l'evacuazione rapida, nell'arco di poche ore, delle popolazioni residenti entro l'area interessata. Tale esigenza richiama la complessità della localizzazione degli impianti, in particolare se il numero di installazioni da realizzare fosse elevato. Per quanto riguarda gli effetti acuti dovuti a ritardi o incomplete evacuazioni, è stato osservato che il sistema sanitario nazionale non sarebbe in grado di gestire un numero elevato di casi, e che anche per poche decine di persone sarebbero necessarie dotazioni, protocolli e una formazione continua del personale, con costi e tempi di implementazione significativi.

È stato inoltre precisato che, per gli effetti a lungo termine, non esistono misure preventive in grado di evitare l'insorgenza di tumori dopo l'esposizione; l'unico intervento utile consiste nell'assunzione tempestiva di pastiglie di ioduro di potassio, che riducono la ritenzione di

iodio radioattivo, offrendo protezione unicamente contro i tumori tiroidei, i quali risultano anche i più trattabili.

Con riferimento al trasporto del combustibile nucleare, è stato ricordato che ogni impianto necessita della sostituzione di circa due terzi del combustibile ogni anno, comportando un numero rilevante di trasporti e, conseguentemente, un rischio di incidenti o di atti dolosi superiore rispetto a quello legato al funzionamento degli impianti stessi.

Infine, per quanto concerne lo smaltimento dei rifiuti radioattivi, è stato evidenziato che la quantità di radiazioni emesse e la durata dei radionuclidi provenienti da impianti di energia nucleare sono di gran lunga superiori a quelle dei rifiuti di origine medica o industriale, con una persistenza stimata di migliaia di anni. È stato inoltre rilevato che, per quanto riguarda i piccoli reattori modulari (SMR - *Small Modular Reactors*), i volumi dei rifiuti sarebbero maggiori rispetto a quelli delle generazioni attuali di reattori e che il materiale risulterebbe chimicamente più reattivo, con potenziali criticità aggiuntive per la gestione nei depositi geologici.

Ispettorato nazionale per la sicurezza e la radioprotezione - ISIN

Nel corso dell'audizione del 4 febbraio 2025, Francesco Campanella, direttore dell'Ispettorato nazionale per la sicurezza nucleare e la radioprotezione (ISIN), ha illustrato come, in Italia, la disciplina in materia di sicurezza nucleare e di radioprotezione individui proprio nell'ISIN il fulcro del sistema regolatorio nazionale. L'Ispettorato, autorità di regolamentazione indipendente istituita con il decreto legislativo 4 marzo 2014, n. 45, opera pienamente dal 2018, in attuazione delle direttive 2009/71/Euratom e 2011/70/Euratom.

L'ISIN esercita funzioni di monitoraggio, autorizzazione, controllo e vigilanza, nonché di elaborazione di guide tecniche e di valutazione tecnico-scientifica, rappresentando lo Stato italiano in sede internazionale per tutte le attività rientranti nelle proprie competenze. Svolge, inoltre, un ruolo di informazione e comunicazione verso la cittadinanza in materia di sicurezza nucleare e radioprotezione, garantendo la trasparenza e l'accessibilità dei dati rilevanti.

È stato altresì sottolineato che, pur mantenendo il proprio carattere di indipendenza, un'autorità regolatoria moderna in ambito nucleare deve essere in grado di promuovere un dialogo aperto e costruttivo con il sistema degli *stakeholder* e con i portatori di interesse, al fine di consentire non solo l'individuazione tempestiva delle criticità, ma anche l'elaborazione precoce delle soluzioni più idonee a superarle.

Tale approccio collaborativo è stato ritenuto indispensabile per garantire, in modo sinergico, la sicurezza nucleare del Paese e, al contempo, la competitività del suo sistema industriale e tecnologico.

Fabio Giannetti, professore associato di Impianti nucleari presso l'Università degli studi di Roma La Sapienza

Nel corso dell'audizione del 22 maggio 2024, è stato evidenziato che una delle principali problematiche frequentemente associate all'energia nucleare riguarda la sicurezza, la quale, tuttavia, non è demandata ai singoli Stati, ma rientra nella competenza dell'Agenzia internazionale per l'energia atomica (AIEA – *International Atomic Energy Agency*), riconosciuta da tutti i trattati internazionali quale ente preposto al controllo e alla definizione di regole comuni per la sicurezza nucleare a livello globale.

È stato illustrato come l'AIEA assicuri un sistema di sicurezza nucleare articolato su molteplici obiettivi, tra i quali assumono rilievo la cosiddetta "difesa in profondità", che prevede la predisposizione di una pluralità di barriere di protezione tra la sorgente di radioattività - rappresentata dal combustibile nucleare - e la popolazione, nonché l'elaborazione di analisi di sicurezza estremamente dettagliate, basate sull'impiego di *software* di calcolo specificamente sviluppati e validati attraverso un ampio numero di esperimenti. A tali misure si aggiunge la pianificazione della risposta alle emergenze, volta a garantire che, anche in presenza di eventi incidentali gravi, siano comunque assicurate adeguate protezioni per la popolazione e per l'ambiente.

In tale contesto, è stata richiamata la cosiddetta "curva di Farmer", che definisce la zona di rischio tollerabile di una tecnologia, intesa come l'area caratterizzata da una bassa probabilità di accadimento e da conseguenze limitate.

La sicurezza nucleare si fonda, pertanto, sull'obiettivo di ridurre al minimo sia la probabilità che un incidente si verifichi, sia la gravità delle sue conseguenze, mediante l'adozione congiunta di misure preventive, protettive e mitigative.

È stato inoltre precisato che, sotto il profilo della sicurezza contro eventi incidentali severi, l'energia nucleare presenta dati migliori rispetto ad altre fonti, come l'energia idroelettrica, che pur essendo ampiamente diffusa e socialmente accettata, è associata a un numero di incidenti più elevato.

Infine, è stato osservato che l'eventuale sviluppo del nucleare in Italia dovrebbe collocarsi in un quadro di cooperazione internazionale, seguendo il percorso delineato dall'AIEA per la realizzazione di diciannove infrastrutture fondamentali articolate in tre fasi. Tra le prime azioni necessarie, è stata indicata la costituzione della *Nuclear Energy Programme Implementing Organization* (NEPIO), organismo individuato dall'AIEA quale soggetto responsabile dell'attuazione del programma nucleare nazionale, la cui prima fase prevede lo svolgimento di uno studio di prefattibilità finalizzato a giustificare le ragioni della scelta di adottare la tecnologia nucleare.

Angelo Tartaglia, già professore di fisica del Politecnico di Torino

Nel corso dell'audizione del 19 marzo 2024, è stato rilevato che tra le principali criticità connesse all'energia nucleare figurano, in primo luogo, la complessità della rete di trasporto necessaria per il trasferimento del combustibile nucleare, sia fresco che esausto. Tale sistema

logistico, caratterizzato da elevati standard di sicurezza e da mezzi speciali, diviene progressivamente più articolato e delicato con l'aumentare del numero e della distribuzione territoriale degli impianti.

Un'ulteriore criticità riguarda la gestione e la sicurezza delle scorie radioattive. I prodotti della fissione nucleare comprendono decine di isotopi diversi, tutti radioattivi e con tempi di dimezzamento (emivita) differenti. Le scorie non si limitano, tuttavia, ai soli prodotti della fissione. Attraverso il condizionamento in laboratorio è possibile ridurre, in parte, i tempi di decadimento, ma la presenza di numerosi radioisotopi con diverse emivite e sezioni d'urto limita l'efficacia di tali processi: anche in ipotesi ottimistiche, la pericolosità delle scorie potrebbe essere ridotta da migliaia di anni a qualche secolo.

È stato inoltre osservato che, qualora si facesse ricorso in misura significativa alla fonte nucleare, la durata stimata delle riserve di uranio naturale sfruttabili in modo economicamente sostenibile sarebbe paragonabile a quella delle risorse petrolifere, ossia di alcuni decenni.

In conclusione, è stato segnalato che i dati disponibili evidenziano come una superficie di pannelli fotovoltaici con un rendimento del 20 per cento - soglia destinata ad aumentare fino al 30 per cento - pari al 2 per cento del territorio nazionale, sarebbe teoricamente sufficiente a coprire l'intero fabbisogno energetico italiano. Gli impianti alimentati da fonti di energia rinnovabile presentano, inoltre, tempi di realizzazione molto più brevi e costi unitari di costruzione e gestione nettamente inferiori rispetto alle centrali nucleari, senza lasciare in eredità alle generazioni future scorie pericolose a lungo termine.

È stato infine ricordato che, indipendentemente dalla fonte utilizzata, inclusa quella rinnovabile, resta comunque necessario stabilizzare i flussi energetici per garantire la continuità dell'approvvigionamento.

WWF Italia

Nel documento depositato a margine dell'audizione del 9 aprile 2024, Mariagrazia Midulla, responsabile del settore clima ed energia del WWF Italia, ha evidenziato che, secondo una recente ricerca condotta dalle Università di Stanford e della British Columbia, i diversi progetti di piccoli reattori modulari (*Small Modular Reactors* - SMR), siano essi raffreddati ad acqua, a sali fusi o a sodio, comporterebbero un incremento del volume delle scorie nucleari da gestire e smaltire, con un aumento stimato compreso tra due e trenta volte rispetto agli impianti convenzionali.

Fare Ambiente – Movimento ecologista europeo

Nel corso dell'audizione dell'8 gennaio 2025, il presidente di Fare Ambiente – Movimento ecologista europeo, Vincenzo Pepe, ha sottolineato che le tecnologie di nuova generazione hanno profondamente innovato la gestione delle scorie nucleari, consentendo una significativa riduzione dei rischi connessi. È stato evidenziato, in particolare, come gli impianti

nucleari di concezione moderna non abbiano mai registrato episodi di contaminazione ambientale dovuti alle scorie radioattive, mentre l'inquinamento derivante dall'utilizzo di fonti fossili continua a provocare, ogni anno, oltre otto milioni di morti premature a livello globale.

Tale drammatica discrepanza dimostra come l'energia nucleare costituisca, nel quadro della transizione energetica, un'opzione incomparabilmente più sicura per il futuro, pur nella consapevolezza che il rischio zero non esiste e che ogni attività umana comporta inevitabilmente un margine di rischio da gestire con responsabilità e consapevolezza.

Istituto nazionale di fisica nucleare - INFN

Nel corso dell'audizione del 30 gennaio 2025, il presidente dell'Istituto nazionale di fisica nucleare (INFN), Antonio Zoccoli, ha evidenziato che, per la gestione delle scorie radioattive prodotte dalle centrali nucleari, occorre delineare una filiera completa che consenta, una volta estratte dal reattore, di convogliare tali materiali verso un deposito di stoccaggio. Gli aspetti maggiormente critici di tale processo riguardano il trattamento iniziale delle scorie, volto a separare e, ove possibile, trattare i diversi isotopi generati all'interno del reattore, e la conseguente individuazione dei siti di stoccaggio. È stato osservato, al riguardo, come i due elementi siano correlati, poiché una maggiore capacità di trattamento delle scorie può ridurre in modo significativo la quantità di materiale radioattivo da immagazzinare a lungo termine.

Da un punto di vista operativo, pur rimanendo imprescindibile l'individuazione di un sito idoneo per lo stoccaggio, è stato ritenuto auspicabile definire una filiera nazionale dedicata al trattamento delle scorie, promuovendo lo sviluppo di tecniche innovative e diversificate. È stato rilevato, inoltre, che l'evoluzione delle metodiche di trattamento ha registrato progressi più contenuti rispetto a quelli realizzati sui reattori, ma che oggi esistono diverse soluzioni in grado di garantire una significativa riduzione dei rifiuti radioattivi.

Per quanto concerne infine il trasporto dei materiali radioattivi, è stato precisato che la normativa vigente prevede già un sistema regolatorio particolarmente rigoroso e che, dal punto di vista tecnico, sussistono tutte le condizioni per assicurare operazioni di trasporto sicure ed efficienti.

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

Nel corso dell'audizione del 30 gennaio 2025, il direttore del dipartimento nucleare dell'Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (ENEA), Alessandro Dodaro, ha sottolineato che, per quanto concerne i rifiuti radioattivi a bassa e media attività, l'ENEA svolge il ruolo di gestore del servizio integrato. In qualità di proprietaria delle installazioni affidate alla società partecipata Nucleco per la gestione dei rifiuti conferiti, l'Agenzia ha confermato l'idoneità delle strutture attualmente operative, evidenziando tuttavia come l'assenza del Deposito nazionale stia progressivamente riducendo

gli spazi disponibili e compromettendo la continuità del servizio pubblico di raccolta dei rifiuti radioattivi.

È stato pertanto evidenziato che risulta ormai imprescindibile accelerare la realizzazione del Deposito nazionale e individuare le risorse economiche necessarie per la costruzione di ulteriori depositi temporanei destinati ad accogliere i rifiuti del Servizio Integrato.

Con riferimento ai rifiuti ad alta attività, è stato specificato che l'Italia sta perseguendo una duplice strategia: da un lato, l'ENEA partecipa, su indicazione del Ministero dell'ambiente e della sicurezza energetica (MASE), all'*Association for Multinational Radioactive Waste Solutions* (ERDO), che riunisce i Paesi impegnati nello studio di un deposito geologico comune, in considerazione dei volumi troppo ridotti di rifiuti ad alta attività per giustificare un'infrastruttura autonoma in ciascun Paese; dall'altro lato, sono in corso attività di ricerca e sviluppo finalizzate alla realizzazione di un deposito geologico sul territorio nazionale.

È stato infine rilevato che, dal punto di vista tecnico, l'ENEA, tramite la propria partecipata Nucleco, è in grado di assicurare il recupero, il trattamento e la gestione in sicurezza dei rifiuti presso i propri depositi, in attesa della realizzazione del Deposito nazionale. Tuttavia, l'Agenzia non dispone attualmente delle risorse economiche necessarie per garantire la prosecuzione di tali attività, poiché il decreto legislativo n. 101 del 2020 non prevede specifici finanziamenti a tal fine.

Confcommercio

Nel corso dell'audizione del 30 gennaio 2025, il responsabile del settore ambiente, *utilities* e sicurezza di Confcommercio, Pierpaolo Masciocchi, ha evidenziato che il tema della sicurezza rappresenta un fattore determinante per l'accettazione pubblica dei programmi di sviluppo dell'energia nucleare, in particolare con riferimento alle modalità di smaltimento del combustibile esaurito e degli altri rifiuti radioattivi.

È stato osservato, al riguardo, che si rende necessario adottare interventi mirati e tempestivi volti a garantire una gestione sicura e una corretta manutenzione dei materiali radioattivi. In tale prospettiva, è stata sottolineata l'importanza di una strategia integrata che comprenda, tra le altre misure, l'accelerazione delle procedure di selezione del sito idoneo alla realizzazione del Deposito nazionale dei rifiuti radioattivi e la pianificazione, sul modello di altre esperienze europee, di depositi geologici profondi destinati allo stoccaggio permanente dei rifiuti.

È stato inoltre rilevato che alcuni reattori di ultima generazione sono concepiti per ottimizzare l'utilizzo del combustibile nucleare, consentendo di estrarre una percentuale di energia superiore rispetto ai reattori tradizionali. Tali tecnologie, in prospettiva, potrebbero impiegare come combustibile le scorie prodotte dalle vecchie centrali, riducendo in modo significativo la necessità di ricorrere a depositi geologici di stoccaggio e favorendo la chiusura del ciclo del combustibile in una logica di economia circolare.

Gilberto Pichetto Fratin, Ministro dell'ambiente e della sicurezza energetica

Nel corso dell'audizione del 9 ottobre 2024, il Ministro dell'ambiente e della sicurezza energetica ha chiarito che non sussiste alcuna connessione tra la procedura di localizzazione del Deposito nazionale dei rifiuti radioattivi e quella relativa all'individuazione dei siti destinati ai futuri impianti modulari di produzione, siano essi piccoli reattori modulari (SMR - *Small Modular Reactors*), reattori modulari avanzati (AMR - *Advanced Modular Reactors*) o microreattori.

È stato precisato che, a legislazione vigente, il Deposito nazionale costituisce un'infrastruttura di rilevanza nazionale destinata allo smaltimento definitivo, in condizioni di sicurezza, dei rifiuti radioattivi a bassa e bassissima attività, ricordando che sul territorio italiano sono attualmente presenti ventidue siti e cento depositi. È stato inoltre sottolineato che lo smaltimento definitivo dei rifiuti, anche di natura radioattiva, rappresenta un'attività analoga a quella che viene svolta per i rifiuti ordinari, nella consapevolezza che ogni attività umana produce scarti che devono essere gestiti correttamente.

È stato osservato, altresì, che i rifiuti radioattivi a bassa e bassissima attività non derivano unicamente dallo smantellamento dei vecchi impianti nucleari - nei quali la frazione ad alta attività viene trattata in modo distinto - ma anche da attività di diagnostica e terapia medica, che da decenni generano e continueranno a generare rifiuti radioattivi. Sulla base delle analisi e delle proiezioni relative alla produzione di tali rifiuti di origine medicale nei prossimi quarant'anni, sono state calcolate le volumetrie necessarie per l'eventuale realizzazione del Deposito nazionale.

