



IL NUOVO NUCLEARE IN ITALIA PER I CITTADINI E LE IMPRESE

*Il ruolo per la decarbonizzazione,
la sicurezza energetica
e la competitività*

IL NUOVO NUCLEARE IN ITALIA PER I CITTADINI E LE IMPRESE

IL RUOLO PER LA DECARBONIZZAZIONE, LA SICUREZZA
ENERGETICA E LA COMPETITIVITÀ

Rapporto Strategico

Settembre 2024

Rapporto Strategico realizzato da TEHA Group S.p.A. in collaborazione con Edison S.p.A. e Ansaldo Nucleare S.p.A.

© 2024 Edison S.p.A., Ansaldo Nucleare S.p.A. e TEHA Group S.p.A. Tutti i diritti riservati. Nessuna parte del rapporto può essere riprodotta senza l'autorizzazione di Edison, Ansaldo Nucleare e TEHA Group.

I contenuti del presente Rapporto sono riferibili esclusivamente al lavoro di analisi e di ricerca, rappresentano l'opinione di TEHA Group e possono non coincidere con le opinioni e i punti di vista delle persone intervistate e coinvolte nello studio.

Questo Studio Strategico è stato realizzato da TEHA Group (da qui in seguito anche “TEHA”) in collaborazione con Edison e Ansaldo Nucleare.

I lavori di ricerca sono stati indirizzati da un *Advisory Board* che ha supervisionato l’iniziativa composto da:

- **Nicola Monti** (Amministratore Delegato, Edison);
- **Daniela Gentile** (Amministratore Delegato, Ansaldo Nucleare);
- **Ferruccio Resta** (Professore, Politecnico di Milano; Presidente, Fondazione Politecnico di Milano; Presidente, Fondazione Bruno Kessler; Presidente, Centro Nazionale per la Mobilità Sostenibile);
- **Ferruccio de Bortoli** (Presidente, Longanesi; Editorialista, Corriere della Sera);
- **Andris Piebalgs** (*Professor, Florence School of Regulation - European University Institute; former Commissioner for Energy, European Commission*);
- **Valerio De Molli** (*Managing Partner & CEO, The European House – Ambrosetti e TEHA Group*).

Si ringraziano per i contributi e i suggerimenti offerti, attraverso la partecipazione a Tavoli di Lavoro e interviste *one-to-one*:

- **Stefano Agostini** (*Energy Director, Acciaierie Venete*);
- **Simone Baroni** (Fondatore, Pepite di Scienza);
- **Roberta Battaglia** (Sindaco di Caorso)
- **Pierpaolo Bianchino** (*Business Development Manager, Simic*)
- **Emanuele Bompan** (*Editor in Chief, Materia Rinnovabile*)
- **Sergio Bondavilli** (Amministratore Delegato, Ceramiche Piemme)
- **Chiara Braga** (Membro, VIII Commissione Ambiente, territori e lavori pubblici, Camera dei Deputati)
- **Gianluca Brambilla** (Giornalista, Open)
- **Ralf Bugelli** (*Senior Project Manager, Fincantieri SI*)
- **Francesco Buzzella** (Presidente, Federchimica)
- **Francesco Cancellato** (Direttore, Fanpage)
- **Andrea Canetti** (Responsabile Area Economia, Confindustria Ceramica)
- **Antonio Caporale** (*Energy Manager, Cartiere Carrara*)
- **Raffaele Cattaneo** (Sottosegretario alle Relazioni Internazionali ed Europee, Regione Lombardia)
- **Caterina Cobino** (*Head of Special Projects and Partnerships, Fincantieri*)

- **Stefano Conti** (*Director of Engineering, Parcol*)
- **Federico Curioni** (*Consigliere Delegato, Atlas Concorde - Gruppo Florim Ceramiche*)
- **Umberto D'Angelillo** (*Direzione Generale, Valvitalia Group*)
- **Stefano Danieli** (*Managing Director, Softec*)
- **Gilberto Dialuce** (*Presidente, ENEA*)
- **Antonio Dimatteo** (*Direttore Generale, Fucina Italia*)
- **Federico Ferrazza** (*Direttore, Wired Italia*)
- **Lorenzo Franco** (*Project Manager, Demont*)
- **Luca Gambacciani** (*Energy Manager Italia, Polynt Group*)
- **Marianna Ginola** (*Head of Nuclear Department, Simic*)
- **Claudio Giromini** (*Direttore Business Unit Energia, Italiana Coke*)
- **Federico Giustarini** (*Technical Manager, Softec*)
- **Stefano Gori** (*Group Technology Director, Polynt Group*)
- **Antonio Gozzi** (*Presidente, Federacciai*)
- **Paolo Guglia** (*Innovation and Policy Manager, Fincantieri*)
- **Nicola Ippolito** (*Higher Scientific Officer, Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica - Segreteria tecnica divisione nucleare*)
- **Riccardo Luna** (*Editor in Chief Italian Tech (IT) and Green & Blue, GEDI Gruppo Editoriale*)
- **Marco Lucchesi** (*Sales Director, Fomas Group*)
- **Giacomo Luciani** (*Scientific Director, Paris School of International Affairs, Sciences-Po Paris*)
- **Cristiano Martino** (*Managing Director, Geatop*)
- **Agostino Mathis** (*Esperto, Ministero dell'Istruzione*)
- **Paolo Mattiauda** (*Senior Project Manager, Demont*)
- **Massimo Medugno** (*Direttore, Assocarta*)
- **Gianni Miani** (*Director of Aftersales, Parcol*)
- **Claudio Mingozzi** (*Global R&D Business Finance Manager & Facilities & General Services Italy, LyondellBasell*)
- **Stefano Monti** (*Presidente, Associazione Italiana Nucleare*)
- **Massimo Morichi** (*Executive Vice President, CAEN*)
- **Francesco Morodei** (*Civil and Structural Engineer - R&D and Innovation Manager, DG Impianti Industriali*)

- **Michele Noera** (*Energy Manager, Gruppo Lucart*)
- **William Palozzo** (*Managing Director, DG Impianti Industriali*)
- **Daniele Pane** (*Sindaco di Trino*)
- **Livia Persico** (*Energy & Decarbonization Engineer, Cogne Acciai Speciali*)
- **Lorenzo Poli** (*Presidente, Assocarta*)
- **Andrea Romeo** (*Energy Specialist, Cogne Acciai Speciali*)
- **Rosanna Santorelli** (*Managing Director and President, Flint Group Italia*)
- **Fabio Scoccimarro** (*Assessore all'ambiente ed energia, Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia*)
- **Alessandro Tarantini** (*Engineering Director, ACS Dobfar*)
- **Paolo Vestrucci** (*Amministratore Delegato, NIER Ingegneria*)
- **Maurizio Zanforlin** (*R&D Manager, ORI Martin*)
- **Egidio Zanin** (*Senior Business Manager, RINA*)

Si ringraziano per i contributi e i suggerimenti offerti per la realizzazione dello Studio per conto di Edison:

- **Lorenzo Mottura** (*Executive Vice President Strategy, Corporate Development and Innovation*);
- **Cristina Parenti** (*Executive Vice President External Relations and Communication*);
- **Marco Peruzzi** (*Executive Vice President Institutional Affairs, Regulation and Climate Change*);
- **Valeria Olivieri** (*Head of Strategy & Corporate Development*);
- **Giada Caprioli** (*Strategy & Corporate Development*);
- **Federica Carnicelli** (*Strategy & Corporate Development*);
- **Alessandro Pucci** (*Strategy & Corporate Development*).

Si ringraziano per i contributi e i suggerimenti offerti per la realizzazione dello Studio per conto di Ansaldo Nucleare:

- **Roberto Adinolfi** (*Presidente*);
- **Giovanbattista Patalano** (*Director Sales and Business Development*);
- **Michele Frignani** (*Head of Nuclear Technologies and Product Development*).

Il gruppo di lavoro di TEHA è formato da:

- **Lorenzo Tavazzi** (*Senior Partner e Responsabile Area Scenari e Intelligence*);
- **Francesco Galletti** (*Senior Consultant Area Scenari e Intelligence, Project Coordinator*);

- **Filippo Barzaghi** (*Consultant Area Scenari e Intelligence*);
- **Federica Riccio** (*Analyst Area Scenari e Intelligence*);
- **Alessandro Sarvadon** (*Analyst Area Scenari e Intelligence*);
- **Mattia Selva** (*Analyst Area Scenari e Intelligence*);
- **Iacopo Del Panta Ridolfi** (*Analyst Area Scenari e Intelligence*);
- **Silvia Lovati** (*Associate Partner e Responsabile TEHA Club e Relazioni con i media*);
- **Fabiola Gnocchi** (*Responsabile comunicazione*);
- **Ines Lundra** (*Assistant*).