Diversa è la questione dello stoccaggio dei rifiuti radioattivi ad alta attività, che, oltre a quelli attualmente custoditi all'estero - in Francia e nel Regno Unito - sono presenti in Italia in quantità ridotte presso alcuni depositi, localizzati principalmente a Saluggia, Rotondella e Casaccia. Sul punto, è stato rilevato come permanga una diffusa disinformazione nell'opinione pubblica, in quanto spesso si tende a confondere i rifiuti ad alta attività con quelli a bassa intensità.

Nel progetto preliminare del Deposito nazionale è prevista anche un'area di stoccaggio temporaneo dei rifiuti ad alta attività, poiché una parte di essi è già presente sul territorio nazionale. È stato ricordato, in proposito, che per «stoccaggio» si intende una conservazione temporanea, mentre per «smaltimento» si fa riferimento a una destinazione definitiva.

Alla luce delle nuove prospettive legate al possibile riutilizzo dei rifiuti radioattivi ad alta attività come combustibile per i reattori di nuova generazione, e considerati i tempi necessari per la localizzazione, la costruzione e l'entrata in esercizio del Deposito nazionale, è stato infine evidenziato come il Ministero stia valutando l'ammodernamento dei depositi già esistenti, ubicati in aree idonee alla gestione in sicurezza, come l'impianto Avogadro di Saluggia, unico in Italia dotato di piscina con annesso barile di stoccaggio. Il rientro in Italia dei rifiuti ad alta attività attualmente conservati all'estero avverrà, pertanto, in coerenza con le strategie indicate.

Campoverde S.r.l.

Nel corso dell'audizione del 30 gennaio 2025, Federico Gianni, amministratore delegato di Campoverde S.r.l., ha sottolineato che la radioattività costituisce un fenomeno naturale, la cui presenza è parte integrante dell'ambiente terrestre e che l'uomo ha imparato a utilizzare per finalità scientifiche, industriali e mediche. È stato ricordato che elementi radioattivi sono presenti in natura, sia per effetto delle radiazioni provenienti dal cosmo e delle loro interazioni con l'atmosfera, sia per la presenza, fin dalle origini della Terra, di isotopi naturalmente radioattivi. A tali fonti si aggiungono quelle di origine antropica, generate da attività umane quali la produzione di energia da fonte nucleare, l'impiego di apparecchiature medicali per la diagnosi e la terapia, l'utilizzo di strumenti industriali e lo svolgimento di attività di ricerca scientifica.

È stato evidenziato, inoltre, che in Italia permane un'eredità derivante dall'impiego, ormai cessato, delle centrali nucleari per la produzione di energia elettrica, che comporta la necessità di monitorare e gestire elevate quantità di materiali contenenti concentrazioni di radioattività, in gran parte di origine naturale, derivanti da processi industriali. Come per ogni attività umana, anche l'uso della radioattività comporta la produzione di rifiuti, i cosiddetti rifiuti radioattivi, la cui corretta gestione rappresenta una condizione imprescindibile per garantire la sostenibilità ambientale.

In tale ambito, è stato ricordato che la gestione sostenibile dei rifiuti radioattivi si conforma alle indicazioni contenute nella Guida tecnica n. 26 dell'ENEA (2000), che prevede la riduzione della quantità e dei volumi dei rifiuti prodotti. Lo Stato ha affidato alla Società gestione impianti nucleari (Sogin S.p.A.), e alla sua partecipata Nucleco S.p.A., la responsabilità della gestione complessiva dei rifiuti radioattivi, autorizzando operatori specializzati, come la stessa Campoverde S.r.l., a concorrere a tale attività, con l'obiettivo di smaltire in modo sicuro tutti i rifiuti radioattivi italiani mediante il loro conferimento al futuro Deposito Nazionale.

È stato infine precisato che, allo stato attuale, i rifiuti radioattivi prodotti sul territorio nazionale risultano stoccati in diversi depositi temporanei – come emerge dalla figura sottostante - gestiti in condizioni di massima sicurezza e sottoposti a rigorosi controlli.

È stato osservato che la mappatura dei depositi temporanei, unitamente ai dati relativi ai quantitativi di rifiuti radioattivi attualmente esistenti e a quelli di futura produzione, evidenzia con chiarezza la necessità di realizzare il Deposito nazionale. I rifiuti radioattivi di origine non energetica, già stoccati nei depositi temporanei, così come quelli che saranno generati in futuro da attività sanitarie e industriali, sono infatti in attesa di una sistemazione definitiva presso la suddetta infrastruttura.

Nel frattempo, è stato sottolineato come la progressiva saturazione degli spazi disponibili nei depositi temporanei imponga una particolare attenzione al mantenimento delle condizioni di sicurezza dei materiali ivi custoditi.

È stato inoltre rilevato che una delle soluzioni tecnologiche oggi più idonee, considerate le specifiche caratteristiche dei rifiuti radioattivi prodotti in Italia, consista nel trattamento termico della frazione inceneribile. Secondo le stime, una riduzione efficace dei volumi tramite tale trattamento potrebbe consentire di diminuire fino al 40-50 per cento il quantitativo di rifiuti radioattivi da gestire, sia nell'immediato sia nel futuro Deposito nazionale.

Tale tecnologia, pur non essendo attualmente applicabile nel territorio italiano a causa del vigente impianto normativo, risulta ampiamente collaudata da anni in altri Paesi.

È stato infine precisato che, per i cosiddetti rifiuti "istituzionali" - ovvero quelli derivanti da attività di *decommissioning* e bonifica - riveste carattere fondamentale un'accurata caratterizzazione dei materiali, al fine di procedere in condizioni di piena sicurezza alla separazione controllata delle componenti radioattive da quelle prive di radioattività.

Tale operazione viene effettuata direttamente nei siti di origine o, in alternativa, presso specifici impianti di trattamento pre-smaltimento.

WWF Italia

Nel corso dell'audizione del 9 aprile 2024, Mariagrazia Midulla, responsabile del settore clima ed energia del WWF Italia, ha rilevato che l'energia nucleare non rappresenta una soluzione significativa per il contrasto ai cambiamenti climatici, poiché un'analisi completa deve necessariamente considerare l'intera filiera produttiva attraverso l'approccio dell'analisi del ciclo di vita (LCA - *Life Cycle Assessment*).

Tale approccio mostra come le emissioni di gas a effetto serra associate al nucleare non siano nulle, in ragione dell'elevato impiego di energia da fonti fossili richiesto in tutte le fasi del processo: dall'estrazione del minerale di uranio al suo arricchimento, dalla costruzione delle centrali - che richiede grandi quantità di cemento e acciaio di alta qualità - fino alle fasi di *decommissioning* e alla lunga e complessa gestione delle scorie radioattive, per la quale non esiste ancora una soluzione definitiva.

È stato ricordato che Jean Willem Storm van Leeuwen e Philip Smith, in uno studio del 2007, stimavano le emissioni di gas serra derivanti dall'intero ciclo di vita del nucleare tra 112 e 165 grammi di anidride carbonica per chilowattora, valori confermati anche da successive analisi. Tuttavia, è stato evidenziato come tali valori siano destinati ad aumentare, in considerazione della tendenza all'utilizzo di giacimenti di uranio con concentrazioni sempre minori, i quali richiedono una quantità maggiore di energia per i processi estrattivi e di raffinazione.

Con riferimento al *decommissioning*, è stato precisato che non esistono stime univoche dei costi, in quanto essi variano sensibilmente in base a molteplici fattori, quali la tecnologia adottata, la dimensione dei reattori e il contesto nazionale di riferimento. A titolo esemplificativo, è stato richiamato il caso del Regno Unito, dove, rivedendo al rialzo le precedenti valutazioni, è stato stimato un fabbisogno di almeno 23,5 miliardi di sterline per lo smantellamento delle otto centrali nucleari di seconda generazione.

Associazione italiana di radioprotezione - AIRP

Nel corso dell'audizione del 22 gennaio 2025, Francesco Mancini, presidente dell'Associazione italiana di radioprotezione (AIRP), ha sottolineato che l'avvio di un programma di energia nucleare comporta la necessità di sottoporre i relativi progetti a rigorose restrizioni ambientali e di effettuare una valutazione di impatto ambientale (VIA), volta a supportare il processo decisionale e di pianificazione. È stato evidenziato che, per una centrale nucleare, la valutazione di impatto radiologico costituisce soltanto una parte della valutazione complessiva, poiché è necessario includere anche il controllo degli aspetti non radiologici relativi alla salute, alla sicurezza e all'ambiente, che non sempre trovano un trattamento specifico negli standard di sicurezza dell'Agenzia internazionale per l'energia atomica (AIEA – *International Atomic Energy Agency*).

È stato illustrato come la protezione dell'ambiente debba essere garantita lungo un percorso articolato in tre fasi.

Nella fase 1, corrispondente alle valutazioni preliminari antecedenti alla decisione sull'avvio di un programma di energia nucleare, è essenziale analizzare le implicazioni ambientali complessive, valutando gli effetti positivi e negativi e verificando l'adeguatezza del quadro normativo rispetto agli obblighi internazionali assunti dal Paese. Al termine di tale fase, dovrebbero essere proposte eventuali modifiche legislative, chiarite le responsabilità istituzionali e pianificate ulteriori consultazioni pubbliche.

La fase 2, relativa ai lavori preparatori per la stipula dei contratti e la costruzione della centrale, prevede l'attuazione delle raccomandazioni emerse nella fase precedente e il miglioramento del quadro legislativo e normativo in materia ambientale. In questo stadio, la valutazione di impatto ambientale per il singolo progetto deve essere completata attraverso un coordinamento tra l'autorità ambientale e quella nucleare. Il soggetto proprietario o operatore dell'impianto è tenuto a raccogliere dati ambientali di base, considerando i potenziali rilasci e il trasporto degli effluenti, le esposizioni radiologiche, la demografia, nonché l'uso del suolo e delle risorse idriche.

Nella fase 3, riguardante l'implementazione della prima centrale nucleare, il proprietario o operatore deve completare i procedimenti di licenza e approvazione previsti dalle autorità competenti, assicurando l'inclusione di eventuali prescrizioni ambientali emerse nelle fasi precedenti. È altresì tenuto a istituire un programma di monitoraggio ambientale, sia radiologico che non radiologico, volto a verificare che gli impatti restino entro i limiti accettabili, adottando misure correttive qualora tali limiti vengano superati.

In conclusione, devono essere definiti limiti ambientali e radiologici, inclusi quelli relativi agli scarichi radioattivi, e istituito un sistema di supervisione finalizzato a garantirne il pieno rispetto.

Sergio Ulgiati, professore associato di chimica ambientale presso l'Università degli studi di Napoli Parthenope

Nel corso dell'audizione del 22 gennaio 2025, è stato rilevato che il funzionamento di un impianto nucleare genera una duplice tipologia di impatti: quelli locali, legati alla presenza e alla gestione dell'impianto stesso, e quelli lontani, connessi alle fasi preliminari del ciclo del combustibile. Tra gli impatti lontani rientra in particolare la fase mineraria, che per l'Italia costituirebbe un passaggio obbligato, in quanto il Paese non dispone di giacimenti di uranio e sarebbe pertanto costretto ad approvvigionarsi sul mercato internazionale.

È stato osservato che le principali aree di estrazione dell'uranio si trovano in Paesi quali Australia, Kazakhstan, Canada e Namibia, nonché in altre nazioni esportatrici della medesima risorsa. Tale condizione comporterebbe, oltre a costi potenzialmente elevati e imprevedibili per effetto della concorrenza internazionale, un ulteriore incremento della dipendenza

energetica dell'Italia dalle importazioni, analogo a quello già esistente per il gas naturale e il petrolio.

È stato infine sottolineato che nei Paesi produttori, in particolare in Africa e in Asia, l'attività estrattiva dell'uranio determina spesso gravi conseguenze ambientali e sociali, contribuendo alla contaminazione delle acque potabili e dei suoli agricoli e, in alcuni casi, implicando forme di sfruttamento del lavoro minorile.

Sogin S.p.A.

Nel corso dell'audizione del 4 febbraio 2025, Gian Luca Artizzu, amministratore delegato di Sogin S.p.A., ha evidenziato che i processi di *decommissioning* nucleare richiedono il mantenimento, per un periodo di tempo prolungato, delle medesime competenze tecniche e operative impiegate nella fase di esercizio degli impianti di produzione di energia nucleare, pur con finalità e orientamenti differenti. È stato precisato che, durante le fasi di *decommissioning*, continuano a essere esercitate competenze di ingegneria, *procurement* e costruzione, oltre a quelle relative alla manutenzione, poiché gli impianti nucleari, nelle prime fasi di smantellamento, non si arrestano completamente come quelli convenzionali, ma restano operativi dal punto di vista tecnico, pur cessando la produzione di energia elettrica.

Per procedere allo smantellamento di un impianto nucleare, è necessario realizzare *facilities* dedicate al processo stesso, impianti definibili come "di grado nucleare" (*nuclear grade*), nonché depositi temporanei dotati di livelli di sicurezza inferiori rispetto al futuro deposito unico nazionale, ma costruiti secondo criteri tecnici analoghi, e apparecchiature progettate in modo specifico per garantire la sicurezza anche nello svolgimento di singole operazioni. È pertanto indispensabile continuare a esercitare le attività e le competenze di manutenzione proprie delle centrali nucleari.

Le attività di *decommissioning* affidate a Sogin interessano impianti originariamente progettati per un funzionamento indefinito e non per essere smantellati. Ciò impone all'azienda un'attività che si colloca a metà tra quella industriale e quella di ricerca operativa sul campo, volta all'individuazione di soluzioni tecniche per problematiche non sempre prevedibili nella fase di programmazione dei lavori. Tale condizione, lungi dal costituire un limite, rappresenta un elemento di crescita e di valorizzazione delle competenze ingegneristiche, consentendo al personale impegnato nei siti di affinare la propria capacità di *problem-solving* e di trarre insegnamento dalla gestione di situazioni tecniche complesse.

DESPE S.p.A.

Nel corso dell'audizione del 6 febbraio 2025, Stefano Panseri, amministratore delegato di DESPE S.p.A., ha evidenziato che la fase di demolizione riveste oggi un ruolo fondamentale, poiché in Italia è necessario procedere alla rimozione in sicurezza delle vecchie installazioni nucleari - in particolare nei siti di Caorso, Trino Vercellese, Latina e Garigliano - al fine di

consentire il riutilizzo di tali *brownfield* sia per l'installazione di impianti nucleari di nuova generazione, sia per l'insediamento di impianti alternativi di produzione o di accumulo di energia elettrica.

È stato osservato che il *decommissioning* assume pieno significato solo quando non comporta un ulteriore consumo di suolo, ma al contrario consente di valorizzare aree già storicamente destinate a tale specifica funzione. Tale approccio contribuisce, inoltre, a trasmettere all'opinione pubblica un messaggio di responsabilità e sostenibilità, dimostrando come gli impianti, siano essi convenzionali o nucleari, possano essere costruiti, gestiti e infine dismessi completando un ciclo virtuoso, senza lasciare al Paese strutture obsolete o abbandonate.

È stato infine sottolineato che il *decommissioning* non rappresenta soltanto una sfida di natura tecnologica, ma anche un ambito di elevato valore etico e professionale, in cui la sicurezza radiologica degli operatori costituisce la priorità assoluta.

In questa prospettiva, l'evoluzione del settore punta con decisione verso la remotizzazione e la robotizzazione delle operazioni più rischiose.

Questioni connesse allo sviluppo dell'energia nucleare

Angelo Tartaglia, già professore di fisica del Politecnico di Torino

Nel corso dell'audizione del 19 marzo 2024, è stato evidenziato che la fissione nucleare, di per sé, non genera emissioni climalteranti durante il suo funzionamento, ma, nel bilancio complessivo del carbonio, è necessario considerare l'intero ciclo di vita della materia prima - generalmente uranio, ma potenzialmente anche torio - che deve essere estratta da miniere, nonché il ciclo di vita della centrale, dalla costruzione fino alla dismissione. In tale prospettiva, è stato rilevato come un impatto climatico complessivo risulti comunque presente.

È stato altresì osservato che i tempi di costruzione delle centrali nucleari risultano incompatibili con quelli, molto più brevi, richiesti per una transizione energetica efficace in grado di prevenire il collasso climatico, stimati ormai nell'ordine di un decennio. La realizzazione di una nuova centrale con potenze superiori al gigawatt richiede, sulla base delle esperienze più recenti, almeno quindici anni, con un costo medio di investimento dell'ordine di una dozzina di miliardi di euro.

Con riferimento ai piccoli reattori, con potenze paragonabili a quelle degli impianti degli anni Sessanta e Settanta del secolo scorso (nell'ordine di alcune centinaia di megawatt), è stato sottolineato che, per ottenere un impatto significativo sul *mix* energetico nazionale, sarebbe necessario costruirne alcune centinaia, con tempi di realizzazione comunque incongrui rispetto all'urgenza dell'emergenza climatica.