I contenuti del presente rapporto sono riferibili esclusivamente al lavoro di analisi e di ricerca, e rappresentano l'opinione di TEHA Group e possono non coincidere con le opinioni e i punti di vista delle persone coinvolte.

INDICE

PREFAZIONI	3
EXECUTIVE SUMMARY DEL RAPPORTO STRATEGICO	14
CAPITOLO 1	
LO STATO DELL'ARTE DELL'ENERGIA NUCLEARE NEL MONDO E IN EUROPA, GLI AVANZAMENTI TECNOLOGICI IN ATTO E IL RUOLO DEL NUOVO NUCLEARE	35
1.1 Lo stato dell'arte e l'evoluzione attesa per la generazione elettrica da nucleare nel Mondo e in Europa	36
1.2 L'evoluzione storica della tecnologia nucleare e la discontinuità tecnologica rappresentata dal nuovo nucleare	48
1.3 Il possibile contributo del nuovo nucleare per soddisfare la crescente domanda di energia elettrica	60
CAPITOLO 2	
I BENEFICI SISTEMICI DEL NUOVO NUCLEARE PER IL SISTEMA-PAESE, I CITTADINI E LE IMPRESE	68
2.1 I benefici del nuovo nucleare per il sistema-Paese	71
2.1.1 Decarbonizzazione	72
2.1.2 Sicurezza Strategica	78
2.1.3 Competitività della <i>supply chain</i>	97
2.2 I benefici del nuovo nucleare per l'industria	107
2.3 I benefici del nuovo nucleare per i territori e i cittadini	122
CAPITOLO 3	
LE PROPOSTE DI <i>POLICY</i> PER LO SVILUPPO DEL NUOVO NUCLEARE IN ITALIA	129
3.1 Le principali leve di sviluppo per il successo del nuovo nucleare	129
3.2 I principali fattori abilitanti per lo sviluppo del nuovo nucleare	139
PRINCIPALE BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO	152

PREFAZIONI

Nicola Monti

Amministratore Delegato, Edison

Il contesto globale degli ultimi anni, con una ripresa post-pandemica scaglionata e sfaccettata, l'alta volatilità dei prezzi dell'energia ancor più acuita dal conflitto russo-ucraino, nonché la crisi climatica, ha determinato non solo un ritrovato interesse per il nucleare da parte dei Paesi che avevano abbandonato questo tipo di energia o erano in procinto di farlo, ma anche un rafforzamento degli impegni in questa tecnologia di quei Paesi che hanno già il nucleare nel proprio mix produttivo.

Anche in Italia, dove il nucleare rappresenta da sempre un tema complesso, questa energia sta conoscendo un momento di rinnovato interesse, grazie alle opportunità offerte dalle nuove tecnologie, in particolare impianti modulari di dimensioni contenute che presentano una sicurezza rafforzata e migliori prospettive economiche (il "nuovo nucleare"). Gli impianti basati su Gen3+ (Small Modular Reactor - SMR) saranno commercialmente disponibili dal 2030, mentre quelli di Gen4 (Advanced Modular Reactor - AMR) saranno sul mercato entro il 2040.

Il nuovo nucleare è complementare alle energie rinnovabili e insieme ad esse contribuisce a decarbonizzare il sistema in modo efficace ed efficiente. L'energia prodotta dal nuovo nucleare ha il vantaggio di essere programmabile e modulabile, garantendo una fornitura stabile a costi fissi per il sistema che complementa l'intermittenza delle fonti rinnovabili. Peraltro, il costo del nucleare è competitivo se paragonato con quello di una rinnovabile resa programmabile tramite un sistema di accumulo. Inoltre, diversamente dalle energie rinnovabili, che sono localizzate prevalentemente al sud laddove sussistono le condizioni ambientali adatte (i.e. presenza di sole, vento e acqua), il nucleare può essere collocato in prossimità dei maggiori centri di consumo localizzati prevalentemente al nord, permettendo così di ridurre gli investimenti che sarebbero necessari al rafforzamento della rete elettrica per portare l'energia prodotta dalle rinnovabili dal sud al nord del Paese. Infine, oltre a decarbonizzare il mix elettrico, i piccoli reattori nucleari possono contribuire alla decarbonizzazione del calore e dell'idrogeno utilizzati nelle industrie, consentendo in questo modo la transizione energetica delle industrie energivore ad un costo competitivo e favorendo l'export di prodotti finali carbon-neutral made in Italy.

La rinnovata inclusione del nucleare nel dibattito pubblico, che ha messo in luce le importanti evoluzioni tecnologiche degli ultimi decenni (segnatamente SMR, AMR e fusione nucleare), ha permesso all'Italia di acquisire una nuova consapevolezza riguardo agli obiettivi di decarbonizzazione e una maggiore apertura nei confronti del ruolo che il nucleare potrebbe svolgere per garantire una transizione tempestiva e sicura.

Il nuovo nucleare abilita molteplici benefici sistemici e differenziali rispetto ai grandi impianti di generazione di tipo tradizionale. Innanzitutto, presenta minori tempi di costruzione grazie al design modulare, che consente di realizzare in serie e pre-assemblare i diversi moduli in fabbrica. In aggiunta, migliora la finanziabilità dei progetti: la riduzione della taglia delle centrali e dei relativi tempi di costruzione si traduce in minori esigenze di capitale e più bassi costi finanziari oltre a limitare le possibilità di ritardi, assicurando maggiore certezza nei tempi di realizzazione dei progetti. Infine, il nuovo nucleare consente una maggiore flessibilità nella scelta della localizzazione date le dimensioni ridotte (paragonabili a quelle di una centrale

termoelettrica), l'uso limitato di suolo e il minor consumo idrico. Grazie a queste caratteristiche, il nuovo nucleare può sostituire parte delle centrali a gas e carbone che sono essenziali per garantire il carico di base della rete elettrica, riutilizzando parte delle infrastrutture esistenti e che giungeranno a fine vita utile tra il 2030 e il 2035.

L'adozione del nuovo nucleare può portare un beneficio per il sistema paese anche sotto l'aspetto macroeconomico. Gli investimenti per la realizzazione del nuovo nucleare in Italia possono attivare in modo diretto, indiretto e indotto molteplici filiere produttive che compongono il tessuto economico nazionale, generando, posti di lavoro e ricadute positive sul territorio. La modularità dei piccoli reattori nucleari permette la produzione e l'assemblaggio delle componenti in fabbrica, abilitando lo sviluppo della supply chain italiana. Il nostro Paese vanta già una filiera nucleare che nel tempo ha dimostrato eccellenza e resilienza: abbiamo oltre 70 imprese specializzate nel nucleare, di cui più della metà di dimensioni medio grandi. Queste aziende forniscono componenti fondamentali e di alta rilevanza tecnologica in tutta Europa, contribuendo agli attuali progetti di nuova costruzione in UK, Francia e Romania, e all'ammodernamento delle centrali esistenti in Francia e in Slovenia. La forte rilevanza della filiera nucleare per l'Italia è stata dimostrata anche dall'ampia partecipazione delle aziende italiane alla SMR EU Industrial Alliance, con l'Italia al secondo posto in termini di numero di aziende aderenti dopo la Francia.

Il nuovo nucleare limita inoltre la dipendenza dell'Europa dai mercati esteri da molteplici punti di vista. A parità di energia prodotta, presenta un fabbisogno di materie prime critiche più contenuto rispetto alle rinnovabili. Dispone di fonti diversificate e non a rischio geopolitico per l'approvvigionamento di combustibile (uranio), come ad esempio Australia e Canada che sono tra i principali esportatori. Ed infine, può essere sviluppato facendo leva sulle consolidate competenze tecniche ed industriali europee.