Analogamente, per quanto concerne i piccoli reattori modulari (*Small Modular Reactors* – SMR), di potenza pari a poche decine di megawatt o inferiore, è stato rilevato che la riduzione della taglia comporterebbe la necessità di realizzare un numero ancora maggiore di impianti, nell'ordine delle migliaia. È stato infine chiarito che non si può ipotizzare la creazione di reattori "temporanei" o componibili in luoghi diversi, poiché, oltre al nocciolo in cui avviene la fissione, ogni centrale deve essere dotata di schermature, sistemi di sicurezza e di controllo, nonché dei circuiti di refrigerazione e di asportazione del calore necessari alla produzione di energia elettrica.

I costi connessi a tali infrastrutture sono stati indicati come il principale motivo che, nel tempo, ha spinto verso la costruzione di reattori sempre più potenti e centrali multi-reattore, in grado di assicurare adeguate economie di scala.

ECCO – think tank italiano per il clima

Nel corso dell'audizione del 3 aprile 2024, Michele Governatori, responsabile del settore elettricità e gas di ECCO, ha evidenziato che, complessivamente, l'energia prodotta da fonte nucleare presenta costi più elevati rispetto a quella generata da fonti di energia rinnovabile, quali il sole e il vento, qualora si debbano realizzare nuovi impianti. Tale valutazione è

confermata sia dall'Agenzia internazionale per l'energia (IEA), organismo dell'Organizzazione per la cooperazione e lo sviluppo economico (OCSE), sia dall'Agenzia per l'energia nucleare (NEA). Diversamente, nei Paesi che dispongono già di centrali nucleari operative e ne prolungano la vita utile, i costi di produzione risultano contenuti e competitivi rispetto a quelli delle fonti di energia rinnovabile.

È stato precisato che gli impianti nucleari sono concepiti per produrre energia in modo costante e continuativo e non risultano adatti a modulazioni frequenti o rapide, a causa della tecnologia alla base dei reattori a fissione. Oltre alla reazione principale, che può essere interrotta istantaneamente, si sviluppano infatti reazioni secondarie che continuano a generare energia per diverse settimane, richiedendo ulteriore energia per la gestione post-arresto. Tale caratteristica rende le centrali nucleari inadatte a cicli di accensione e spegnimento repentini.

Dal punto di vista economico, è stato rilevato che gli impianti nucleari sono estremamente *capital intensive*, ossia caratterizzati da costi fissi molto elevati, che ne rendono l'utilizzo discontinuo poco sostenibile, in quanto prolungherebbe eccessivamente il periodo di recupero dell'investimento. Come tutti gli impianti tecnologicamente complessi, le centrali nucleari devono operare in modo continuativo per garantire la sostenibilità economica del progetto. A ciò si aggiungono i tempi di costruzione particolarmente lunghi.

È stato inoltre sottolineato che il rischio di siccità può influire negativamente sull'intero sistema energetico, incluse le centrali nucleari, le quali necessitano di grandi quantità di acqua per il raffreddamento. Nel contesto dei Paesi industrializzati, tra cui l'Italia, è stato ricordato che il sistema elettrico è caratterizzato da una crescente penetrazione di fonti di energia rinnovabile, soprattutto fotovoltaica e, in Europa, eolica. Il Piano nazionale integrato per l'energia e il clima (PNIEC) prevede che entro il 2030 il 65 per cento dell'elettricità derivi da fonti di energia rinnovabile, rispetto all'attuale copertura inferiore al 40 per cento.

È stato rilevato che, in alcune circostanze - in particolare quando si registrano forti venti o un'elevata produzione solare a fronte di una domanda ridotta, come accade nel Mezzogiorno e nelle isole - le fonti di energia rinnovabile riescono già oggi a coprire interamente la domanda elettrica nazionale. In tali casi, tutti gli impianti termoelettrici, ad eccezione di quelli essenziali per la sicurezza della rete, vengono spenti per lasciare spazio alla produzione da fonti rinnovabili. Se in sostituzione degli impianti termoelettrici vi fossero centrali nucleari, queste dovrebbero essere spente o, in alternativa, si sprecherebbero i picchi di produzione solare ed eolica, come avvenuto in Spagna nel marzo 2024.

Dal punto di vista economico, è stato osservato che, sebbene il costo del combustibile nucleare - principalmente uranio - incida in misura ridotta sul costo medio dell'energia prodotta, esso rimane superiore al costo nullo delle risorse solare ed eolica. Pertanto, in presenza di un eccesso di produzione, sarebbe economicamente più vantaggioso fermare un impianto nucleare piuttosto che un impianto fotovoltaico o eolico.

In prospettiva, è stato sottolineato che, a fronte del crescente contributo delle fonti di energia rinnovabile, sarà necessario disporre di fonti complementari flessibili, integrate da sistemi di accumulo anche di tipo stagionale e da comportamenti di consumo virtuosi da parte degli utenti. In tale quadro, è stato ricordato che l'Italia, con il contributo dell'Istituto nazionale di fisica nucleare (INFN) e dell'Ente per le nuove tecnologie, l'energia e l'ambiente (ENEA), è impegnata nella realizzazione a Frascati di un impianto *Tokamak* per la fusione nucleare, una tecnologia che, una volta a regime, potrà garantire una produzione energetica flessibile e competitiva, potenzialmente in grado di integrare o sostituire, nel lungo periodo, le attuali fonti di energia rinnovabile, soprattutto le più impattanti da un punto di vista paesaggistico.

Marco Bella, professore associato di Chimica organica presso l'Università degli studi di Roma La Sapienza

Nel corso dell'audizione del 22 maggio 2024, è stato rilevato che la principale criticità connessa a un eventuale ritorno all'energia nucleare in Italia riguarda i tempi necessari per la realizzazione di nuovi reattori. È stato infatti osservato che tutti gli impianti costruiti nell'Unione europea dal 2000 in poi hanno registrato ritardi considerevoli nel completamento dei lavori.

Inizialmente si riteneva che, dopo la costruzione dei primi reattori di tipo *European Pressurized Reactor* (EPR), le tempistiche potessero migliorare; tuttavia, problematiche analoghe sono state riscontrate anche per i reattori Hinkley Point C e D nel Regno Unito, i cui tempi di costruzione si sono notevolmente dilatati, determinando un incremento dei costi fino a livelli imprevedibili, stimati in circa 50 miliardi di sterline complessivi (pari a circa 25 miliardi ciascuno).

Situazioni simili si sono verificate anche per la centrale di Virgil Summer, in Carolina del Sud, dove i due reattori previsti non saranno completati nonostante un investimento di circa 9 miliardi di dollari.

È stato sottolineato che problematiche analoghe potrebbero emergere anche in Italia, in considerazione della mancata individuazione dei siti destinati alla costruzione delle centrali, rendendo verosimile una tempistica complessiva di almeno vent'anni. Per tali ragioni, è stato stimato che entro il 2050 sarebbe realistico prevedere la realizzazione di non più di due reattori.

Alla luce di tali considerazioni, è stato osservato che, per il conseguimento degli obiettivi di decarbonizzazione, le fonti di energia rinnovabile appaiono più idonee, soprattutto per la loro rapidità di espansione. È stato richiamato, a titolo esemplificativo, il caso della Cina, che nel 2022 ha incrementato la produzione da energia nucleare di 10 terawattora, mentre, nello stesso periodo, la produzione da fonti di energia rinnovabile è aumentata di 200 terawattora.

È stato inoltre evidenziato che una possibile soluzione potrebbe consistere nell'integrazione delle reti elettriche europee, consentendo alle centrali nucleari francesi di assicurare la produzione costante, mentre la produzione variabile sarebbe affidata ad altri Paesi europei.

Per quanto riguarda i piccoli reattori modulari (*Small Modular Reactors* – SMR), è stato rilevato che non rappresentano, allo stato attuale, una soluzione praticabile, in quanto si trovano ancora in fase sperimentale: l'unico progetto di rilievo, quello della statunitense *NuScale*, è stato recentemente cancellato poiché ritenuto antieconomico. In tale prospettiva, è stato ritenuto necessario finanziare la ricerca sul nucleare per rendere tecnologicamente accessibili tali progetti.

Infine, è stato precisato che anche altre soluzioni, come i reattori raffreddati a sodio o a piombo, presentano oggi criticità di diversa natura che ne limitano la fattiva realizzabilità.

Francesco Celani, **ricercatore emerito di fisica multidisciplinare**

Nel corso dell'audizione del 28 gennaio 2025, è stato osservato che l'uranio, dal quale viene separato l'isotopo fissile uranio-235 (^{235}U), presente in natura in concentrazione pari allo 0,7 per cento e separabile fino a valori dello 0,4-0,5 per cento, utilizzato nelle tradizionali centrali nucleari, risulta una risorsa in progressivo esaurimento.

È stato stimato che, mantenendo gli attuali livelli di consumo, le riserve disponibili possano garantire l'approvvigionamento per circa sessant'anni, una volta entrate in funzione tutte le centrali attualmente in costruzione, in particolare quelle localizzate in Cina.

È stato inoltre precisato che l'ipotesi di estrarre uranio dall'acqua di mare, che contiene una concentrazione media di circa 3,3 parti per miliardo, è oggetto di studio e sperimentazione, ma presenta tuttora costi - sia diretti sia indiretti - non ancora chiaramente quantificabili.

Nicola Armaroli, dirigente del Consiglio nazionale delle ricerche (CNR)

Nel corso dell'audizione del 4 febbraio 2025, Nicola Armaroli, dirigente di ricerca del Consiglio nazionale delle ricerche (CNR), ha osservato che circa il 95 per cento del territorio nazionale è esposto a rischio idrogeologico, condizione che rappresenta un fattore di criticità rilevante per l'eventuale localizzazione di siti destinati a impianti nucleari di qualsiasi tipologia. A tale rischio si sommano ulteriori elementi di vulnerabilità, quali quelli di natura sismica, paesaggistica e idrica, considerato che i reattori necessitano di sistemi di raffreddamento ad acqua.

È stato inoltre evidenziato che la realizzazione di nuovi impianti risente della scarsa attrattività degli investimenti e della mancanza di risorse, materiali e finanziarie, nonché di tecnologie adeguate, le quali, allo stato attuale, non risultano presenti. È stato ricordato che l'Italia, entro il 2040, dovrà aver completato la decarbonizzazione del proprio sistema elettrico, e non trovarsi ancora nella fase iniziale del processo.

È stato sottolineato che, a fronte di un'evoluzione globale del sistema elettrico, le reti di trasmissione e distribuzione si sono progressivamente adattate a integrare milioni di produttori distribuiti. Trenta anni fa si riteneva che con una quota superiore al 10 per cento di energia da fonti di energia rinnovabile la rete sarebbe collassata, ma oggi interi Paesi industrializzati sono in grado di operare per settimane intere con il 100 per cento della produzione proveniente da tali fonti.

È stato quindi rilevato che la prospettiva delineata dal Governo si fonda su una scommessa tecnologica incerta, ossia l'ipotesi che tra quindici o vent'anni il nucleare possa consentire una riduzione del costo dell'energia, nonostante si tratti di tecnologie che attualmente non esistono, di cui non sono note le caratteristiche né i costi effettivi, mentre le soluzioni di decarbonizzazione già consolidate proseguono in una crescita rapida e continua.

Il disegno di legge in materia di nucleare sostenibile prevede, per l'Italia, una capacità nucleare installata compresa tra 8 e 16 gigawatt. Considerando, per i piccoli reattori modulari (*Small Modular Reactors* – SMR), una potenza media pari a 100 megawatt elettrici per unità, ciò implicherebbe la necessità di installare circa 120 reattori distribuiti sul territorio nazionale, in numero superiore a uno per provincia, circostanza che appare di complessa realizzazione.

A titolo esemplificativo, è stato ricordato il caso di Porto Marghera, dove la proposta di installare un reattore modulare di piccola taglia presso l'area del polo petrolchimico e industriale è stata respinta all'unanimità dal Consiglio regionale del Veneto.

Gianni Silvestrini, direttore scientifico di Kyoto Club

Nel corso dell'audizione del 24 settembre 2024, è stato rilevato che sussiste una criticità di natura tecnica connessa alla compresenza dell'energia nucleare e di una quota sempre più elevata di produzione da fonti di energia rinnovabile, che potrebbe attestarsi intorno al 65 per cento entro il 2030-2035 e raggiungere l'80 per cento al 2040. In tale contesto, è stato evidenziato come l'energia nucleare incontri difficoltà operative, in quanto dovrebbe essere impiegata in modalità variabile, mentre i reattori non sono concepiti per tale funzione, essendo destinati a operare in regime di carico di base.

È stato tuttavia osservato che, attraverso l'introduzione dei piccoli reattori modulari (*Small Modular Reactors* – SMR), si tenta di ovviare parzialmente a questa esigenza mediante la possibilità di modulare la produzione, ad esempio alternando l'accensione e lo spegnimento di singoli moduli. Ciononostante, tali impianti restano progettati per un funzionamento continuativo, e la loro diffusione potrebbe persino costituire un elemento di rallentamento per l'ulteriore sviluppo delle fonti di energia rinnovabile e degli accumuli di lunga durata.

È stato infine sottolineato che la ricerca e la sperimentazione in ambito nucleare rivestono indubbia importanza, purché inserite in un quadro coerente con gli obiettivi europei di neutralità climatica fissati al 2050 (*Climate Neutrality 2050*).

Giorgio Parisi, **premio Nobel per la fisica**

Nel corso dell'audizione del 19 febbraio 2025, è stato evidenziato che, allo stato attuale, il costo dell'energia solare risulta significativamente inferiore rispetto a quello delle altre fonti energetiche, registrando un divario di un fattore compreso tra due e tre rispetto all'energia nucleare. È stato inoltre sottolineato che i costi dell'energia solare stanno diminuendo con un ritmo medio annuo del 10 per cento, e che sussistono ampi spazi potenzialmente utilizzabili, sia nei contesti urbani sia nelle aree rurali, anche mediante l'implementazione dell'agrivoltaico, che in Italia non ha ancora conosciuto un adeguato sviluppo.

È stato rilevato che, parallelamente, i costi di produzione dell'energia nucleare hanno mostrato nel tempo un andamento opposto, in aumento, anche a causa dell'inasprimento delle normative in materia di sicurezza e regolamentazione. È stato ricordato che il principale limite dei pannelli solari consiste nella loro capacità di produrre energia esclusivamente durante le ore diurne, ma che, allo stato attuale, tale caratteristica non rappresenta un problema per l'Italia, poiché il prezzo dell'energia elettrica in rete è generalmente più elevato durante il giorno. È stato tuttavia segnalato che, con la crescente diffusione dell'energia solare, tale situazione potrà mutare, come dimostrato dall'esperienza della California, dove la sovrapproduzione di energia nelle ore centrali della giornata determina talvolta prezzi negativi.

In tale contesto, è stato osservato che l'energia nucleare non costituisce una soluzione efficace per bilanciare l'eccesso di produzione solare, poiché gli impianti nucleari, per la loro natura tecnologica, devono operare con continuità, producendo pressoché la stessa quantità di energia nelle ore diurne e notturne. È stato inoltre evidenziato che, alla luce di tali caratteristiche, l'investibilità nel settore nucleare risulta oggi estremamente bassa.

È stato rilevato, d'altra parte, che il costo degli accumulatori domestici di energia elettrica è in costante diminuzione e che l'eventuale *surplus* energetico diurno potrebbe essere utilizzato per la produzione di carburanti sintetici destinati al trasporto navale e aereo. In tale quadro, è stato richiamato il ruolo strategico degli impianti idroelettrici, che rappresentano il sistema di accumulo più efficiente, sebbene necessitino di interventi di ammodernamento e potenziamento della capacità e dell'efficienza.

In conclusione, è stato sottolineato che la progressiva solarizzazione della produzione elettrica nazionale dovrà essere accompagnata da adeguati investimenti, da orientare prioritariamente verso il potenziamento delle reti di distribuzione - le cosiddette *smart grid* - e verso il comparto idroelettrico, piuttosto che in direzione dello sviluppo dell'energia nucleare.

L'approvvigionamento di uranio

Comitato Nucleare e Ragione

Nel corso dell'audizione del 9 aprile 2024, il presidente del Comitato Nucleare e Ragione, Pierluigi Totaro, ha evidenziato che, con riferimento ai luoghi di approvvigionamento del combustibile nucleare, sebbene una parte delle riserve mondiali di uranio sia localizzata in Paesi caratterizzati da una certa criticità sotto il profilo geopolitico, le principali giacenze si trovano in Stati politicamente stabili e affidabili, quali l'Australia - tra i maggiori esportatori mondiali di uranio - e il Canada, con entrambi i quali l'Italia intrattiene consolidate relazioni di collaborazione.

Ansaldo Nucleare S.p.A.

Nel corso dell'audizione del 3 ottobre 2024, l'amministratore delegato di Ansaldo Nucleare S.p.A., Daniela Gentile, ha evidenziato che, con riferimento al combustibile, i Paesi produttori di uranio risultano complessivamente più stabili dal punto di vista geopolitico rispetto a quelli produttori di gas naturale e carbone. È stato osservato, infatti, che soltanto il 28,8 per cento della produzione mondiale di gas proviene da Paesi con rischio geopolitico basso o medio-basso, mentre circa il 70 per cento della produzione di carbone è localizzata in Paesi caratterizzati da rischio medio-alto.