Per avere un ruolo da protagonista nel settore del nuovo nucleare in Europa e beneficiarne, in termini sia di contributo alla decarbonizzazione, sia di sviluppo della supply chain italiana, è tuttavia necessario sin da ora mettere in atto una strategia nucleare nazionale. L'Italia non parte da zero, poiché vanta già una supply chain competitiva a livello internazionale e centri di competenza di eccellenza. Tuttavia, è necessario rafforzare questi aspetti, attraverso la definizione di un piano industriale con una visione a medio e lungo termine che integri e sostenga l'intera filiera industriale nucleare italiana, delineando in parallelo piani di formazione specialistici su tutti i livelli di istruzione con una visione estesa a tutte le figure professionali necessarie a un programma nucleare. Occorre parimenti strutturare gli elementi a oggi mancanti, quali la gestione del ciclo del combustibile e delle scorie, la definizione di un quadro normativo e regolatorio e di uno schema incentivante a supporto dello sviluppo del nuovo nucleare in Italia.

In sintesi, il nuovo nucleare non è soltanto una risorsa preziosa per raggiungere gli obiettivi di transizione energetica al 2050, ma costituisce una vera e propria occasione di rilancio industriale per l'Italia. Pertanto, questo Studio traccia la prospettiva per reintrodurre il nucleare in Italia facendo emergere le opportunità che apre per il sistema paese e le scelte che già oggi dobbiamo prendere per garantirne uno sviluppo concreto entro il 2030 in un percorso di responsabilità e consapevolezza da parte di imprese, comunità e istituzioni.

Una transizione energetica sostenibile che conduca al net zero entro il 2050 è un obiettivo non più in discussione ed ogni nazione è impegnata a rivedere le proprie strategie energetiche per ridurre le emissioni di anidride carbonica e garantire un futuro sostenibile.

La recente adesione di 22 paesi alla Declaration to Triple Nuclear Energy nell'ambito di COP28, impegna queste nazioni a triplicare la capacità nucleare globale entro il 2050, dimostrando un ampio consenso internazionale sull'importanza del nucleare nel mix energetico globale. Questa dichiarazione sottolinea la determinazione collettiva a intraprendere azioni concrete e innovative per affrontare la crisi climatica.

In questo contesto, anche l'Europa ha intrapreso un percorso di riavvicinamento al nucleare, evidenziato dalla Tassonomia UE per le attività sostenibili che riconosce l'energia nucleare come una fonte a basse emissioni di carbonio, favorendo investimenti e sviluppo nel settore. A supporto di questo orientamento, l'iniziativa European Industrial Alliance on SMR recentemente avviata, promuove le iniziative di sviluppo dei Reattori Modulari Compatti (SMR), una tecnologia promettente per il futuro energetico europeo.

In questo mutato scenario internazionale ed europeo, anche per l'Italia si riapre una nuova riflessione sul ruolo benefico che le nuove tecnologie nucleari disponibili o in via di sviluppo possono giocare nel mix energetico italiano, integrando le energie rinnovabili e assicurando la continuità e la sicurezza della fornitura elettrica.

Il gruppo Ansaldo, fedele alla centralità delle tecnologie nella sua visione industriale, non ha mai smesso, anche dopo l'abbandono del nucleare nel nostro Paese, di operare nel settore nucleare mantenendo competenze e capacità realizzative (si pensi alla realizzazione delle due unità nucleari da 700 MWe in Romania, nonché al contributo dato all'ammodernamento di centrali in Argentina o in Slovenia), e sviluppando nuove tecnologie per reattori di terza e quarta generazione nonché per la fusione.

La ripresa di interesse per il nucleare a livello internazionale conforta questa scelta, consentendo al nostro Gruppo di presentarsi ben preparato al nuovo appuntamento con i mercati europei.

Siamo peraltro ben consapevoli che non basta una risposta tecnologicamente avanzata, né un più favorevole contesto internazionale per assicurare una ripresa convinta e duratura del nucleare nel nostro Paese. È necessario che questa rifletta effettive necessità della nostra società e sia supportata da una trasparente azione di informazione a tutti i livelli, per creare un ampio consenso dal basso sul quale basarsi per sviluppare un affidabile programma nazionale.

Non mancano segnali positivi in questa direzione.

La partecipazione attiva delle aziende, università, dei centri di ricerca ed istituzioni italiane alla European Industrial Alliance on Small Modular Reactors, dimostra fiducia nelle proprie capacità industriali e vede in questa iniziativa un'opportunità di sviluppo tecnologico in un settore in rapida evoluzione.

Il nuovo modello energetico proposto dagli Small Modular Reactors può rivelarsi particolarmente adatto allo scenario italiano rispondendo alla richiesta di comparti industriali energivori, rendendo loro disponibile un contributo energetico elettrico e termico

a basso contenuto carbonico così da abilitare il completamento del percorso di decarbonizzazione e supportare la competitività nel mercato internazionale.

Ci sembra maturo il tempo per una riflessione sul ruolo che l'industria italiana può e deve giocare nel non più rinviabile processo di transizione energetica, non subendone passivamente le conseguenze ma impegnandosi per rendere questa sfida una vera opportunità: ed il ritorno del nucleare in Italia offre vantaggi significativi in questa direzione come la crescita delle competenze e il rafforzamento della supply chain nazionale.

Con grande resilienza numerose aziende italiane, non solo il nostro gruppo, hanno mantenuto e sviluppato capacità nel settore della componentistica e dell'impiantistica energetica, contribuendo alla realizzazione di impianti nucleari all'estero, ed hanno ora l'opportunità di divenire protagoniste nello sviluppo del nuovo nucleare nel più ampio mercato europeo ed internazionale, creando posti di lavoro e competenze tecnologiche e manifatturiere e stimolando la crescita economica del nostro Paese.

La collaborazione tra industria, istituzioni e ricerca scientifica può supportare lo sviluppo di un hub di innovazione nucleare, massimizzando la competitività della filiera italiana affinché possa esportare soluzioni e prodotti all'avanguardia a livello globale.

La costruzione e la gestione di nuovi impianti nucleari richiedono personale altamente qualificato ed anche in questo senso, l'industria italiana in sinergia con università e centri di ricerca può avere un ruolo chiave nella formazione delle future generazioni di ingegneri e tecnici nucleari, sostenendo la creazione di posti di lavoro qualificati.

Questi spunti ci inducono a pensare che con il necessario supporto istituzionale, con investimenti mirati allo scale-up delle capacità produttive industriali e una forte collaborazione internazionale, l'energia nucleare può tornare a svolgere un ruolo fondamentale sia nel mix energetico italiano sia nel rilancio e nel rafforzamento del tessuto industriale nazionale, creando così un percorso virtuoso di crescita.

È però essenziale verificare che tali nostre considerazioni siano comprese ed ampiamente condivise dalla società civile, in tutte le componenti che possano rappresentare istanze ed aspettative della nostra società.

Riteniamo quindi importante stimolare una riflessione oggettiva sulle potenzialità e i benefici del nuovo nucleare per l'Italia, analizzando come questa fonte energetica, anche in virtù delle evoluzioni tecnologiche e industriali in atto, possa contribuire alla sostenibilità ambientale, alla sicurezza energetica e allo sviluppo economico del paese.

“Nuclear technologies can play an important role in the clean energy transition.”

Ursula von der Leyen

L'Europa e l'Italia si trovano oggi in un momento decisivo per il futuro energetico, in cui le decisioni sulle politiche da implementare per raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione al 2050 determineranno non solo la rapidità con cui questi obiettivi verranno raggiunti, ma anche la competitività della nostra economia e la sicurezza strategica del Paese.

In questa congiuntura storica, lo sviluppo tecnologico del nuovo nucleare – categoria che comprende gli *Small Modular Reactor* (SMR) e gli *Advanced Modular Reactor* (AMR) – sta aprendo nuove importanti possibilità in termini di efficienza, flessibilità e sostenibilità grazie ad una importante discontinuità tecnologica rispetto al nucleare tradizionale. Lo sviluppo del nuovo nucleare porta con sé molteplici caratteristiche peculiari rispetto alla tecnologia tradizionale, che si rivelano particolarmente funzionali per il raggiungimento dei *target* di decarbonizzazione al 2050 in una logica di integrazione ottimale con lo sviluppo delle rinnovabili.

Il nuovo nucleare rappresenta, infatti, la tecnologia di generazione elettrica a minore intensità carbonica ed è in grado di garantire una fornitura stabile. Queste caratteristiche ben si integrano con le rinnovabili, che al contrario, possono soddisfare i picchi di domanda, soprattutto nelle ore centrali della giornata – in cui pannelli solari ricevono l'irraggiamento più forte e sono in grado di generare più energia – o nelle ore a maggiore ventosità.