Diversamente, quasi un quarto della produzione mondiale di uranio (24,2 per cento) è concentrata in Stati a bassissimo rischio geopolitico, quali il Canada e l'Australia. Considerando inoltre le riserve di combustibili – indice della produzione potenziale futura - il vantaggio dell'uranio appare ancora più marcato, poiché Australia e Canada detengono complessivamente il 41 per cento delle riserve mondiali.

RINA S.p.A.

Nel corso dell'audizione del 28 gennaio 2025, Andrea Bombardi, vicepresidente esecutivo per lo sviluppo del mercato globale di RINA S.p.A., ha evidenziato che l'uranio è in grado di assicurare una produzione di energia per un lungo arco temporale, rendendo il sistema meno esposto alle oscillazioni dei mercati e alle interruzioni improvvise di fornitura che caratterizzano le fonti fossili. Tale caratteristica, è stato sottolineato, garantisce una maggiore stabilità dei costi e una più solida sicurezza negli approvvigionamenti.

È stato inoltre osservato che lo sviluppo, in ambito europeo, di una capacità autonoma di arricchimento dell'uranio contribuirebbe a ridurre ulteriormente la dipendenza geopolitica e a rendere i costi ancora meno soggetti a volatilità.

Gilberto Pichetto Fratin, Ministro dell'ambiente e della sicurezza energetica

Nel corso dell'audizione del 9 ottobre, è stato evidenziato che, con riferimento alla sicurezza degli approvvigionamenti energetici, occorre considerare come Paesi politicamente stabili e affidabili, quali il Canada e l'Australia, si collochino rispettivamente al secondo e al quarto posto a livello mondiale per quantità di uranio estratto, secondo i dati del 2022.

Ne consegue che la fornitura di combustibile nucleare presenterebbe un rischio geopolitico significativamente inferiore rispetto a quello associato ad altre fonti di energia.

Adolfo Urso, Ministro delle imprese e del *made in Italy*

Nel corso dell'audizione del 26 febbraio 2025, è stato rilevato che il rilancio dell'energia nucleare in Italia dovrà confrontarsi con le criticità connesse all'approvvigionamento del materiale fissile, alla gestione dei rifiuti radioattivi e alle questioni relative alla sicurezza.

È stato ricordato che l'uranio, principale combustibile per i reattori nucleari, viene estratto prevalentemente in Kazakistan, Canada, Namibia, Australia, Niger e Russia, e che l'Unione europea dipende in misura significativa da fornitori esterni, con una domanda crescente, in particolare da parte della Francia. Le risorse di uranio attualmente disponibili sono stimate sufficienti per circa novant'anni, ma l'aumento della domanda potrebbe determinare tensioni nel mercato.

È stato inoltre evidenziato che un'alternativa è rappresentata dal combustibile MOX, una miscela di uranio depleto e diossido di plutonio, impiegabile in alcuni reattori e idonea a ridurre la produzione di scorie a lunga vita.
Le tecnologie nucleari di nuova generazione, come i reattori modulari avanzati (AMR – *Advanced Modular Reactors*), sono concepite per ottimizzare il ciclo del combustibile e minimizzare la quantità di rifiuti radioattivi grazie a sistemi di raffreddamento innovativi, con conseguente riduzione dell'impatto ambientale e dei costi di smaltimento.

È stato infine osservato che, in un contesto di crescente domanda di sostenibilità e di contenimento dei costi di gestione delle scorie, il progresso nelle tecnologie del combustibile nucleare potrà assicurare vantaggi competitivi di rilievo sotto il profilo tecnologico, industriale e di mercato.

Fare Ambiente – Movimento ecologista europeo

Nel corso dell'audizione dell'8 gennaio 2025, il presidente di Fare Ambiente – Movimento ecologista europeo, Vincenzo Pepe, ha evidenziato che il settantacinque per cento dell'uranio prodotto a livello mondiale proviene da democrazie consolidate, quali il Canada, l'Australia e la Namibia. È stato inoltre precisato che la quota di provenienza russa è destinata a ridursi sensibilmente entro il 2027, in virtù dell'attivazione di nuove capacità di arricchimento in Francia, nei Paesi Bassi e negli Stati Uniti d'America.

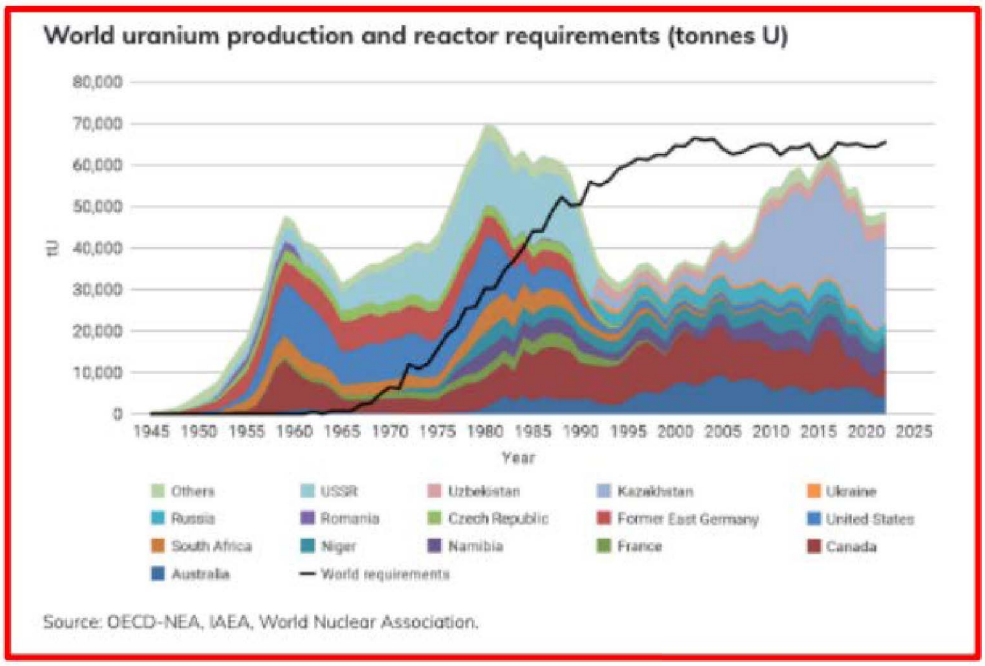
QualEnergia

Nel corso dell'audizione del 14 gennaio 2025, Sergio Ferraris, direttore responsabile di QualEnergia, ha ricordato che l'Italia non dispone di una filiera industriale completa né per la componentistica né per il combustibile destinato alla produzione di energia nucleare, che proviene in larga parte dalla società russa Rosatom. Quest'ultima detiene il trentotto per cento della capacità mondiale di conversione dell'uranio e il quarantasei per cento di quella di arricchimento, risultando attualmente l'unico fornitore economicamente sostenibile di uranio ad alto dosaggio e a basso arricchimento.

È stato inoltre richiamato il rapporto strategico *Il nuovo nucleare in Italia per i cittadini e le imprese*, realizzato da TEHA Group per Edison e Ansaldo Nucleare, nel quale si evidenzia che i reattori avanzati consentiranno l'impiego di nuovi tipi di combustibili nucleari, tra cui quelli basati su uranio ad alto dosaggio (HALEU – *High-Assay Low-Enriched Uranium*), proveniente in misura prevalente proprio da Rosatom.

Sergio Ulgiati, professore associato di chimica ambientale presso l'Università degli studi di Napoli Parthenope

Nel corso dell'audizione del 22 gennaio 2025, è stato rilevato che i dati riportati nella figura di riferimento mostrano come, a partire dal 2015, la domanda di uranio da parte delle centrali nucleari in esercizio abbia costantemente superato la produzione mineraria. Tale circostanza sarebbe imputabile a diversi fattori, tra cui guasti, ridotta efficienza nell'utilizzo del combustibile, minori volumi di estrazione rispetto alla capacità degli impianti, ma soprattutto alla costruzione di nuovi reattori. È stato osservato che tale andamento solleva dubbi significativi sulla solidità economica e strategica degli investimenti nella filiera dell'uranio.



Francesco Celani, ricercatore emerito di fisica multidisciplinare

Nel corso dell'audizione del 28 gennaio 2025, è stato rilevato che l'impiego del torio-232 (fertile) come combustibile nucleare, attivato mediante ciclo a neutroni, rappresenta una soluzione innovativa, sebbene oggetto di studi già risalenti.

Tale elemento, tre o quattro volte più abbondante dell'uranio, garantirebbe un'autonomia operativa stimata in almeno cinquemila anni.

È stato ricordato, secondo quanto affermato dal professor Carlo Rubbia, che la quantità di combustibile necessaria per produrre un gigawatt di energia per un anno sarebbe pari a una tonnellata nel caso del torio-232, rispetto alle duecento tonnellate richieste utilizzando l'uranio tradizionale.

Inoltre, i prodotti di decadimento di tale ciclo presentano una vita media sensibilmente più breve, dell'ordine di alcune decine di anni, fatta eccezione per gli usuali prodotti di fissione.

Le nuove tecnologie

Nucleare di IV generazione

Greenpeace Italia

Greenpeace Italia ha evidenziato, nel documento depositato, che una breve storia delle diverse tecnologie del programma nucleare sulla *Generation IV*, lanciato nell'anno 2000, mostra come nessuna delle filiere su cui si è lavorato per 20 anni e oltre abbia raggiunto la maturità industriale. Fanno eccezione al momento i due primi reattori cinesi ad alta temperatura e raffreddati a gas a *pebble bed* (HTR-PM) e operativi all'inizio del 2022. I reattori raffreddati a piombo-bismuto di cui si parla in Italia, oltre alla relativa scarsità del bismuto presentano diversi problemi irrisolti:

• il piombo e il piombo-bismuto, essendo molto densi, aumentano il peso della struttura, richiedono quindi maggiore supporto strutturale e protezione sismica, che aumentano i costi dell'impianto;

• mentre il piombo è abbondante e a buon mercato, il bismuto è raro e costoso e un LFR richiederà centinaia di tonnellate di bismuto;

• la soluzione piombo-bismuto è solida solo sotto 123,5 °C, va quindi riscaldata dall'esterno ogni volta che il reattore è fermato, perché solidificandosi può danneggiare il sistema;

• la soluzione piombo-bismuto produce una considerevole quantità di polonio, un elemento altamente radioattivo e molto mobile: ciò può complicare la manutenzione e porre problemi di contaminazione dell'impianto.

WWF Italia

Nel corso dell'audizione del 9 aprile 2024, la responsabile clima ed energia di WWF Italia, Mariagrazia Midula, ha sottolineato che attualmente non esistono reattori commerciali di IV generazione. I pochi impianti esistenti (ad esempio, in Russia e in Cina) riconducibili a tecnologie di IV generazione, sono, infatti, ad un livello sperimentale. Quanto alla possibile commercializzazione, è stato evidenziato che occorre *in primis* realizzare una serie di impianti dimostrativi, al fine di verificare tecnicamente se gli stessi funzionino come ipotizzato a livello teorico, e se effettivamente risolvano i problemi delle precedenti generazioni di reattori (es. reale capacità autofertilizzante, sicurezza, riduzione della produzione di scorie, ecc.). Ciò consentirebbe anche di comprenderne il reale livello di economicità.

Walter Ambrosini, professore ordinario di Impianti Nucleari presso l'Università degli studi di Pisa

Nel corso dell'audizione del 24 settembre 2024, è stato rilevato che, per reattori di IV generazione, devono intendersi sei progetti di reattori, tutti in fase di analisi e di ricerca, che presentano alcuni problemi legati alla resistenza dei materiali alle più alte temperature a cui

dovrebbero funzionare. Anche la IV generazione potrà forse dare, a suo avviso, un contributo, ma ritiene che ciò richiederà ancora tempo.

Ansaldo Nucleare S.p.A.

Nel corso dell'audizione del 3 ottobre 2024, Daniela Gentile, amministratore delegato di Ansaldo Nucleare S.p.A. ha fatto presente, sul tema della IV generazione, che Ansaldo nucleare ha avviato dal 2006 un percorso di sviluppo, gettando le basi per un reattore, ALFRED, che rappresenta il primo dimostratore di un reattore raffreddato al piombo, concepito e gestito da una comunità paneuropea, costituita, oltre che da Ansaldo energia, da ENEA, dall'Istituto romeno per le ricerche nucleari, e con la collaborazione della belga SCK CEN (centro di ricerca nucleare belga). A giugno 2024, il progetto è stato presentato nell'ambito dell'European Smr Industrial Alliance. Per promuovere lo sviluppo del nuovo nucleare è essenziale, a suo avviso, avere una chiara visione industriale nel medio e lungo termine, accelerare la messa a terra dei progetti di sviluppo industriale, trovare sinergie tra le aziende italiane che, per dimensioni, competenze ed esperienze consentano di trasformare il potenziale tecnologico in capacità produttiva concreta. Su quest'ultimo punto ritiene fondamentale l'avvio di un percorso per individuare le modalità di finanziamento dello sviluppo delle tecnologie nucleari.

Gilberto Pichetto Fratin, Ministro dell'ambiente e della sicurezza energetica

Nella audizione del 15 ottobre 2024, il Ministro dell'ambiente e della sicurezza energetica riferisce che una importantissima analisi in corso di svolgimento riguarda la prospettiva dell'utilizzo degli AMR (*Advanced Modular Reactor*) di IV generazione, sui quali l'Italia è in posizione privilegiata a livello mondiale, poiché lavora da decenni su una particolare tecnologia di IV generazione che si basa sul raffreddamento a piombo liquido. Questi reattori, il cui arrivo sul mercato è previsto a cavallo degli anni Quaranta, saranno in grado di bruciare le scorie ad alta attività e lunga vita, nel senso di riutilizzarle come nuovo combustibile all'interno dei reattori, in un'ottica di vera economia circolare, riducendo fortemente il tempo di decadimento di queste scorie e, conseguentemente, riducendo o annullando la necessità della costruzione di un deposito geologico.

L'affiancamento del reattore AMR di IV generazione agli SMR (*Small Modular Reactors*) di III generazione avanzata, potrebbe portare, pertanto, tra qualche anno, anche il vantaggio di chiudere il ciclo del combustibile, e contribuire così alla sostenibilità dell'energia nucleare.

Diversi Paesi in tutto il mondo stanno puntando sullo sviluppo di questi nuovi reattori. L'Italia non deve rimanere di nuovo indietro per evitare di creare un *gap* difficile da colmare.

Newcleo

Nell'audizione dell'8 gennaio 2025, Stefano Buono, amministratore delegato di Newcleo, ha evidenziato che il nucleare di IV generazione può e deve ricoprire un ruolo fondamentale per fornire un'alternativa complementare e virtualmente inesauribile alle capacità intermittenti delle fonti rinnovabili. Dalla IV generazione può derivare il massimo del valore del nucleare, essendo il frutto di un'esperienza di 80 anni. Cita un esempio fra tutti: l'energia nucleare si configura come una soluzione strategica ideale per i comparti industriali energivori, cioè quelli che hanno bisogno di calore ed elettricità a basso costo, perché garantisce decarbonizzazione, sicurezza energetica e stabilità di costi competitivi. Spesso il dibattito pubblico oppone il nucleare alle rinnovabili. Un approccio pragmatico di neutralità tecnologica conferma ciò che la scienza indica da anni, e che inizia finalmente a diventare evidente anche nella pubblica opinione, ovvero che il nucleare e le rinnovabili sono fonti necessarie, alleate e complementari nella transizione energetica. Non solo il nucleare può risolvere il tema dell'intermittenza di alcune rinnovabili (come vento e sole), ma garantisce anche una migliore ottimizzazione dell'utilizzo del suolo.

Questa piccola rivoluzione si basa su competenze, brevetti e tecnologia largamente italiani, soprattutto in relazione al sistema di raffreddamento a piombo liquido che garantisce al reattore quella efficacia in grado di riutilizzare il combustibile esausto degli altri reattori fino a 200 volte. In Italia, in *partnership* con ENEA, è stato già realizzato, al Brasimone, il più grande centro di ricerca e sviluppo su questa tecnologia. Sono attualmente in costruzione 12 impianti di ricerca e qualifica dei componenti dei reattori. L'ultimo di questi impianti diventerà operativo a breve, e sarà un reattore termo riscaldato completo di ogni impianto previsto in quello nucleare fino alla turbina.

Associazione italiana economisti dell'energia - AIEE

Nel corso dell'audizione dell'8 gennaio 2025, Matteo Di Castelnuovo, presidente dell'associazione italiana economisti dell'energia – AIEE, ha rappresentato che con riguardo agli impianti di IV generazione, in particolare di piccola scala, si registra molta confusione. Ad oggi si parla di oltre 80 progetti diversi a disposizione per queste nuove tecnologie. Di recente è stato pubblicato un articolo realizzato da una serie di ricercatori, alcuni dei quali del Politecnico di Milano, nel quale viene svolta una *review* critica della letteratura sui costi di questa IV generazione. Questo nuovo studio afferma che il costo in dollari per chilowatt installato può variare da 1.500 a 25.000 dollari per chilowattora e il costo dell'elettricità da 30 a 350. Sottolinea che non esiste alcuna letteratura finanziaria in proposito e che quindi non si ha ancora idea di quanto costeranno effettivamente queste tecnologie.