Entrando più nel dettaglio, lo Studio "Il nuovo nucleare in Italia per i cittadini e le imprese" approfondisce il potenziale del nuovo nucleare per il sistema-Paese, con una particolare attenzione all'importante contributo che questa tecnologia può esprimere in termini di decarbonizzazione, sicurezza strategica e competitività. Lo Studio mira, inoltre, a fornire una valutazione dettagliata, qualitativa e quantitativa, dei benefici potenzialmente attivabili dal nuovo nucleare. Questi benefici vengono analizzati considerando l'impatto complessivo sul sistema-Paese, ma anche gli effetti positivi su industria, cittadini e territori locali.

Tra le evidenze più significative emerse dallo studio vi sono le ricadute economiche che il nuovo nucleare può avere sul sistema-Paese. Secondo le analisi di TEHA, infatti, il nuovo nucleare potrebbe generare un mercato potenziale per le imprese della filiera italiana che raggiunge i 46 miliardi di Euro, con un Valore Aggiunto attivabile di 14,8 miliardi di Euro entro il 2050. Tenendo conto anche dei benefici indiretti e indotti, investire nel nuovo nucleare potrebbe abilitare un impatto economico complessivo per il Paese superiore a 50 miliardi di Euro (circa 2,5% del PIL italiano del 2023) e attivare fino a 117.000 nuovi posti di lavoro entro il 2050.

Un'ulteriore riflessione sviluppata nello Studio riguarda la necessità di cogliere il momento per stabilire una *leadership* europea del nuovo nucleare con un forte apporto della filiera industriale italiana. L'avvio della *European Industrial Alliance* sugli SMR lo scorso 29 maggio, l'intervento della Presidente della Commissione Europea Ursula von der Leyen al Nuclear Energy Summit a marzo e l'inserimento di scenari di sviluppo del nucleare all'interno del PNIEC (Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima del governo italiano) sono tutti segnali di un rinnovato interesse europeo e nazionale in questa tecnologia. In un contesto di forte competizione internazionale, con oltre 80 progetti di nuovo nucleare in fase di sviluppo

nel Mondo, è necessario cogliere il momento favorevole per accelerare gli investimenti e consolidare catene del valore italiane e europee che possano competere a livello globale.

Al fine di avviare un percorso che massimizzi il potenziale del nuovo nucleare in Italia, lo Studio ha identificato una *roadmap* per favorire l'implementazione di un programma nucleare in Italia, individuando le leve di sviluppo per accelerare il processo di implementazione del nuovo nucleare in Italia - *supply chain* e competenze, modalità di finanziamento, *licensing* e *permitting*, ovvero i processi di ottenimento delle autorizzazioni per la costruzione e la gestione degli impianti - e i fattori abilitanti che sono necessari e decisivi affinché il nuovo nucleare possa essere sviluppato in Italia - *framework* regolatorio, gestione dei rifiuti nucleari e accettabilità sociale.

Prima di invitarvi alla lettura del presente rapporto, desidero ringraziare per il prezioso contributo l'*Advisory Board* che ha supervisionato lo sviluppo dello Studio nelle persone di Nicola Monti (Amministratore Delegato, Edison), Daniela Gentile (Amministratore Delegato, Ansaldo Nucleare), Ferruccio De Bortoli (Presidente, Longanesi; Editorialista, Corriere della Sera), Andris Piebalgs (Professore, Florence School of Regulation - European University Institute; già Commissario all'Energia, Commissione Europea) e Ferruccio Resta (Presidente del Centro Nazionale per la Mobilità Sostenibile MOST; Presidente, Fondazione Politecnico di Milano).

Un sentito ringraziamento, infine, anche a tutto il *team* di TEHA formato, oltre che dal sottoscritto, da Lorenzo Tavazzi, Francesco Galletti, Filippo Barzaghi, Federica Riccio, Alessandro Sarvadon, Mattia Selva, Iacopo Del Panta e Ines Lundra.

Quanta energia si consuma annualmente in Italia? Come viene prodotta e quali sarebbero le conseguenze di una maggiore autonomia energetica?

Alla luce delle crescenti preoccupazioni ambientali e della sicurezza degli approvvigionamenti, questi interrogativi hanno spinto alla realizzazione del presente Studio, focalizzato sull'analisi del ruolo del nuovo nucleare nel panorama energetico italiano e delle sue possibili implicazioni per l'intero sistema economico italiano.

Secondo i dati più recenti del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, nel 2022 l'Italia ha consumato circa 109.307 migliaia di tonnellate equivalenti di petrolio. Questo fabbisogno, concentrato principalmente nei settori dei trasporti, del residenziale, dell'industria e dei servizi, è soddisfatto prevalentemente da combustibili fossili come petrolio, gas naturale, carbone e, solo in minor parte, dall'elettricità. Sebbene le rinnovabili abbiano registrato una crescita significativa negli ultimi anni, coprendo una quota sempre maggiore del mix energetico nazionale, l'Italia rimane fortemente dipendente dalle importazioni, esponendo l'economia alle fluttuazioni dei prezzi sui mercati globali. Gli ultimi anni sono stati caratterizzati da rapidi aumenti dei costi di gas ed elettricità, legati a una fragilità del sistema geopolitico e climatico globale; una situazione che ha impattato e messo a dura prova famiglie e imprese, sottolineando l'urgenza di diversificare le fonti energetiche e di promuovere l'efficienza energetica.

Ne consegue che sarebbero sufficienti anche solo questi elementi per comprendere le molteplici sfide cui siamo chiamati a rispondere: la dipendenza dai fossili, responsabili del cambiamento climatico e dell'inquinamento atmosferico, i fenomeni geopolitici, la vulnerabilità e la crescente domanda di energia elettrica, alimentata soprattutto dall'avvento di tecnologie disruptive come Intelligenza Artificiale, High Performance Computing, Cloud e Data Center. Di fronte a uno scenario così complesso, l'Europa sta ripensando al proprio modello energetico, alla ricerca di soluzioni sicure, affidabili e con una ridotta impronta carbonica, e l'Italia non può permettersi di rimanere esclusa.

In questo contesto, emerge come potenziale elemento di svolta una fonte di energia che, in realtà, conosciamo da quasi un secolo: il nucleare. Rispetto ai reattori della generazione precedente, il "nuovo nucleare" presenta un cambiamento tecnologico discontinuo, è infatti caratterizzato da una maggiore sicurezza e da un minore impatto ambientale grazie alle dimensioni ridotte e al design modulare semplificato, garantendo una produzione energetica stabile e sostenibile, in linea con gli obiettivi di decarbonizzazione.

Lo Studio si propone di fornire una valutazione pragmatica e scientifica, fornendo elementi oggettivi per un dibattito informato sulla funzione del nucleare di nuova generazione nella transizione energetica italiana. Un'analisi rigorosa degli aspetti tecnici, economici, ambientali e politici, volta a definire il potenziale di questa tecnologia per la resilienza e l'indipendenza energetica del Paese, superando i preconcetti ideologici, spesso polarizzanti, che da sempre caratterizzano il confronto sull'argomento.

Tuttavia, è importante sottolineare che il "nuovo nucleare" non rappresenta una soluzione univoca o definitiva, bensì costituisce un tassello importante da valutare all'interno di una più ampia e diversificata strategia, in sinergia con altre fonti di energia pulita. Infatti, la transizione energetica è un processo complesso che richiede di bilanciare diversi fattori, tra

cui l'autonomia energetica, la sostenibilità ambientale, l'affidabilità del sistema e l'equità sociale. L'obiettivo dello Studio è dunque quello di promuovere un dialogo aperto e inclusivo sul tema, coinvolgendo tutti gli attori interessati: cittadini, imprese, istituzioni scientifiche, associazioni ambientaliste e decisori politici.

Per questo, desidero ringraziare Ansaldo, Edison e TEHA per il loro prezioso contributo, che ha permesso di realizzare questo lavoro e avviare così una riflessione costruttiva sul “nuovo nucleare” in Italia.

Nella seconda metà del secolo scorso, l'Italia era nel nucleare civile una potenza industriale grazie anche all'onda lunga della sua ricerca scientifica, dai "ragazzi di via Panisperna" in poi, e agli investimenti di imprese pubbliche e private. Nel 1964 quando esplose lo scandalo che coinvolse, ingiustamente, Felice Ippolito, allora presidente del Cnen (il Comitato nazionale per l'energia nucleare), poi graziato dal Presidente della Repubblica, Giuseppe Saragat, l'Italia poteva competere per produzione lorda e potenza installata con inglesi e americani. Ancor prima che ben due consultazioni referendarie (nel 1987 dopo il disastro di Chernobyl e nel 2011 dopo Fukushima) ne segnassero il tramonto, il nucleare italiano fu vittima dello scontro di potere tra interessi diversi, a cominciare da quelli delle lobby petrolifere. Negli anni della Guerra Fredda la ricerca dell'indipendenza energetica del nostro Paese (e il caso Mattei è lì a dimostrarlo) venne vista come una minaccia. All'estero e in Italia. Una questione che divise, anche all'interno delle maggioranze, i principali partiti di governo della Prima Repubblica. Comunque la si pensi, fu una grande occasione industriale e di crescita perduta. Un danno enorme.

Qualunque opinione oggi si abbia sull'energia nucleare, non si può ritenere una scelta positiva restare fuori dal nucleare alla vigilia di un salto di paradigma tecnologico reso possibile dall'avanzamento della ricerca. E per fortuna il nostro Paese ha ancora, nonostante tutto, preziosi presidi industriali, ottimi istituti di ricerca, università di livello, imprenditori visionari e coraggiosi. Vogliamo perdere un nuovo importante appuntamento proprio oggi che il nucleare di nuova generazione, più sicuro, con meno scorie - e in attesa di quello da fusione - appare indispensabile per realizzare la transizione energetica? Con le rinnovabili da sole, nonostante tutti gli sforzi, non ce la facciamo, soprattutto per un Paese che ha pochi spazi per il fotovoltaico e acque più profonde per l'eolico in mare.

L'ultima versione del Pniec (il Piano nazionale integrato per l'energia e il clima) conferma la scelta strategica di spingere il più possibile sull'elettrificazione da fonti rinnovabili, ma stima due scenari al 2050 per l'impiego del nucleare con un contributo che oscilla in una forchetta tra l'11 e il 22 per cento. Il nucleare, dunque, è il complemento delle rinnovabili, non la sua alternativa. Secondo Fraunhofer, nel primo semestre del 2024, la Francia per soddisfare il proprio fabbisogno elettrico e tenendo conto che ne esporta e noi siamo tra gli acquirenti a dispetto di ogni referendum - ha emesso 30,6 grammi di CO₂ per ogni kWh generato. La Germania - che ha il triplo di rinnovabili rispetto ai francesi e importa elettricità anche dalla Francia - ha emesso nell'atmosfera 367 grammi di CO₂ per kWh. Ovvero 12 volte più della Francia. E l'Italia, nello stesso periodo, ha emesso il 20 per cento in meno della Germania, ma sempre 10 volte più della Francia.

Un rapporto commissionato da Parlamento e Consiglio europeo ha concluso che "non vi è alcuna prova scientifica che il nucleare di terza generazione faccia più danni alla salute umana o all'ambiente rispetto ad altre tecnologie della tassonomia verde europea". Tra queste, le rinnovabili hanno la caratteristica di essere sparse, oltre che intermittenti; il nucleare è per sua natura concentrato e continuo. Si è calcolato che una centrale nucleare multireattore, per complessivi 5 GW, occupi 200 ettari, senza bisogno di sistemi di accumulo. Per ottenere la stessa energia sono necessari 40 mila ettari ricoperti di pannelli fotovoltaici. Davanti all'emergenza climatica, è necessario liberarsi dei pregiudizi e delle paure ingiustificate. Nessuna scelta ideologica, solo la valutazione dei costi, dei rischi - che fanno parte dell'attività umana - e dei benefici futuri. Molti dei quali, questi ultimi, riguardano le generazioni future che dovranno avere un ambiente più pulito senza sacrificare troppo il proprio benessere.

Dal 20 dicembre 1951, quando l'Argonne National Laboratory negli Stati Uniti produsse per la prima volta elettricità dall'energia nucleare - sufficiente ad accendere quattro lampadine - l'energia nucleare è stata al servizio dell'umanità. Solo tre anni dopo, la prima centrale nucleare fu collegata alla rete elettrica. Oggi, l'energia nucleare rappresenta circa il 10% della produzione mondiale di elettricità, percentuale che raggiunge quasi il 20% nelle economie avanzate. Storicamente, è stata uno dei maggiori contributori alla produzione di elettricità a zero emissioni di carbonio a livello globale e presenta un potenziale significativo per accelerare ulteriormente la decarbonizzazione del settore energetico. Con circa 413 gigawatt (GW) di capacità operativa in 32 paesi, l'energia nucleare attualmente contribuisce ad evitare 1,5 gigatonnellate (Gt) di emissioni globali all'anno. L'Agenzia Internazionale dell'Energia (IEA) sottolinea che l'energia nucleare, con la sua flessibilità e potenziale di crescita, può svolgere un ruolo cruciale nel garantire una generazione elettrica sicura, diversificata e a basse emissioni. A tal fine, l'IEA raccomanda di definire solidi framework normativi per lo sviluppo dell'energia nucleare al fine di ridurre i rischi d'investimento e accelerare lo sviluppo degli Small Modular Reactor (SMR).

La politica nucleare è stata parte integrante dell'Unione Europea sin dalla sua nascita, e l'energia nucleare rimane una componente vitale del mix energetico dell'UE. L'UE dipende dall'energia nucleare per circa un quarto della sua elettricità e una quota ancora maggiore per la produzione di energia baseload, con il nucleare che fornisce circa la metà dell'elettricità a basse emissioni di carbonio dell'UE. Ancora oggi, il Trattato sulla Comunità Europea dell'Energia Atomica (Trattato Euratom) del 1957, uno dei tre trattati fondativi dell'UE, è rimasto in gran parte invariato, con tutti gli attuali Stati membri dell'UE che ne sono firmatari. Nonostante l'esistenza di regole e standard comuni che regolano l'energia nucleare, ciascuno Stato membro decide autonomamente se includere o meno l'energia nucleare nel proprio mix energetico.

Gli Stati membri dell'UE hanno infatti prospettive diverse sull'energia nucleare. Attualmente, 12 Stati membri ospitano centrali nucleari. Mentre la Germania ha recentemente deciso di eliminare completamente la produzione di energia nucleare, diversi altri Stati membri pianificano di costruire nuovi reattori. La Francia ha annunciato l'obiettivo di costruire 14 nuovi reattori entro il 2050. Bulgaria e Romania hanno piani avanzati per due impianti, mentre Finlandia, Bulgaria e Repubblica Ceca pianificano di costruirne uno ciascuno. La Polonia, nel frattempo, ha piani ambiziosi per avviare la produzione di energia nucleare, con l'intenzione di costruire sei grandi reattori ad acqua pressurizzata entro il 2040, con l'inizio della costruzione della prima centrale previsto per il 2026 e la conclusione entro il 2033. Sebbene la capacità di generazione di energia sia principalmente gestita a livello nazionale, una quantità significativa dell'export di elettricità avviene oltre i confini nazionali all'interno dell'UE, rendendo le politiche energetiche di ciascun paese rilevanti per i suoi vicini.

Il dibattito sull'energia nucleare all'interno dell'UE ruota attorno sia alle opportunità che alle sfide che comporta. Gli SMR sono sempre più visti come potenziali soluzioni ai problemi di approvvigionamento energetico e potrebbero diventare commercialmente disponibili entro i primi anni del prossimo decennio. Questi reattori possono essere impiegati per diversi scopi, tra cui il teleriscaldamento, la desalinizzazione dell'acqua, i processi industriali energivori e la produzione di idrogeno.

Oggi il dibattito sul ruolo dell'energia nucleare nel percorso dell'UE verso la decarbonizzazione sta diventando meno polarizzato. La Commissione Europea si è impegnata a favore della neutralità tecnologica, riconoscendo, durante le negoziazioni per la revisione della Direttiva sulle Energie Rinnovabili (RED), che altre fonti di energia prive di carbonio, oltre alle rinnovabili, possono contribuire a raggiungere la neutralità climatica entro il 2050. Negli ultimi anni, il sostegno pubblico all'energia nucleare è gradualmente aumentato, sebbene le opinioni rimangano divise tra gli Stati membri. I dibattiti si sono intensificati dopo l'invasione dell'Ucraina da parte della Russia, portando alla formazione di un'"alleanza nucleare" tra gli Stati membri che considerano l'energia nucleare uno strumento per garantire la sovranità energetica, raggiungere la decarbonizzazione e stimolare la crescita economica. Questa alleanza è diventata una presenza costante nelle discussioni energetiche dell'UE, con una dichiarazione firmata che delinea un quadro per migliorare la cooperazione sull'energia nucleare in cinque aree chiave: posizionamento dell'energia nucleare nella strategia energetica europea, sicurezza e gestione dei rifiuti nucleari, industrializzazione e sovranità, competenze e innovazione.