Kairos Power LLC

Nell'audizione del 30 gennaio 2025, Francesco Carotti, *senior manager* di Kairos Power LLC, ha evidenziato riguardo alle tecnologie di IV generazione, che la tecnologia di Kairos Power

si basa su due aspetti fondamentali: il combustibile TRISO, che ad oggi è il combustibile nucleare moderno più sicuro, con i più alti margini di sicurezza, e il sale fuso di fluoruro come liquido di raffreddamento. Sono due tecnologie già disponibili, che combinate insieme danno origine a un reattore che ha una serie di aspetti positivi. Si tratta, quindi, a suo avviso, di una tecnologia intrinsecamente sicura, poiché il reattore usa la fisica e i materiali per garantirne la sicurezza, senza bisogno di interventi esterni o di sistemi di sicurezza in larga parte esterni. Ciò potrebbe consentire di raggiungere una potenziale diminuzione dei costi della centrale ed eventualmente dell'energia.

Fa presente che Google e Kairos hanno siglato un accordo per sviluppare un progetto per un totale di 500 megawatt di energia elettrica entro il 2035. In base a questo accordo, Kairos svilupperà centrali e produrrà energia elettrica da vendere a Google.

Giorgio Parisi, **premio Nobel per la fisica**

Nell'audizione del 19 febbraio 2025, è stato evidenziato, relativamente al nucleare di IV generazione, che lo stesso potrebbe essere certamente importante ma è necessario ricordare che non c'è alcun prototipo attualmente funzionante su grande scala e che lo stesso è l'evoluzione di reattori di tipo analogo al Super-Phénix ubicato in Francia. Ricorda, al riguardo, che il Super-Phénix ha avuto una storia tristissima: dopo essere stato costruito, ha riportato una serie di incidenti per svariati anni che lo hanno portato alla chiusura.

Adolfo Urso, Ministro delle imprese e del *made in Italy*

Nell'audizione del 26 febbraio 2025, il Ministro delle imprese e *del made in Italy* rappresenta che l'evoluzione della tecnologia nucleare si sviluppa attraverso diverse generazioni, classificate in I, II, III, III+ e IV, in base alle loro caratteristiche tecnologiche e di sicurezza.

La IV generazione introduce nuove tecnologie, tra cui gli *Advanced Modular Reactor* (AMR), che innovano nei sistemi di raffreddamento dei combustibili avanzati, offrendo nuove opportunità, come la cogenerazione e la produzione di idrogeno, migliorando inoltre la sicurezza e la sostenibilità, attraverso il riprocessamento del materiale esausto.

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

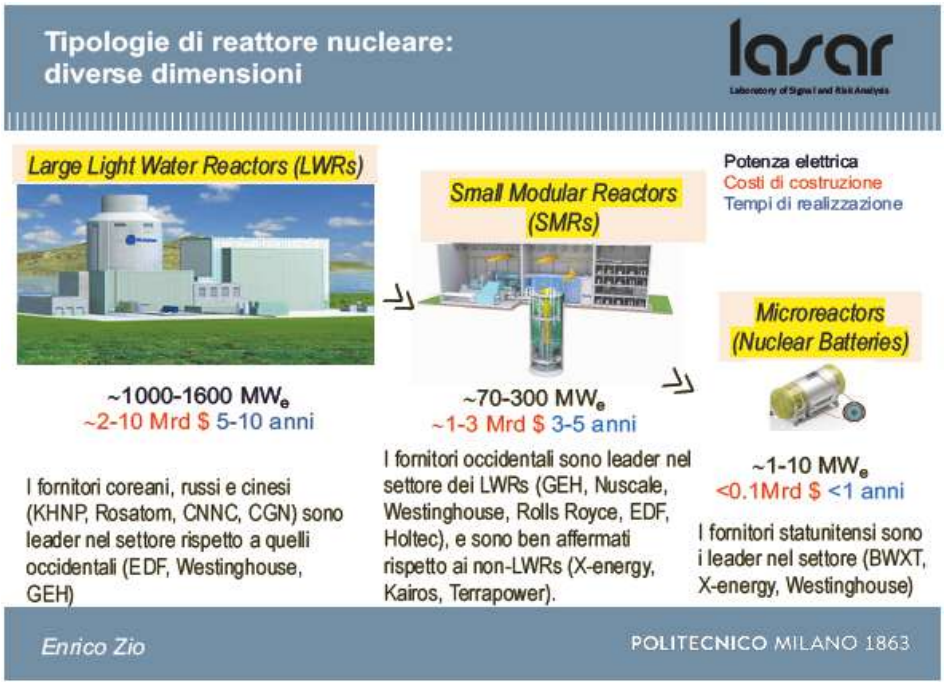
Nel corso dell'audizione del 30 gennaio 2025, il direttore del Dipartimento Nucleare dell'ENEA, Alessandro Dodaro, ha evidenziato che, per ciò che attiene ai reattori raffreddati a metallo liquido (i cosiddetti AMR - *Advanced Modular Reactor*), le industrie italiane, con il supporto di ENEA, sono ben posizionate rispetto alle filiere industriali estere: in questo settore, il potenziale è rilevante, perché la maggiore sostenibilità di tale tecnologia, una volta dimostrata sul campo, consentirà lo sviluppo di un mercato in cui l'Italia potrà giocare un ruolo da protagonista.

Small Modular Reactors (SMR)

Enrico Zio, professore ordinario di impianti nucleari al Politecnico di Milano

Nel corso dell'audizione del 19 marzo 2024, è stato evidenziato, quanto ai reattori modulari piccoli (*Small Modular Reactors* - SMR), che si prevedono circa 22 GW di progetti a livello globale, per un investimento di 176 miliardi di dollari nei prossimi anni. Gli Stati Uniti, in particolare, hanno annunciano circa 4 GW di SMR, con 3 GW in fase di sviluppo iniziale o pre-sviluppo iniziale.

Ha rilevato che vi è, in generale, grande attenzione sui piccoli reattori modulari, tenendo conto che la maggior parte di essi non è ancora in fase di costruzione, ma è in fase di autorizzazione. Un importante traguardo è stato raggiunto lo scorso anno con l'attivazione, nella provincia di Shandong (Cina), di un reattore ad alta temperatura raffreddato a gas della taglia di 200 MW. Il primo reattore raffreddato ad acqua dovrebbe entrare in funzione nella provincia di Hainan (Cina) nell'anno 2026.



Greenpeace Italia

Greenpeace Italia ha evidenziato che la realizzazione di piccoli reattori modulari (SMR) per tagliare i costi – producendoli in serie – è un'opzione ad oggi non dimostrabile. Si tratterebbe

di reattori più piccoli – generalmente si fa riferimento a taglie fino a 300 MW – e nella gran parte dei casi con tecnologia esistente; pertanto, per produrre la stessa quantità di energia di un EPR (1650 MW), sarebbe necessario costruirne sei.

Nel documento si sottolinea che un'analisi degli SMR necessari per essere economicamente competitivi con il nucleare convenzionale è dell'ordine di almeno diverse centinaia se non qualche migliaio. La principale startup americana impegnata nello sviluppo degli SMR non solo non è riuscita in 16 anni a costruire il primo prototipo, ma ha abbandonato il progetto e lo scorso novembre è stata chiamata in causa con una *class action* dagli investitori per dichiarazioni sociali false.

L'Accademia Nazionale delle Scienze degli Stati Uniti ha recentemente analizzato le diverse tipologie di SMR proposti e ha concluso che, in termini di produzione di rifiuti nucleari, i piccoli reattori ne produrrebbero da almeno il doppio a 30 volte.

WWF Italia

Nel corso dell'audizione del 9 aprile 2024, la responsabile clima ed energia di WWF Italia, Mariagrazia Midulla, ha evidenziato che i piccoli reattori modulari (SMR), che secondo la definizione dell'Agenzia internazionale per l'energia atomica (IAEA) sono quelli sotto i 300 MW di potenza, rappresentano probabilmente oggi uno dei temi maggiormente toccati nel dibattito sul nucleare. Occorre precisare, da subito, a suo avviso, che di questi impianti, in realtà, si parla da moltissimi anni, come evidenzia non solo una certa letteratura tecnica, ma anche la stessa storia dei reattori nucleari: non si tratta cioè necessariamente di una tecnologia rivoluzionaria. Tuttavia, malgrado ingenti investimenti, in molti Paesi del mondo (es. Stati Uniti, Canada, Regno Unito, ma anche Cina, ecc.) ad oggi i risultati appaiono non in linea con le aspettative. Nel mondo esistono infatti decine di potenziali progetti di SMR, ma ancora nulla che abbia una concreta valenza sul piano commerciale, cioè realmente operativi e replicabili su vasta scala. Ma forse ancora di più, dal punto di vista tecnico, quello che appare evidente è che nessuno dei progetti in questione ha ancora mai risolto i problemi che affliggono il nucleare tradizionale. Dal punto di vista economico, quello che emerge è che i costi saranno anche superiori rispetto a quelli già troppo alti del nucleare tradizionale. Per il problema noto come economia di scala; occorre, infatti, non tanto considerare il costo dell'impianto, ma quello del MWh prodotto: si stima che un SMR da 200 MW costerà il 40 per cento di un impianto tradizionale da 1.000 MW, ma genererà solo il 20 per cento dell'elettricità, pertanto avrebbe un costo specifico circa doppio. I costi saranno piuttosto alti con LCOE (*Levelized Cost of Energy*) mediani che partono da 116 USD/MWh per gli HTR e da 218 USD/MWh per i PWR.

Tutti i dati dimostrano quindi come l'opzione SMR sia assai poco percorribile; del resto anche in Paesi come la Cina o la Russia, che dovrebbero essere quelli più avanti su questi

progetti, non vi sono evidenze del raggiungimento di una reale scala commerciale degli impianti.

Gianni Silvestrini, direttore scientifico di Kyoto Club

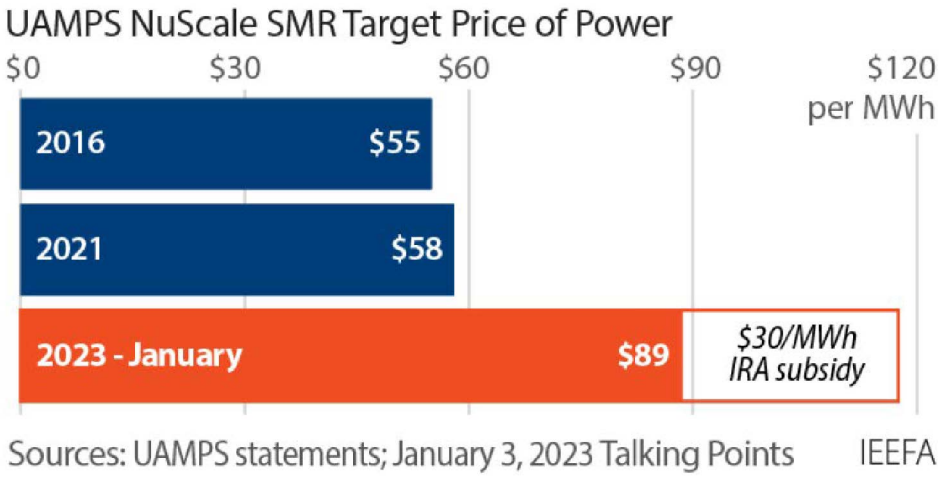
Nel corso dell'audizione del 24 settembre 2024, è stato innanzitutto fatto riferimento al progetto NuScale, segnalando che tale progetto che è in una fase di avanzamento maggiore, ha avuto l'autorizzazione degli Stati Uniti e poi si è bloccato perché i costi erano saliti alle stelle e non ha avuto le risorse economiche necessarie per proseguire. I costi si sono quindi alzati moltissimo, e lo stesso vale per gli altri progetti di SMR.

Anche per gli SMR si sono verificati forti incrementi dei costi rispetto alle previsioni iniziali

Figure 2: Projected Cost Increases for Proposed U.S. SMRs

Source: IEEFA calculations based on public data for each of the projects converted to 2023-year U.S. dollars. For example, see the GE Hitachi website, Four reactors could cost Saskatchewan $12 to $20 billion,, X-Energy and ARES Acquisition Corporation Announce Strategic Update, Georgia Power Company's monthly and Quarterly Reports to the Georgia Public Service Commission on construction of the Vogtle Nuclear Project and IEEFA reports on NuScale.

Sostanzialmente, anche con riguardo a queste nuove realtà, si può dire che, ferma restando l'opportunità di proseguire con la ricerca e l'innovazione, non può non rilevarsi che i costi sono tuttora molto elevati. Come già detto, il progetto NuScale aveva ottenuto l'autorizzazione a livello governativo, ma anche in questo caso i costi sono aumentati moltissimo, tanto che alcuni finanziatori si sono tirati indietro.



Come sopra accennato, anche relativamente agli SMR esistenti o in costruzione in Cina, in Russia e in Argentina, si evidenzia che i costi sono triplicati, se non addirittura quadruplicati o sestuplicati.

Walter Ambrosini, professore ordinario di Impianti Nucleari presso l'Università degli studi di Pisa

Nel corso dell'audizione del 24 settembre 2024, è stato rilevato che l'Università di Pisa ha aderito alla European Industrial Alliance sugli SMR ed è stato evidenziato che questi ultimi ereditano l'esperienza dai reattori ad acqua leggera e sono proprio per questo una grande speranza in questo settore.

Ansaldo Nucleare S.p.A.

Nel corso dell'audizione del 3 ottobre 2024, l'amministratore delegato di Ansaldo Nucleare S.p.A., Daniela Gentile, ha fatto presente che gli *Small Modular Reactors* rappresentano una soluzione concreta nel medio termine. Essi rappresentano l'evoluzione delle tecnologie nucleari esistenti con un modello di *business* innovativo, che associa la componente elettrica da energia nucleare a quella termica a supporto della decarbonizzazione delle industrie energivore. Il percorso nucleare attuale prevede nel breve termine la realizzazione di *Small Modular Reactors,* di dimensioni più contenute, di circa 300 megawatt, in collaborazione anche con altre aziende, tra cui l'Enel, al fine di individuare la migliore soluzione tecnologica che possa consentire la realizzazione con un orizzonte temporale a partire dai primi anni del prossimo decennio. A questa generazione seguiranno, intorno al 2040, i reattori della IV generazione, che potranno operare a temperature più alte, efficienze superiori, e con un combustibile ottenuto a partire da quello esausto delle generazioni precedenti.

Auspicabilmente, la staffetta si potrà completare dopo il 2050 con l'avvio della produzione di energia elettrica attraverso la fusione nucleare.

Federacciai

Nell'audizione del 3 ottobre 2024, il presidente di Federacciai, Antonio Gozzi, ha evidenziato che Federacciai segue con attenzione lo sviluppo delle tecnologie SMR (*Small nuclear Reactor*) e MMR (*Micro Modular Reactor*). Questa tecnologia ha la grande novità di prevedere reattori più piccoli, reattori da 300 megawatt, che per alcuni distretti industriali potrebbero essere assolutamente adeguati. Federacciai ha dichiarato la disponibilità dei consorzi siderurgici italiani ad entrare anche nell'eventuale capitale di queste tecnologie.

Gilberto Pichetto Fratin, Ministro dell'ambiente e della sicurezza energetica

Nel corso dell'audizione del 15 ottobre 2024, il Ministro dell'ambiente e della sicurezza energetica ha rappresentato che le nuove opportunità offerte da piccoli impianti modulari, i cosiddetti *Small Modular Reactor* (SMR), presentano livelli di sicurezza di molto superiori alla grande maggioranza degli impianti attuali, ad esempio senza la necessità dell'intervento umano in caso di malfunzionamento, poiché rispondono alle più stringenti richieste da parte degli organismi internazionali e, in aggiunta, hanno dimensioni molto ridotte.

Sono stati analizzati e valutati sia i piccoli reattori di III generazione avanzata, gli SMR propriamente detti, sia i piccoli reattori di IV generazione, nel qual caso definiti AMR (*Advanced Modular Reactors*), reattori modulari avanzati, in alcuni casi talmente ridotti da essere chiamati «micro-reattori».

Le relazioni conclusive della piattaforma saranno la base solida per l'elaborazione e la possibile adozione da parte del Governo di un programma nazionale per un nucleare sostenibile, sia per il medio termine, nel campo dei piccoli reattori modulari, sia nel lungo termine, sulla fusione.

Una quota di energia nucleare, nel *mix* energetico italiano, va quindi considerata non in antagonismo ma a supporto del pieno dispiegamento delle rinnovabili, senza dover ricorrere a sovradimensionamenti del sistema, delle infrastrutture elettriche e, soprattutto, degli impianti di accumulo di energia.

Nello scenario *Net Zero* al 2050, in assenza di nucleare, tale quota è soddisfatta da tutta una serie di impianti programmabili, tra cui i grandi bacini idroelettrici, gli impianti di bioenergia, gli impianti di generazione a gas, che dovranno, però, essere associati a sistemi di cattura e sequestro della CO_2 prodotta, il cui costo andrà quindi a sommarsi al costo primario di produzione di energia.