Nel marzo 2023, la Commissione Europea ha proposto il Net-Zero Industry Act (NZIA) per potenziare la produzione di tecnologie green all'interno dell'UE nel quadro della transizione energetica. Il NZIA stabilisce un obiettivo per l'Europa di produrre il 40% del suo fabbisogno annuale di tecnologie a zero emissioni entro il 2030 e punta a raggiungere il 25% del mercato globale per queste tecnologie. Tra le dieci tecnologie proposte figurano "tecnologie avanzate per produrre energia da processi nucleari con scorie ridotte dal ciclo del combustibile e Small Modular Reactor". Nel maggio 2024, è stata avviata anche l'Alleanza Europea per gli Small Modular Reactor con l'obiettivo di facilitare e accelerare lo sviluppo, la dimostrazione e la diffusione degli SMR in Europa. Sono già stati istituiti gruppi di lavoro tecnici e si prevede che il prossimo Clean Industrial Deal dedicato alla competitività industriale e alle professioni ad alto valore aggiunto metterà in evidenza anche il ruolo dell'energia nucleare.

Questo Studio arriva in un momento cruciale, poiché l'Europa affronta sfide senza precedenti per raggiungere l'obiettivo della neutralità climatica entro il 2050, garantendo al contempo una fornitura energetica sicura e accessibile sia per l'industria che per le famiglie e mantenendosi alla frontiera dell'innovazione tecnologica. Lo Studio analizza il ruolo attuale e prospettico dell'energia nucleare per la transizione e sicurezza energetica dell'Europa e dell'Italia, con particolare attenzione al potenziale contributo del "nuovo nucleare", come gli Small Modular Reactors, rispetto all'energia nucleare tradizionale. In quanto una delle principali potenze industriali europee, l'Italia non deve lasciarsi sfuggire le opportunità offerte dal "nuovo nucleare", gestendo al contempo in modo efficace i rischi associati.

Questo Studio fornisce una solida base per la discussione e una piattaforma stabile per consentire agli stakeholder italiani di avanzare lungo il percorso delle nuove opportunità tecnologiche, garantendo che la transizione energetica porti alla creazione di posti di lavoro e allo sviluppo economico. Lo Studio offre proposte politiche concrete mirate a migliorare l'accettabilità sociale, a definire i necessari framework normativi, a facilitare le modalità di finanziamento dei progetti e a sviluppare la supply chain e le competenze necessarie.

I nuovi sviluppi tecnologici offrono l'opportunità di riconsiderare seriamente l'energia nucleare. L'Europa lo sta già facendo, e l'Italia non può permettersi di aspettare. Dal momento che gli Stati membri dell'UE si preparano a definire l'obiettivo di riduzione delle emissioni di gas serra per il 2040, con la Commissione Europea che propone una riduzione del 90%, è imperativo che queste decisioni tengano conto del ruolo delle migliori tecnologie disponibili per raggiungere questo ambizioso obiettivo.

EXECUTIVE SUMMARY DEL RAPPORTO STRATEGICO

Lo Studio realizzato da TEHA Group in collaborazione con Edison e Ansaldo Nucleare ha l'obiettivo di contestualizzare lo **scenario di riferimento** dell'energia nucleare a livello globale ed europeo, analizzando gli **avanzamenti tecnologici** in atto e le **dinamiche di crescente domanda di energia elettrica decarbonizzata**, che rendono oggi lo **sviluppo del nuovo nucleare** (Small Modular Reactor e Advanced Modular Reactor) una **componente centrale** per il raggiungimento degli obiettivi di neutralità climatica fissati a livello internazionale ed europeo.

Lo Studio mira, inoltre, a fornire una **valutazione dettagliata**, qualitativa e quantitativa, dei **benefici potenzialmente attivabili dal nuovo nucleare**. Questi benefici vengono analizzati considerando l'**impatto complessivo** sul sistema-Paese, ma anche gli effetti positivi su **industria, cittadini e territori locali**.

In particolare, sono analizzati i benefici del nuovo nucleare per il **sistema-Paese**, qualificando e quantificando come la tecnologia possa efficacemente contribuire a sostenere i percorsi di **decarbonizzazione** (attraverso la produzione di energia elettrica stabile e modulabile decarbonizzata), perseguendo in contemporanea un incremento della **sicurezza energetica** e della **competitività** nazionale, quantificando i potenziali **benefici economici e occupazionali** per il Paese.

Un elemento importante dell'analisi è relativo ai benefici del nuovo nucleare per l'**industria energivora**, identificata come ambito strategico in cui le nuove tecnologie nucleari possono contribuire a sostenere i percorsi di decarbonizzazione industriali, garantendo al contempo la competitività delle imprese attraverso la **riduzione dei costi energetici** e la **produzione di energia termica e idrogeno**.

Sono stimati, inoltre, i benefici del nuovo nucleare per i **cittadini** e i **territori**, mettendo in luce gli **impatti diretti** sullo sviluppo locale e valorizzando gli **elementi caratterizzanti** degli impianti di **taglia ridotta** a beneficio di una **maggiore accettabilità sociale** (es. minore consumo del suolo, impatto paesaggistico limitato, integrazione con i distretti produttivi, sviluppo di competenze diffuse nel Paese, ecc.).

Infine, vengono elaborate azioni puntuali necessarie per sviluppare il nuovo nucleare in Italia, al fine di **massimizzare i benefici per gli utenti finali e il sistema-Paese** e **valorizzare le competenze della filiera industriale e della ricerca**. In particolare, vengono identificate le principali **leve di sviluppo** - *supply chain* e competenze, modalità di finanziamento, *licensing* e *permitting* - in grado di **accelerare** il processo di implementazione del nuovo nucleare in Italia e i principali **fattori abilitanti** - framework regolatorio, gestione dei rifiuti nucleari e accettabilità sociale - che sono **necessari e decisivi** affinché il nuovo nucleare possa essere sviluppato in Italia.

I 10 MESSAGGI CHIAVE DELLO STUDIO

- 1. La produzione nucleare ha storicamente fornito una quota significativa dell'energia elettrica mondiale (in media 12,5% del totale negli ultimi 50 anni). Sebbene l'Europa abbia ridotto la propria incidenza sul totale globale, l'energia nucleare resta oggi la 1° fonte di generazione elettrica in UE (22% del totale) e 10 dei 16 Paesi al mondo in cui l'energia nucleare ha più rilevanza si trovano in UE.**

L'energia nucleare contribuisce significativamente alla **generazione di energia elettrica** da **oltre 50 anni**. A partire dal **1971**, quando il **2,1%** della generazione elettrica a livello globale proveniva da **fonte nucleare** (vs. **40%** da carbone, **23,6%** da rinnovabili, **21,1%** da petrolio e **13,2%** da gas naturale), l'utilizzo dell'energia nucleare ha registrato un *trend* di **crescita**, fino al **1996**, quando ha raggiunto il **picco di generazione (17,7%** dell'elettricità globale). A partire dal 1996, altre fonti hanno visto crescere il proprio ruolo nel mix energetico e il contributo alla generazione di energia elettrica da parte del nucleare ha subito un **rallentamento**: nel **2022** ha coperto il **9,1%** della produzione elettrica globale (circa **2.600 TWh**). In questo quadro, è bene sottolineare come la tecnologia nucleare possa vantare un'**esperienza operativa cumulata** di quasi **20.000 anni**, per un totale di circa **7,7 milioni di giorni di operatività**.

Guardando alla generazione per **macroarea**, l'**Europa** e l'**America del Nord** sono stati i principali **contributori** allo sviluppo del nucleare, soprattutto nel periodo tra **1971** e il **1990**, abilitando la generazione dell'**86,1%** del totale dell'elettricità prodotta da fonte nucleare a livello mondiale (vs. **13,2%** dall'Asia, **0,3%** dall'Africa e **0,4%** del Sud America). Negli anni successivi fino ad oggi il contributo di **Europa** e **America del Nord** si è **ridotto** al **78,3%** (**-7,8 p.p.** vs. 1971 – 1990) a fronte di un **aumento** del peso dell'**Asia**, che arriva al 2022 a registrare il **20,5%** di copertura di generazione elettrica da fonte nucleare a livello mondiale (**+7,3 p.p.** vs. 1971 – 1990). In particolare, sono stati i Paesi dell'area **APAC**¹ a migliorare il proprio posizionamento nello **scenario globale**.