Si ipotizza che i costi previsti dei primi SMR siano più bassi dei 3 miliardi da taluno stimati. I tecnici affermano che non superano i 2,5 miliardi, ma si tratta in ogni caso del costo del primo reattore. C'è stata una conferenza di EDF in cui addirittura si è stimato che il costo

scende a 2 con una produzione base di 15.

La commercializzazione in serie è uno degli elementi fondamentali per tutti i progetti di SMR, e porterà a una diminuzione dei costi, come accadde con i pannelli fotovoltaici, prima che l'economia di serie, favorita anche dall'incentivo statale, portasse il loro prezzo a scendere. È anche grazie a quello se oggi l'energia fotovoltaica ha dei costi di produzione relativamente bassi. In tutto questo non bisogna sottovalutare la previsione di risparmio di 17 miliardi di euro, calcolato dallo scenario nucleare del PNIEC.

Anima Confindustria meccanica varia

Nel corso dell'audizione del 28 marzo 2024, il delegato per l'Energia di ANIMA Confindustria, Alberto Zerbinato, ha sottolineato che una soluzione che ANIMA Confindustria supporterebbe, per l'Italia, potrebbe essere quella degli impianti nucleari di piccola dimensione, come gli SMR (*Small Modular Reactors*), i quali offrono vantaggi in termini di costi e tempi di realizzazione. Gli SMR promettono, infatti, una produzione competitiva, con costi di costruzione stimati tra 2.000 e 3.000 € per kW e tempi di costruzione ridotti a 3-4 anni, contro i 7-10 anni degli impianti tradizionali. Ad oggi, i costi di produzione del kWh nucleare sono elevati (dati provenienti dalla Francia), a causa dell'iper-regolamentazione, dell'inattività industriale e dalla grandezza degli impianti.

Per abbattere questi costi, ed essere "pronti" in tempi ragionevoli, auspica pertanto un *mix* energetico composto da energia nucleare prodotta da impianti di piccola dimensione, altamente industrializzati, in un assetto cogenerativo evoluto: valorizzazione termica e produzione di idrogeno di *back-up***.**

Legambiente

Nel corso dell'audizione del 14 gennaio 2025, la responsabile energia di Legambiente, Katiuscia Eroe, ha evidenziato che gli *Small Modular Reactor,* ossia le centrali fino a 300 MW – 3 delle 4 centrali presenti in Italia avevano potenze più basse di tale potenza – e gli *Advaced Modular Reactor* non esistono in commercio. Ad oggi esistono due impianti, uno in Cina e uno in Russia, su cui non si hanno grandi informazioni. Per il resto si tratta di circa 80 progetti basati su tecnologie conosciute e di cui si dovranno valutare gli esiti in termini di costi e tempistiche. A tal proposito, vale la pena ricordare che la Nuscale Power americana, che aveva promesso costi di generazione elettrica intorno ai 60 dollari a MWh, arrivati poi a 160, oggi è fallita e gravata da una *class action*.

QualEnergia

Nel corso dell'audizione del 14 gennaio 2025, Sergio Ferraris, direttore responsabile di QualEnergia, ha rappresentato che un SMR da 250 MW, per esempio, genera un quarto dell'energia di un reattore da 1.000 MWe, ma richiede più del 25 per cento dei materiali e del

personale. Ciò rende i costi di gestione e manutenzione per MWe superiori a quelli di un grande reattore.

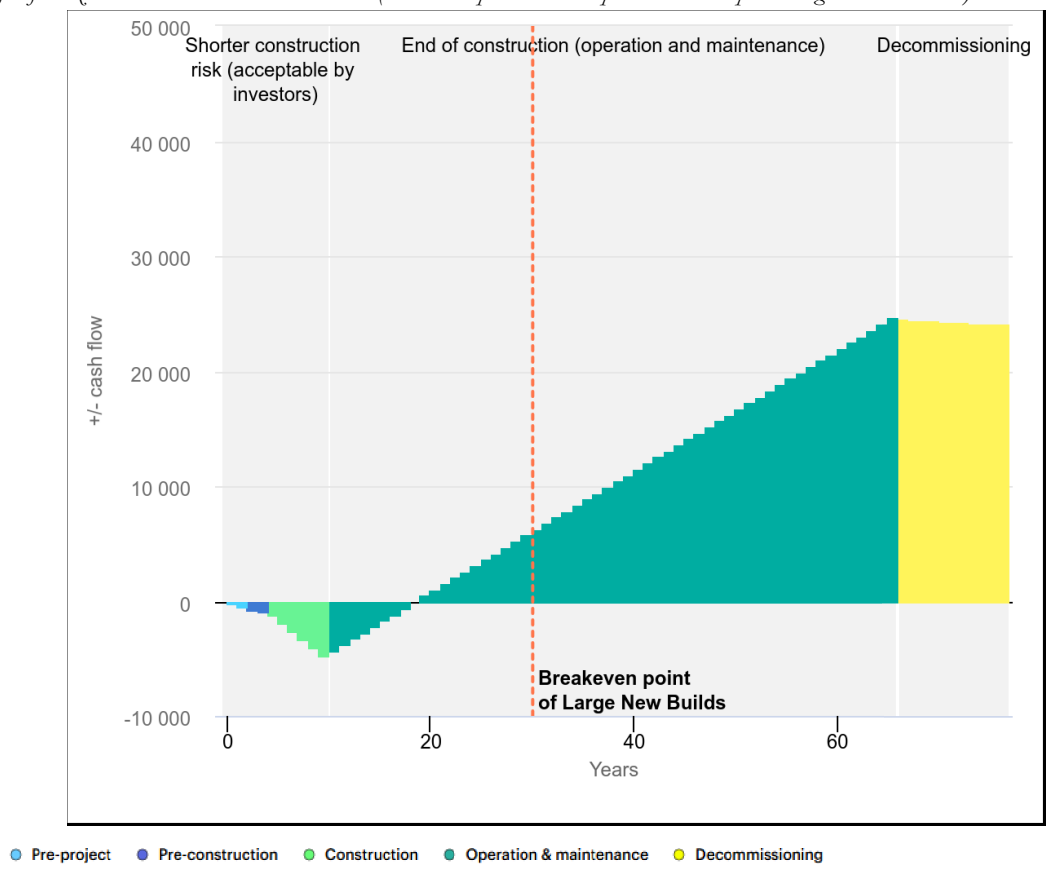
Si è poi soffermato sugli studi economici evidenziando che ogni studio economico indipendente ha concluso che l'energia prodotta da SMR è più costosa rispetto ai reattori convenzionali. L'IEA e l'OECD Nuclear Energy Agency stimano che il costo energetico degli SMR sia del 50-100 per cento superiore rispetto ai reattori tradizionali a parità di potenza.

Le riduzioni dei costi basate sulla produzione di massa sono, a suo avviso, puramente teoriche, mentre l'aumento dei costi dovuto alla scala ridotta è certo. Il rapporto Atkins per il Governo britannico afferma che il primo SMR nel Regno Unito costerebbe il 30 per cento in più rispetto a un grande reattore a parità di potenza.

Istituto Bruno Leoni

Nel corso dell'audizione del 22 gennaio 2025, il direttore del settore ricerche e studi dell'Istituto Bruno Leoni, Carlo Stagnaro, ha segnalato che la strada maestra da seguire in tema di energia nucleare è quella della riduzione dei costi della tecnologia. Sotto questo profilo, la novità potenzialmente più interessante viene dai c.d. *Small Modular Reactors*, reattori cioè di piccole dimensioni, che possono essere prodotti "in serie" e realizzati "in fabbrica", anziché "in sito". Ciò favorisce tanto la riduzione dei costi, quanto dei tempi, quanto dei rischi finanziari (Osimani e Tripputi, 2022).

Profilo finanziario dell'investimento in un SMR (assumendo parità di costo per MW con impianti di grandi dimensioni)



L'Agenzia internazionale per l'energia svolge un esercizio interessante, assumendo la parità di costo su base unitaria con gli impianti di grandi dimensioni, e mostra come la più ridotta dimensione (e dunque il minore fabbisogno di capitali) possa facilitare l'investimento in nuovi impianti nucleari di piccole dimensioni anche nei contesti concorrenziali e liberalizzati.

Francesco Celani, ricercatore emerito di fisica multidisciplinare

Nel corso dell'audizione del 28 gennaio 2025, è stato evidenziato che i vantaggi principali degli SMR sono: tempi brevi di costruzione ("in serie") e messa in opera, pari a 3 o 4 anni; riduzione del grave problema delle scorie ad alta attività che vengono "bruciate" dal reattore (secondo alcune valutazioni, si passerebbe dagli attuali 200.000-800.000 anni di tempo di decadimento a 300-500 anni). Ha tuttavia rappresentato che purtroppo ad oggi non esistono dal punto di vista commerciale.

RINA S.p.A.

Nel corso dell'audizione del 28 gennaio 2025, Andrea Bombardi, vicepresidente esecutivo per lo sviluppo del mercato globale di RINA S.p.A., ha segnalato che la reintroduzione del nucleare in Italia dovrebbe avvenire, in primo luogo, attraverso i piccoli reattori modulari (SMR) di III generazione e, quando la tecnologia sarà matura, anche di IV generazione, continuando a investire nella ricerca per la fusione. Gli SMR rappresentano una vera e propria rivoluzione della metodologia progettuale e costruttiva, con grandissimi benefici sia dal punto di vista della sicurezza che da quello economico.

Confederazione nazionale dell'artigianato e della piccola e media impresa – CNA e Confartigianato imprese

Nell'audizione del 28 gennaio 2025, Barbara Gatto, responsabile del dipartimento delle politiche Ambientali della Confederazione nazionale dell'artigianato e della piccola e media impresa (CNA), e Valentina Bagozzi, responsabile U.O. mercato, energia e *utilities* di Confartigianato imprese hanno rilevato che, per valutare attentamente le opportunità di sviluppo della fonte nucleare, una volta a regime, è utile evidenziare che i costi di produzione dell'energia nucleare in Europa sono di circa 170 $/MWh – a fronte dei 50$/MWh delle rinnovabili – e che la tecnologia su cui punta il PNIEC – gli *Small Modular Reactor* (SMR) di potenza fino a 300 MW – risulterebbe ad oggi più costosa, sia complessivamente che in termini di costi per unità di capacità installata, rispetto ai grandi reattori. Gli studi più recenti, effettuati sui progetti in corso a livello internazionale, affermano che i piccoli reattori perderebbero in termini di economie di scala, determinando costi di generazioni più alti. Va menzionato il fatto che negli Stati Uniti – Paese di consolidata tradizione nuclearista – uno *Small Modular Reactor* fino a 460 MW è costato circa 9 miliardi di dollari.

Francesco D'Errico, professore ordinario di ingegneria nucleare presso l'Università di Pisa

Nell'audizione del 28 gennaio 2025, è stato evidenziato che negli ultimi anni, l'energia nucleare ha vissuto una significativa evoluzione tecnologica, con lo sviluppo dei reattori modulari piccoli (*Small Modular Reactors*, SMR) e dei reattori modulari avanzati (*Advanced Modular Reactors*, AMR). Gli SMR, caratterizzati da dimensioni ridotte e design integrato e modulare, offrono maggiore flessibilità e adattabilità alle diverse esigenze energetiche e sono concepiti per garantire maggiore efficienza e sicurezza. Gli AMR introducono tecnologie innovative come i reattori a piombo fuso, quelli a sali fusi, o i reattori raffreddati a gas ad alta temperatura. Queste evoluzioni puntano a rendere il nucleare una fonte energetica più accessibile e sostenibile, ma anche a rispondere alle crescenti preoccupazioni legate alla sicurezza, alla protezione e alle salvaguardie nucleari.

Gli SMR e gli AMR rappresentano quindi avanzamenti significativi nella sicurezza nucleare, grazie a design intrinsecamente più sicuri e all'impiego di sistemi passivi per ridurre

drasticamente il rischio di incidenti catastrofici. Ad esempio, molti AMR utilizzano la gravità o la convezione naturale per raffreddare il nucleo in caso di emergenza, eliminando la necessità di interventi umani o di alimentazione elettrica esterna.

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

Nell'audizione del 30 gennaio 2025, il direttore del dipartimento nucleare dell'Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile – ENEA, Alessandro Dodaro, ha rilevato, riguardo al potenziale industriale italiano nel settore nucleare, che grazie alle attività di ricerca e sviluppo in materia di fusione nucleare, e alle collaborazioni internazionali con i Paesi che utilizzano la fissione come fonte energetica, in Italia è presente una filiera industriale molto sviluppata. Nel settore dei reattori refrigerati ad acqua (i cosiddetti SMR - *Small Modular Reactors*) le aziende nazionali partono con un *gap*, in quanto si tratta di "miniaturizzare" reattori già in funzione, mentre nei paesi dove già esistono reattori di grandi dimensioni le imprese si trovano in posizione di vantaggio.

Relativamente ai costi e ai benefici, si può ipotizzare, a suo avviso, che i costi di realizzazione dei primi reattori di piccola taglia potranno essere piuttosto alti, con ripercussioni sul costo del kWh prodotto. Tale costo, però, è destinato a ridursi, fino ad essere competitivo con quello derivante da fonti rinnovabili, con il progressivo aumento dei reattori installati grazie alla produzione in serie dei componenti. Inoltre, questi reattori sono caratterizzati da sistemi di sicurezza di livello superiori a quelli di grandi dimensioni e, nel ciclo di funzionamento, non emettono gas climalteranti.

Istituto nazionale di fisica nucleare - INFN

Nel corso dell'audizione del 30 gennaio 2025, il presidente dell'Istituto nazionale di fisica nucleare (INFN), Antonio Zoccoli, ha sottolineato che lo sviluppo in corso di reattori di taglia medio piccola implica un differente approccio alla produzione dell'energia da fonte nucleare. In prima istanza, i reattori indicati come *Small Modular Reactors* (SMR) presentano potenze contenute (al massimo 300 MW), sono realizzati in forma modulare, possono cioè essere realizzati industrialmente e posizionati direttamente sul sito di produzione, minimizzando i tempi di installazione. Sono attualmente in fase di sviluppo circa 80 progetti di reattori SMR, ma nessuno di questi è ancora sufficientemente maturo da poter consentire la realizzazione di uno di questi reattori in tempi brevi. Indicativamente, è immaginabile che, per giungere ad una fase di piena realizzazione dei progetti SMR, saranno necessari dai 5 ai 10 anni.

L'approvvigionamento di materiale fissile per i reattori commerciali della presente generazione, e equivalentemente per i nuovi SMR, comporta una serie di passaggi, che partono dalle miniere uranifere e si concludono con l'arricchimento isotopico e la preparazione del combustibile nucleare.

Queste fasi devono essere considerate parti integranti della filiera del ciclo del combustibile. Le miniere di uranio oggi operative sono distribuite in varie regioni del mondo, con alcuni paesi che hanno una maggiore capacità produttiva, ad esempio Australia e Russia. Anche in Italia esistono siti che presentano caratteristiche idonee all'estrazione di uranio, utilizzati in passato, ma oggi sono dismessi e inutilizzati.

Va considerato però che le miniere di uranio presentano problematiche non trascurabili dal punto di vista del loro impatto ambientale. La capacità di arricchimento del materiale uranifero è al momento, almeno tecnologicamente, basata sulle tecniche di ultracentrifugazione, e queste macchine sono attualmente prodotte da URENCO, azienda a capitale inglese, olandese e tedesco, e dalla Federazione Russa.

Sull'aspetto della sicurezza, i reattori di nuova generazione e, a maggior ragione, quelli delle generazioni future, presentano una elevata sicurezza intrinseca e quindi sono sostanzialmente meno soggetti a incidenti gravi con dispersione di materiale radioattivo. Evidenzia, al riguardo, che un incidente come quello accaduto alla centrale nucleare di Chernobyl non sarebbe oggi possibile utilizzando le tecnologie disponibili.

Conflavoro PMI

Nel corso dell'audizione del 30 gennaio 2025, il delegato nazionale allo sviluppo di impresa e all'internazionalizzazione di Conflavoro PMI, Enrico Fantini, ha sottolineato, a proposito delle nuove tecnologie nucleari, che una riflessione a parte meritano certamente i reattori modulari di piccola scala (SMR, *Small Modular Reactors*) in termini di:

- sicurezza intrinseca, considerato che gli SMR utilizzano sistemi passivi per il raffreddamento e la gestione dei reattori, riducendo il rischio di incidenti gravi;
- flessibilità operativa, atteso che la loro configurazione modulare consente una produzione scalabile, adattabile alle esigenze locali, con tempi di costruzione significativamente ridotti rispetto ai reattori tradizionali;
- ridotto impatto ambientale, alla luce del minore consumo di acqua per il raffreddamento e possibilità di essere integrati in reti energetiche miste.

Westinghouse electric company LLC

Nell'audizione del 4 febbraio 2025, Fabio Presot, responsabile commerciale di Westinghouse electric company LLC, e Fausto Franceschini, esperto di combustibile nucleare e di progettazione di reattori di Westinghouse electric company LLC) hanno evidenziato che, per quanto riguarda gli SMR (*Small Modular Reactors*), è in corso lo sviluppo del reattore AP300, da circa 300 megawatt, che occupa uno spazio più piccolo di quello di un campo da calcio, e si basa sulla stessa tecnologia semplificata modulare di III generazione avanzata, come il più

grande AP1000, già autorizzato in termini di *licensing*, con un ciclo di vita di più di ottant'anni, che si baserà sulla stessa catena di fornitura dell'unità più grande.

Si ritiene che si siano poste tutte le condizioni per evolvere da *decommissioning* a *recommissioning*.

D'ora in avanti, a suo avviso, si potrà pensare all'utilizzo dei siti nucleari esistenti, a partire da quello di Trino, come siti già dotati infrastrutturalmente per potenziali nuove installazioni di SMR come AP 300, o di reattori di grande taglia come gli AP 1000.

Edison S.p.A.

Nell'audizione del 4 febbraio 2025, il direttore strategia, sviluppo *corporate* e innovazione di Edison S.p.A., Lorenzo Mottura, ha fatto presente che gli *Small Modular Reactors* sono reattori di piccola scala, che offrono una capacità di potenza pari a 400 megawatt, quindi metà di un impianto a gas e un ottavo delle grandi centrali nucleari, che consentono di poter avere ridotti tempi di costruzione grazie al concetto della modularità e della standardizzazione. Per Modularità si intende che i reattori sono costruiti e testati in moduli in fabbrica, moduli che poi sono portati sull'impianto e assemblati.

A questo si aggiunge una maggiore accettabilità, perché, di fatto, l'area di emergenza della centrale è il sedime, ossia il perimetro della centrale, nonchè una maggiore economicità perché, oltre a ridotti tempi di costruzione, i reattori hanno una durata di vita di sessant'anni. In più, differentemente dalle grandi centrali, grazie alla loro taglia, possono essere utilizzati come *repowering* delle centrali esistenti. A ciò si aggiunga che gli *Small Modular Reactors* possono produrre, oltre a elettricità, calore e idrogeno. Infine, essi sono modulabili, ovvero possono ridurre il carico con una certa velocità, per seguire la produzione delle rinnovabili. Questi reattori saranno disponibili commercialmente a partire dall'inizio degli anni Trenta.

Quanto ai benefici, osserva che il primo è quello di decarbonizzare il sistema energetico e di contribuire alla competitività di industria e cittadini. Rappresentano la perfetta comprementarità con le fonti rinnovabili, che invece non sono programmabili. Riducendo i costi del sistema, contribuiscono a ridurre il prezzo finale dell'energia, che si compone del costo di produzione, ma anche di tutti gli oneri di sistema, che i clienti finali pagano. Infine, permettono di decarbonizzare i settori industriali *hard-to-abate*, contribuiscono alla sicurezza energetica e all'indipendenza tecnologica, perché consentono di ridurre significativamente la dipendenza dal gas e, quindi, la volatilità dei prezzi, indotta dagli eventi geopolitici che influiscono sul costo del gas. Hanno bisogno di un decimo delle materie critiche rispetto alle fonti rinnovabili a parità di energia prodotta, e si basano su una tecnologia che è in fase di sviluppo in Europa. Contribuiscono, inoltre, allo sviluppo economico e industriale del Paese perché possono valorizzare le competenze che esistono nella *supply chain* italiana, sia come *know-how,* sia come realizzazione, questo sia per la domanda interna italiana sia per

l'*export*. Il contributo stimato in termini di PIL è pari a 50 miliardi di euro di valore aggiunto dal 2035 al 2040 e 120 mila posti di lavoro, tra indotti e diretti, che possono essere abilitati.

Rappresenta le due modalità di utilizzo degli SMR. La prima è costituita dal modo classico di utilizzo delle centrali nucleari: un funzionamento solo elettrico. Le centrali producono quindi energia elettrica, l'energia elettrica viene messa in rete e va a beneficio, a livello nazionale, di industria e cittadini. Ciò detto, le implicazioni sul territorio si riflettono sulla necessità di trovare siti dotati di requisiti adatti per gli SMR. Il primo è la disponibilità di acqua, poca in realtà, perché è sufficiente l'acqua di un impianto CCGT (*combined cycle gas turbine*) per far funzionare un SMR. Il secondo requisito riguarda la sismicità. L'unica zona sismica esclusa è quella di livello 1, quindi gran parte dell'Italia risulterebbe in realtà adatta agli SMR, dato che il coefficiente è pari a 0,25 g, e quindi rientrante nel limite. Il terzo requisito è la disponibilità di una rete elettrica. Per quelli solo elettrici si può immaginare, per esempio, di riutilizzare i vecchi siti nucleari.

La parte più interessante, che li differenzia dai grandi reattori nucleari, è la cogenerativà, resa possibile dalla sicurezza. Quindi, si può immaginare di realizzare degli SMR che, oltre a produrre energia elettrica e a metterla in rete, producono i vettori di calore che possono aiutare la *decarbonation* del fabbisogno termico dei distretti industriali, quindi produrre vapore.

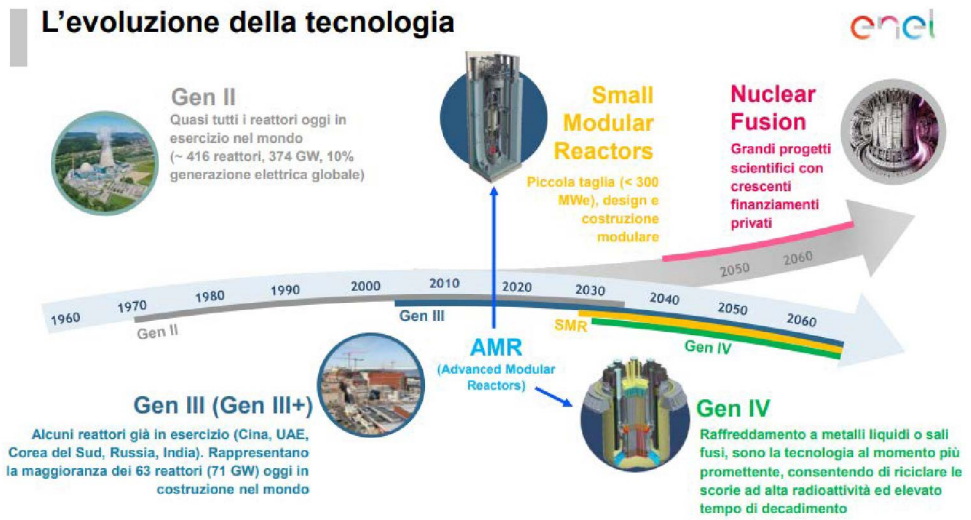
Altro elemento importante, in termini di accettabilità, è la minimizzazione della gestione dei rifiuti nucleari. Questo è possibile grazie alla complementarietà tra SMR e AMR (*Advanced Modular Reactors*), ovvero reattori di III generazione *plus* (SMR) e reattori di IV generazione (AMR), come i reattori al piombo, che sono reattori nucleari di piccola taglia, con un processo di fissione che è in grado di utilizzare, come combustibile, il combustibile esausto delle generazioni precedenti.

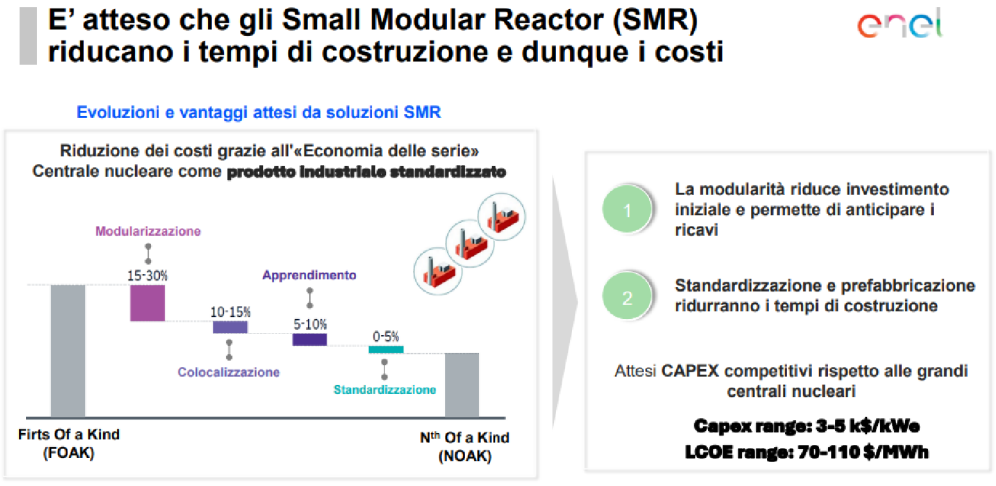
ENEL S.p.A.

Nell'audizione del 4 febbraio 2025, Nicola Rossi, responsabile innovazione di ENEL S.p.A., e Fabrizio Iaccarino, responsabile affari istituzionale Italia di ENEL S.p.A. hanno rappresentato che gli *Small Modular Reactors* (SMR) costituiscono un nuovo modello che si basa non più su un'economia di scala, ma su un'economia di serie, quindi capacità di realizzare componentistica *standard*, prefabbricabile, standardizzabile e modulare, che, attraverso economie di serie, consente di ridurre i costi. Quindi, si può immaginare che il primo reattore avrà un costo tendenzialmente elevato ma, con l'affermarsi dei numeri, questo costo si ridurrà sensibilmente, fino ad arrivare a un *target* di 3-5 milioni di euro a megawatt come costo capitale, che è un costo che consente di generare elettricità.

Ritengono che l'opzione migliore da percorrere sia quella degli SMR di III generazione, per ragioni di maturità tecnologica nonchè legate al fatto che il modello implementativo ha la capacità di superare le criticità che si sono verificate negli ultimi impianti di grande taglia realizzati.

Valutano necessario, però, che questo percorso venga accompagnato da un supporto da parte degli *stakeholder* istituzionali, soprattutto nella sua prima fase, in cui, ovviamente, i primi impianti dovranno essere in qualche maniera supportati e accelerati.

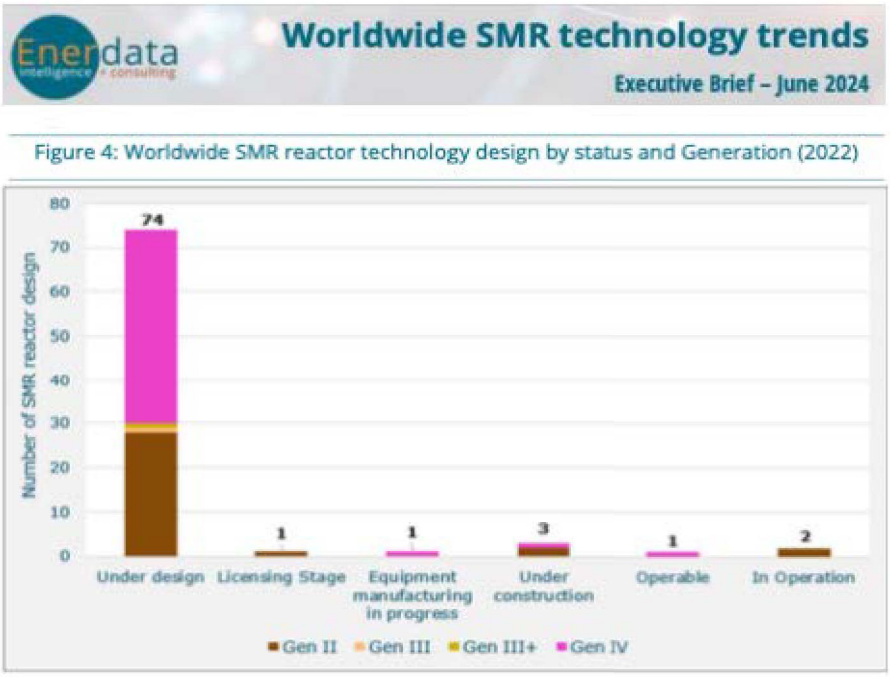




Fondazione per lo sviluppo sostenibile

Nell'audizione del 6 febbraio 2025, il responsabile clima ed energia della Fondazione per lo sviluppo sostenibile, Andrea Barbabella, ha evidenziato che oggi non sono disponibili reattori di piccola taglia di IV generazione, esiste solo una promessa della loro effettiva

realizzazione. Quindi, a suo avviso, affidare le sorti del clima, e perciò dell'umanità, ad una promessa non testata dai fatti può risultare un rischio da correre eccessivo.



Simic S.p.A.

Nell'audizione del 19 febbraio 2025, la rappresentante di Simic S.p.A., Marianna Ginola, ha rappresentato che il comparto della fissione sta vivendo una vera rivoluzione grazie allo sviluppo dei *Small Modular Reactors* (SMR) e degli *Advanced Modular Reactors* (AMR). I primi SMR, raffreddati ad acqua pressurizzata, sono ormai pronti a transitare dalla fase sperimentale a quella commerciale, con previsioni di immissione sul mercato già a partire dai primi anni del 2030. A livello europeo, nazioni quali Francia, Polonia, Romania, Repubblica Ceca e Svezia stanno investendo in programmi dedicati agli SMR/AMR, riconoscendone il potenziale strategico. Parallelamente, il Regno Unito ha già attivato una serie di iniziative volte a semplificare le procedure autorizzative e ad attrarre investimenti, mentre negli Stati Uniti e in Canada il settore nucleare è in piena rinascita, favorito da politiche di sostegno alla ricerca e sviluppo e dalla presenza di un solido ecosistema industriale. Questi sforzi internazionali sottolineano l'importanza di un approccio coordinato e di investimenti mirati per garantire la competitività del nucleare sostenibile a livello globale. Finora, grazie alla partecipazione a progetti internazionali, molte aziende italiane hanno potuto mettere in gioco le proprie

competenze, investendo in formazione, ricerca, sviluppo ed innovazione tecnologica, Tuttavia, per mantenere la competitività sui mercati mondiali, le imprese Italiane devono continuare a innovare, crescere e generare opportunità occupazionali per le nuove generazioni.

Massimiliano Fratoni, professore associato presso il dipartimento di ingegneria nucleare dell'Università della California

Nel corso dell'audizione del 19 febbraio 2025, è stato rilevato che il vantaggio derivante dagli SMR è costituito soprattutto dalla possibilità di costruire più velocemente e a più basso costo. Per arrivare, per esempio, a 1.000 megawatt, è possibile costruire tre o quattro reattori SMR. Dividere il costo su quattro reattori rende la costruzione più veloce e potenzialmente più facile.

Con reattori più piccoli, l'altro vantaggio potenziale è quello che il "termine di sorgente", che è il termine su vengono poi effettuate tutte le ipotesi su situazioni di incidente, è più piccolo, semplicemente perché c'è meno combustibile. Nel reattore ci sono meno prodotti di fissione e quindi, in caso di rilascio, in caso di incidente, il cosiddetto termine di sorgente sarebbe minore.

Riccardo De Salvo, membro dell'accademia italiana di ingegneria e tecnologia (ITATEC)

Nell'audizione del 19 febbraio 2025, è stato evidenziato che la produzione ad alta temperatura nelle industrie è realizzata bruciando petrolio, carbone e ora gas. La stessa potrebbe essere garantita con piccoli reattori, che devono essere sicuri, ultrasicuri o intrinsecamente sicuri, al fine di installarli direttamente in fabbrica per fornire calore a 600 e 900 gradi, ma in futuro a temperature anche più alte. Ciò consentirebbe di sostituire i bruciatori a gas. Per raggiungere tale obbiettivo, i reattori dovrebbero, non soltanto essere piccoli, trasportabili, posizionabili in fabbrica, e assolutamente sicuri ma dovrebbero essere sostanzialmente automatici, perché non potendo ragionevolmente essere affidato a un'*équipe* dedicata il loro costante controllo in presenza, gli stessi dovrebbero essere monitorati e gestiti da remoto.

Osserva che alcuni dei reattori di IV generazione stanno già andando in quella direzione, fra questi ci sono quelli che funzionano con particelle TRISO (*tristructural isotropic particle fuel*). Dal punto di vista tecnico fa presente che tali particelle possono essere descritte come perline di un millimetro di diametro, al cui centro si trova il combustibile. All'interno delle particelle esiste una pellicola di 35 micron che sigilla anche tutti gli scarti nucleari, per cui le particelle non si rompono e non c'è possibilità di disperdere nell'ambiente materiale inquinante. Tuttavia, esiste la possibilità che le particelle si disperdano nell'ambiente e, per evitare questo inconveniente le particelle vengono inserite in cartucce di carburo di silicio

e così completamente incapsulate. La ceramica di cui sono composte tali cartucce resiste fino a ben oltre 1.800 gradi garantendo pienamente la sicurezza,

Adolfo Urso, Ministro delle imprese e del *made in Italy*

Nell'audizione del 26 febbraio 2025, il Ministro delle imprese e del *made in Italy* ha sottolineato che le generazioni III e III+ (avanzata) costituiscono l'evoluzione degli impianti diffusi in passato, con una vita operativa fino a sessant'anni. Gli *Small Modular Reactors* (SMR), in particolare quelli con potenza compresa tra 10 e 300-400 megawatt, adottano, su scala ridotta, la tecnologia dei reattori ad acqua leggera. Essi sono modulari e possono essere costruiti in maniera standardizzata, permettendo una riduzione dei costi e tempi di costruzione, nonché una maggiore sicurezza operativa. Possono inoltre essere collocati direttamente presso i siti industriali, grazie alla loro flessibilità.