¹ I Paesi dell'Asia Pacifica (o APAC) sono le nazioni asiatiche e oceaniche nell'Oceano Pacifico che includono: Samoa Americane, Australia, Bangladesh, Bhutan, Brunei Darussalam, Cambogia, Cina, Isola di Natale, Isole Cocos (Keeling), Isole Cook, Figi, Polinesia Francese, Guam, Hong Kong, India, Indonesia, Giappone, Kiribati, Corea del Nord (Repubblica Popolare Democratica di Corea), Corea del Sud (Repubblica di Corea), Repubblica Popolare Democratica del Laos, Macao, Malaysia, Maldive, Isole Marshall, Micronesia (Stati Federati di), Mongolia, Myanmar, Nauru, Nepal, Nuova Caledonia, Nuova Zelanda, Niue, Isola Norfolk, Isole Marianne Settentrionali, Pakistan, Palau, Papua Nuova Guinea, Filippine, Pitcairn, Federazione Russa, Samoa, Singapore, Isole Salomone, Sri Lanka, Taiwan (Provincia della Cina), Thailandia, Timor Est, Tokelau, Tonga, Tuvalu, Vanuatu, Vietnam, Wallis e Futuna.

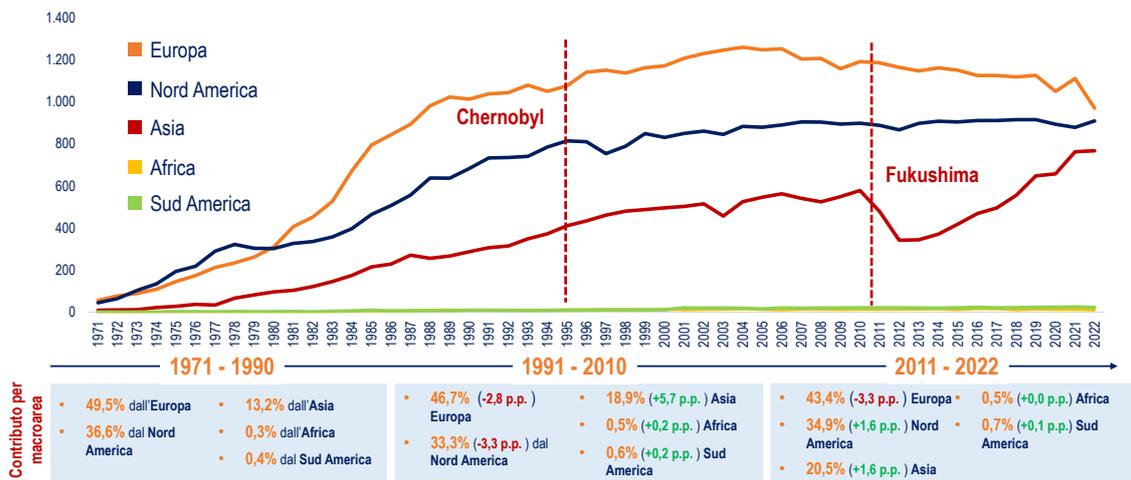


Figura I. Generazione di energia elettrica da fonte nucleare per macroarea (TWh), 1971 - 2022. Fonte: elaborazione TEHA Group su dati Ember e Energy Institute - Statistical Review of World Energy, 2024.

Spostando ora il *focus* a livello **europeo** e considerando l'orizzonte temporale degli ultimi **20 anni**, si può constatare come la fonte nucleare sia stata stabilmente la **1° tecnologia di generazione elettrica**. Dal **2001** al **2022**, in media, il **30,1%** dell'energia elettrica in UE-27 è stata generata da fonte nucleare, posizionandosi al di sopra della **generazione da carbone** (in media pari al **25,1%**) e da **gas naturale** (in media pari al **19,4%**).

Malgrado l'Europa abbia **ridotto** l'utilizzo di energia nucleare, ad oggi, rimane una delle regioni del Mondo che fanno **maggiore affidamento** sull'elettricità generata da questa fonte, che nel **2022** ha rappresentato il **23,5%** della produzione totale di energia elettrica in **UE-27**. A conferma di ciò, tra i **16 Paesi** a livello globale in cui l'energia nucleare ha maggiore rilevanza (Armenia, Belgio, Bielorussia, Bulgaria, Corea del Sud, Russia, Finlandia, Francia, Repubblica Ceca, Slovacchia, Slovenia, Spagna, Svezia, Svizzera, Ucraina e Ungheria), **14** si trovano nel continente **europeo** e **10** sono membri dell'**Unione Europea**.

In particolare, **Francia, Slovacchia e Ucraina** risultano i **primi 3 Paesi** per **incidenza** del nucleare nel proprio *mix* di **generazione** elettrica, ricoprendo quote rispettivamente pari al **65%**, **61%** e **56%**. In questi Stati, così come in **Ungheria, Finlandia, Belgio, Bulgaria e Slovenia** (che registrano quote pari al **48%**, **42%**, **41%**, **40%** e **37%** di incidenza del nucleare nella generazione elettrica) l'energia nucleare è attualmente la **1° fonte di generazione** elettrica.

2. Il nucleare sta vivendo oggi una fase di espansione e un progressivo *shift* verso l'area asiatica: 40 dei 61 progetti di reattori in stato di costruzione nel Mondo sono localizzati nei Paesi APAC, proiettando quest'area a diventare già nel 2030 il principale produttore al Mondo di energia nucleare. In questo contesto, a livello europeo sono 18 i Paesi che hanno previsto progetti di sviluppo dell'energia nucleare.

Il settore dell'energia nucleare vive oggi una fase di espansione a livello mondiale, con diversi Paesi che stanno investendo in **strategie di sviluppo del nucleare** e in progetti di costruzione di nuovi reattori. Allo stato attuale, sono censiti nel Mondo **61** progetti di reattori nucleari in stato di costruzione (per una capacità lorda totale di **68,4 GW**)², **111** reattori pianificati³ (per una capacità lorda totale di 113,9 GW) e **337** reattori in stato di proposta⁴ (per una capacità lorda totale di 378,2 GW).

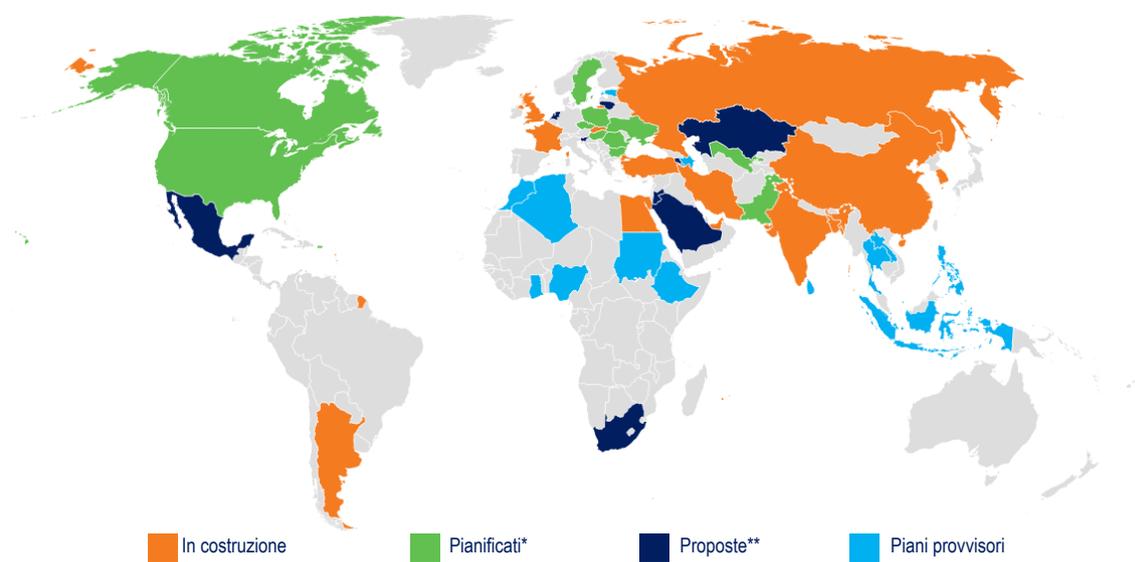


Figura II. Progetti di nuovi reattori nucleari per stato di avanzamento, marzo 2024. (*) Reattori pianificati = Approvazioni, finanziamenti o impegni in atto, la maggior parte dei reattori dovrebbero entrare in funzione entro i prossimi 15 anni. (**) Proposte = Programma specifico o proposte di nuovi impianti con tempi molto incerti. Fonte: elaborazione TEHA Group su dati «World Energy Outlook 2023» di IEA e World Nuclear Association, 2024.