Fusione nucleare

Greenpeace Italia

Nel documento depositato da Greenpeace Italia è stato evidenziato che, per quanto riguarda la fusione nucleare, il progetto tecnologicamente e scientificamente più rilevante a livello globale è quello di Iter, il reattore sperimentale in costruzione in Francia, cui partecipa anche l'Italia sulla base di un'ampia cooperazione internazionale. Il progetto prevedeva inizialmente che la sperimentazione della fusione sarebbe stata effettuata dal 2025 per un decennio, – ma è già stato annunciato un sostanzioso ritardo – periodo di test dopo il quale iniziare a progettarne il prototipo industriale. La sua possibile commercializzazione, secondo l'ex direttore di Iter Bernard Bigot, non sarà disponibile prima del 2060.

Le reazioni di fusione su cui si lavora sono quelle Deuterio-Trizio, due isotopi dell'idrogeno. Se il primo elemento lo si può estrarre dal mare, il secondo – radioattivo con tempi di dimezzamento di una dozzina d'anni - non esiste in natura, se non in tracce, e viene prodotto solo nei reattori nucleari ad acqua pesante (CANDU) la cui dismissione è prevista in gran parte nei prossimi dieci anni.

La questione dell'effettiva disponibilità del Trizio come combustibile per la fusione è estremamente critica, in quanto le quantità di Trizio attualmente disponibili ammontano a poche decine di kg nel mondo, sufficienti appena agli esperimenti di ITER. I fautori della fusione pensano di poter produrre il Trizio a partire da un isotopo del Litio, ma che questa opzione sia fattibile è messo in discussione da alcuni ricercatori.

Walter Ambrosini, professore ordinario di Impianti Nucleari presso l'Università degli studi di Pisa

Nel corso dell'audizione del 24 settembre 2024, è stato rappresentato che pur parlandosi spesso della fusione nucleare, è necessario osservare la *timeline* per ITER e DEMO, i due progetti più importanti a livello europeo, ma anche mondiale, per il confinamento magnetico. DEMO, che è l'impianto che dovrebbe produrre energia elettrica (ITER non la produrrà), ha un orizzonte temporale per la produzione nell'ordine nel 2060, il che significa che la fusione nucleare potrebbe difficilmente avere un impatto per la decarbonizzazione.

Un SMR di nuova generazione, secondo le stime dell'Ansaldo Nucleare e dell'EDF, costa 2 miliardi di euro. Quindi, con 20 miliardi di euro si potrebbero fare dieci SMR. Servono, invece, 35 miliardi di euro per l'eolico *off-shore*, che è costosissimo, perché si tratta ormai di più di 2 milioni di euro a megawatt, e presenta complessità tecniche molto rilevanti. Su questi numeri è necessaria a suo avviso una riflessione.

Andrew Holland, Amministratore delegato di FIA - Fusion industry association

Nel corso dell'audizione del 5 novembre 2024, è stato evidenziato che, nel dicembre del 2022, per la prima volta al mondo, la *National Ignition Facility* in California è riuscita a compiere il primo esperimento di fusione controllata in pareggio. È arrivato il momento, a suo avviso, per Paesi come l'Italia, di aggiornare le proprie leggi per accelerare la produzione di energia da fusione.

Negli Stati Uniti una nuova legge distingue la fusione dalla fissione nucleare. Questo vuol dire che le centrali di fusione verranno regolamentate negli Stati Uniti come acceleratori di particelle e non come impianti nucleari. Anche il Regno Unito ha riconosciuto queste differenze. Osserva che l'Italia dovrebbe togliere il suo divieto nazionale sui nuovi impianti nucleari, ed investire per adottare nuove tecnologie nucleari, anche garantendo che l'energia di fusione non venga trattata allo stesso modo della fissione nucleare. Comporta rischi diversi e deve essere regolamentata in modo diverso. È giunta l'ora realizzare politiche orientate al passaggio alla fusione. Le prospettive per l'industria della fusione commerciale sono enormi. I membri della FIA sono aziende che commercializzeranno la fusione. A livello di dimensioni, si tratta sia di aziende con centinaia di dipendenti e milioni di dollari di capitale che di *start-up* con pochi dipendenti. Molte di esse effettuano operazioni in Italia. La Proxima Fusion, che ha sede a Monaco di Baviera, e la Renaissance Fusion, che ha la propria sede a Grenoble, in Francia, ad esempio operano in Italia e cresceranno in Italia. Ancora, la Commonwealth Fusion Systems, un'azienda americana che ha base nelle vicinanze di Boston, anch'essa ha degli interessi in Italia.

La tempistica è, a suo avviso, molto importante. Il piano è di portare l'energia da fusione alla rete elettrica nel giro di un decennio. Negli Stati Uniti, l'amministrazione dell'ex presidente Biden ha chiesto di attuare una visione decennale audace, e risulta che l'attuale amministrazione americana sia d'accordo nel continuare questa attività. Tale processo sarà

realizzato attraverso partenariati pubblici-privati, ma bisogna capire che l'elettricità nella rete non sarà definitiva, la fornitura di energia iniziale sarà costosa e non sarà stabile, quindi non sarà un'energia definitiva. Per la fine del prossimo decennio, tra la fine degli anni '30 e l'inizio degli anni '40 di questo secolo, si potrà arrivare ad un effettivo utilizzo commerciale della tecnologia.

Proxima fusion

Nel corso dell'audizione del 14 gennaio 2025, il co-Fondatore e *Chief Operating Officer* di Proxima fusion, Lucio Maria Milanese, ha evidenziato che nonostante le sfide tecniche ancora da superare, i progressi recenti indicano che la fusione diventerà una fonte di energia commerciale nel corso degli anni Trenta. Il supporto istituzionale è indispensabile per accelerare questa transizione e per garantire che l'Italia possa beneficiare delle opportunità economiche, industriali e ambientali offerte da questa tecnologia.

La fusione non è solo una risposta alla crisi energetica ma una pietra miliare per costruire un futuro più sostenibile. Investire oggi in ricerca, sviluppo e innovazione, e supportare il nascente tessuto di impresa privata in fusione, significa non solo risolvere i problemi energetici di domani, ma anche creare occupazione qualificata, rilanciare la competitività industriale e contribuire alla *leadership* globale dell'Italia in un settore strategico.

Renexia

Nel corso dell'audizione del 22 gennaio 2025, il direttore operativo di Renexia, Paolo Sammartino, ha sottolineato che la fusione nucleare permette di avere un contenuto energetico estremamente superiore rispetto alle altre fonti, e cento volte superiore rispetto alla fissione usata oggi. Si tratta di un *driver* che ha portato tante *start-up* a generare tecnologie che attualmente sono in fase di sviluppo.

Evidenzia che la fusione si pone a metà strada tra una tecnologia di confinamento magnetico e una a puro confinamento inerziale, cercando di risolvere tutta una serie di problemi, come, ad esempio, i danni dei neutroni al *vessel*, per cui queste altre due tecnologie stanno sviluppando nuovi materiali. Un altro problema che la fusione cerca di risolvere è il cosiddetto «*tritium inventory*», ovvero la necessità di avere trizio, perché la fusione utilizza i due isotopi dell'idrogeno, il deuterio e il trizio.

Per quanto riguarda la tempistica, fa presente che la fusione sta bruciando le tappe e sta sviluppando la cosiddetta «macchina di Lawson», attualmente in assemblaggio, che dovrà dimostrare proprio il criterio di Lawson, ossia una macchina che vada a pareggio energetico. Vale a dire che la macchina produrrà tanta energia quanta è necessaria per il suo stesso funzionamento. A suo parere, nel 2030 la tecnologia in discussione potrebbe avere uno sviluppo commerciale.

In conclusione, osserva che è possibile affermare che la prova che questa tecnologia funziona effettivamente potrà aversi entro questa legislatura e si potranno vedere i frutti di questi vent'anni di sviluppo entro il 2026.

Francesco Celani, **ricercatore emerito di fisica multidisciplinare**

Nel corso dell'audizione del 28 gennaio 2025, è stato evidenziato che riguardo alla fusione esistono le seguenti tipologie:

a) "calda" con Tokamak (dal 1956, ad esempio ITER→DEMO, 20-30 anni per utilizzo; apparati similari compatti sembrano avere tempi di realizzazione più brevi 5-10 anni);
b) "calda" con Laser di potenza (circa dal 1965, realizzata in USA, usi militari, rendimento energetico negativo: 200 ingresso, 1 uscita). Dal punto di vista teorico entrambe le tipologie paiono ben comprese, esistono, tuttavia grosse difficoltà sperimentali per la realizzazione, si rileva una scarsità di Trizio (isotopo radioattivo dell'Idrogeno, praticamente artificiale) come combustibile e vi sono infine costi elevatissimi;
c) "fredda" a "Stato Solido", utilizzando il reticolo cristallino di alcuni specifici metalli e/o leghe. Il combustibile, spesso, è perfino l'economico idrogeno. Teoricamente non risulta tuttavia compresa in maniera soddisfacente. Fa presente che esistono molteplici evidenze sperimentali di "fenomeni anomali", particolarmente in situazioni di forte non-equilibrio. Vi è, a suo avviso, la necessità di migliorare la riproducibilità ed aumentare il rendimento, comunque positivo (5-60 per cento a seconda degli esperimenti e durata).

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

Nell'audizione del 30 gennaio 2025, il direttore del dipartimento nucleare dell'Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile – ENEA, Alessandro Dodaro, ha evidenziato, in riferimento ai possibili sviluppi futuri nel settore del nucleare, che la fissione nucleare è l'unica tecnologia che, consentendo un *deployment* a partire dagli anni 2030, potrebbe dare un significativo contributo, in modo complementare e sinergico con la crescita delle fonti rinnovabili, al raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione fissati al 2050 dal *Green Deal* europeo.

La fusione nucleare, le cui attività di ricerca e sviluppo devono essere supportate, ha una maturità tecnologica ancora bassa per poter considerare un suo reale contributo al raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione al 2050: il primo dimostratore, tuttora in fase di progettazione concettuale, è infatti previsto nella seconda metà del secolo.

Conflavoro PMI

Nell'audizione del 30 gennaio 2025, il delegato nazionale allo sviluppo di impresa e all'internazionalizzazione di Conflavoro PMI, Enrico Fantini, ha rappresentato che i progetti di fusione nucleare possono offrire vantaggi in termini di efficienza, sicurezza e riduzione degli impatti ambientali, a partire dalle seguenti caratteristiche che ritiene particolarmente rilevanti:

- sostenibilità ambientale: la fusione genera energia senza emissioni di gas serra e con una produzione minima di scorie radioattive a breve durata;
- risorse abbondanti: utilizza isotopi di idrogeno (deuterio e trizio), reperibili in natura o facilmente producibili;
- sfide tecnologiche: sebbene i primi impianti sperimentali (es. ITER) siano promettenti, restano da superare ostacoli significativi per la commercializzazione su larga scala, prevista non prima del 2050.

ENI S.p.A.

Nell'audizione del 30 gennaio 2025, il responsabile fusione magnetica di ENI S.p.A, Francesca Ferrazza, ha evidenziato che la fusione è il principio fisico che alimenta le stelle, come il nostro Sole. In questo processo, la fusione di due atomi leggeri, come gli isotopi dell'idrogeno (Deuterio e Trizio), crea un elemento (Elio), che è un gas inerte comunemente utilizzato anche in normali applicazioni quotidiane, più leggero della somma dei due atomi iniziali, una reazione che libera un'enorme quantità di energia, secondo la nota equazione di Einstein: $e=mc^2$.

Il grande vantaggio dell'energia da fusione, in ottica di applicazioni commerciali, è che il processo per produrla non emette gas a effetto serra, e ciò la rende estremamente interessante per il settore energetico. La tecnologia di fusione magnetica garantisce un processo intrinsecamente sicuro e virtualmente illimitato. La fusione rappresenta una fonte di energia estremamente interessante anche per il sistema energetico, producendo un flusso costante di energia (non intermittente), garantendo una fornitura di energia di base e rendendo il processo più flessibile ed efficiente dal punto di vista logistico ed economico poiché può sfruttare le infrastrutture già esistenti.

Uno degli sviluppi più importanti per il successo della fusione per la produzione di energia riguarda l'impiego di nuove tecnologie di magneti per il confinamento della reazione, che stanno consentendo la progettazione di reattori significativamente più compatti ed efficienti rispetto a quelli concepiti fino ad oggi. Anche l'industria privata della fusione è cresciuta rapidamente negli ultimi anni. La collaborazione tra settore pubblico e privato è fondamentale per avanzare verso l'industrializzazione della fusione: la condivisione di conoscenze e competenze su scala globale, facilitata dalla collaborazione tra pubblico e privato, non solo

accelererebbe il ritmo dei progressi, ma garantirebbe anche un approccio più efficiente e a minor rischio.

L'Italia è già un attore primario in Europa e nel mondo in ambito energia da fusione: le competenze italiane nel settore della fusione sono tra le più avanzate, grazie a centri di ricerca e università tra le più all'avanguardia nel contesto globale. Per mantenere questo primato internazionale e conservare la competitività delle realtà italiane, è fondamentale, a suo avviso, continuare ad alimentare la ricerca e innovazione in questo campo. È essenziale valorizzare l'eccellenza tecnologica e la capacità di ricerca del nostro Paese in dialogo con le realtà internazionali che stanno riversando notevoli energie sugli aspetti tecnologici della fusione.

Il settore dell'energia da fusione potrà continuare a dare nuove opportunità per interi settori industriali italiani, ad esempio quello dei materiali, dell'industria e della robotica di precisione, dell'elettronica di potenza, della sensoristica e molti altri ambiti che potranno generare occupazione di altissima qualità e specializzazione, e una crescita complessiva in conoscenza, competenze e produttività per l'intero sistema-Paese.

Fondazione per lo sviluppo sostenibile

Nell'audizione del 6 febbraio 2025, il responsabile clima ed energia della Fondazione per lo sviluppo sostenibile, Andrea Barbabella, ha evidenziato che la fusione nucleare potrebbe risolvere diverse criticità della fissione, ed è una sfida per la ricerca che non deve essere abbandonata. Di seguito l'ultima valutazione sulla *roadmap* della fusione del Dipartimento dell'energia degli Stati Uniti, operativa nei prossimi 10-15 anni.

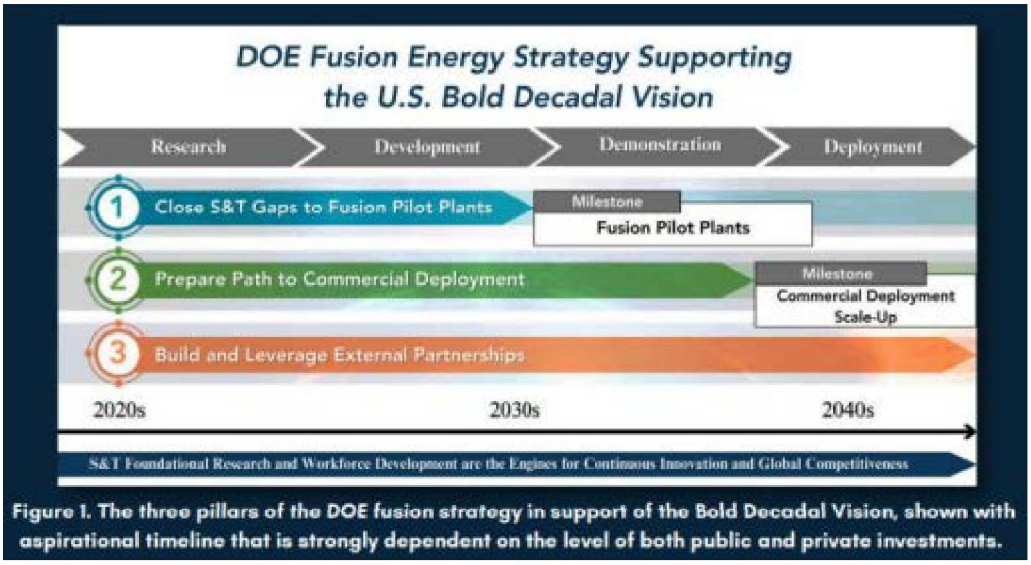


Figure 1. The three pillars of the *DOE* fusion strategy in support of the Bold Decadal Vision, shown with aspirational timeline that is strongly dependent on the level of both public and private investments.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY

Adolfo Urso, Ministro delle imprese e del *made in Italy*

Nell'audizione del 26 febbraio 2025, il Ministro delle imprese e del *made in Italy* ha sottolineato che la fusione nucleare, generando energia tramite l'unione di nuclei leggeri, rappresenta una prospettiva rivoluzionaria grazie alla sua sicurezza e disponibilità illimitata, ma la ricerca nel campo è meno avanzata.

Ha rappresentato che ENI si distingue per l'impegno nella sperimentazione sulla fusione, in particolare del cosiddetto "DTT", componentistica che può risultare utile per ogni tipologia di reattore, in corso presso il centro ENEA di Frascati.