La **regione APAC** (Asia-Pacifico) si dimostra l'area geografica più attiva nello sviluppo di nuove progettualità nel settore nucleare, concentrando **40 dei 61** progetti attualmente in fase di realizzazione a livello globale. Con i piani di sviluppo previsti, **l'APAC sosterebbe, già nel 2030, la quota maggiore di generazione di energia nucleare al Mondo** (37,8%), superando il Nord America – attuale *leader* di mercato con una quota del 33,5% al 2022 (vs. il 28,0%

² Fonte: «World Energy Outlook 2023», IEA e World Nuclear Association.

³ Si tratta di progetti approvati e/o con finanziamenti o impegni di spesa in atto, la maggior parte dei reattori in questione dovrebbe entrare in funzione entro i prossimi 15 anni.

⁴ Si tratta di progetti che sono stati proposti ma senza previsione di impegni di spesa e con tempi di approvazione a oggi ritenuti molto incerti.

dell'Europa e il 27,9% dell'APAC). **La Cina** in particolare **si distingue** per un piano ambizioso che la proietta ad avere un **ruolo di leader globale nel settore** e che l'ha già portata a **raddoppiare**, negli ultimi 20 anni, la quota di nucleare nel proprio *mix energetico* (5,0% nel 2022 vs 2,2% nel 2003 con una produzione di 417,8 TWh).

Guardando all'Europa, per rispondere agli obiettivi di decarbonizzazione, diversi Paesi hanno iniziato a **diversificare il proprio mix energetico**, riducendo la quota di produzione di energia da fonti fossili e puntando su un *mix* equilibrato di tecnologie *low carbon*, tra cui il nucleare. Ad oggi, in Europa sono **18 i Paesi** che hanno **progetti di sviluppo in corso o prevedono strategie di potenziamento dell'energia nucleare in futuro**. Tra questi, in particolare, Francia, Polonia, Svezia, Finlandia, Repubblica Ceca stanno investendo nella costruzione di nuovi reattori, tra cui anche SMR⁵. **Paesi Bassi e Belgio**, inoltre, dopo una scelta iniziale di dismissione della produzione di energia nucleare, hanno rivisto le loro scelte e **reindirizzato i piani energetici nazionali a favore dello sviluppo del nucleare**.

In controtendenza con questi programmi di sviluppo del nucleare, la Germania, la Svizzera e la Spagna hanno predisposto strategie nazionali di dismissione del nucleare. Tuttavia, nonostante queste scelte di *phase-out*, il **nucleare rimane una tecnologia chiave per la transizione energetica su cui l'Europa sta puntando**, riservando una particolare attenzione per il **nuovo nucleare**.

In aggiunta a queste considerazioni, è utile precisare come la combinazione di una posizione di *leadership* nei progetti attualmente in realizzazione (**27 su 61**) e il **rafforzamento della supply chain** interna perseguito dalla Cina negli anni stia determinando un **progressivo shift delle tecnologie nucleari**: se i Paesi *leader* nella tecnologia nucleare per i reattori attualmente in funzione nel Mondo sono **Stati Uniti** (29,2%) e **Francia** (17,8%), per i progetti attualmente in fase di sviluppo cresce il posizionamento della Cina, che con una quota del **42,9%** dei reattori in costruzione si posiziona al **primo posto tra i provider tecnologici**⁶, **seguita dalla Russia con una quota del 28,6%**.

⁵ Small Modular Reactor.

⁶ Il ruolo emergente della Cina è caratterizzato da una crescente autosufficienza tecnologica. Secondo quanto riportato dal "China Nuclear Energy Development Report 2024", il Libro Blu presentato ad aprile 2024 dall'Associazione delle industrie cinesi di energia nucleare, per la costruzione di centrali nucleari, soprattutto rispetto al *design* dei nuovi progetti in via di sviluppo, la Cina utilizza componenti quasi interamente di fabbricazione cinese. Il ruolo di primo piano della Cina si lega quindi al fatto che molti di questi reattori in sviluppo sono in Cina ed utilizzano tecnologie domestiche.

3. Il nuovo nucleare - costituito da *Small Modular Reactor (SMR)* e *Advanced Modular Reactor (AMR)* - rappresenta una innovazione per lo sviluppo dell'energia nucleare, con molteplici caratteristiche peculiari rispetto alla tecnologia tradizionale. In un contesto di forte competizione internazionale (sono oltre 80 i progetti in fase di sviluppo nel Mondo), l'Europa sta adottando misure concrete per promuovere lo sviluppo del nuovo nucleare e ha avviato a marzo 2024 l'European Industrial Alliance sugli SMR.

Dalla prima generazione di reattori nucleari sviluppati negli anni '50, la tecnologia nucleare ha subito un'evoluzione significativa che è culminata in **enormi progressi tecnologici in termini di efficienza e sicurezza degli impianti**. Oggi, la tecnologia nucleare si sta specializzando nello **sviluppo di reattori modulari di piccola taglia** in grado di offrire maggiore flessibilità, adattabilità e molteplici applicazioni industriali. In questo senso, le **nuove tecnologie nucleari rappresentano una discontinuità tecnologica rispetto al passato**, permettendone l'adozione sicura su vasta scala grazie ad un **design modulare semplificato**.

All'interno dello sviluppo del cosiddetto nuovo nucleare, lo Studio ha considerato gli *Small Modular Reactor (SMR)* e gli *Advanced Modular Reactor (AMR)*. In particolare, **gli SMR impiegano l'ultima evoluzione della tecnologia di 3° generazione** – ovvero l'evoluzione dell'attuale tecnologia ad acqua utilizzata negli impianti nucleari europei - puntando sulla piccola taglia, sulle economie di serie e sulla costruzione modulare per garantire una riduzione dei tempi di costruzione e tempi di ritorno economico sugli investimenti più brevi. Seguendo il concetto di **staffetta tecnologica** identificato nel Rapporto, gli **AMR si integrano in logica complementare agli SMR**, sviluppando la tecnologia nucleare di 4° generazione in un *design* modulare di piccola taglia. Gli elementi fondanti di questa staffetta tecnologica sono, pertanto, la commercializzazione degli AMR prevista dopo il 2040, la complementarità degli utilizzi – fondata sulle diverse temperature raggiunte – e la gestione di combustibile e rifiuti in ottica di chiusura del ciclo, abilitando il riciclo del combustibile esausto come nuovo combustibile per le centrali nucleari.

A livello tecnico, **gli SMR sono reattori con potenze comprese tra circa 100 e 450 MW**, con un consumo di suolo per energia prodotta pari a $0,04 \text{ m}^2/\text{MWh}_{\text{anno}}$, **2 volte** superiore alle centrali CCGT (centrali a gas a ciclo combinato, con consumo di suolo di $0,02 \text{ m}^2/\text{MWh}_{\text{anno}}$) e **100 volte** inferiore rispetto ad un impianto fotovoltaico *utility-scale* ($4,4 \text{ m}^2/\text{MWh}_{\text{anno}}$).⁷ A parità di potenza installata (m^2/MW), un SMR occupa circa 2,4 volte lo spazio di un impianto CCGT

⁷ L'analisi considera un impianto SMR da 340 MW con un'estensione totale di 12 ettari e circa 7.880 ore di funzionamento in un anno. Per un impianto fotovoltaico sono state considerate 1.800 ore di funzionamento ed un consumo di suolo di 0,8 ettari per MW installato. Il confronto con le centrali a gas a ciclo combinato (CCGT) considera un impianto da 850 MW, un consumo di suolo di 6 ettari e 3.500 ore di funzionamento (stimate come ore di funzionamento in prospettiva al 2035). Nel caso di un CCGT abbinato ad un sistema CCS, l'analisi ha considerato 7.000 ore di funzionamento e un'estensione dell'impianto di 11 ettari. Fonte: dati Edison.

con CCS (350 m²/MW vs. 145 m²/MW) e 5 volte lo spazio di un impianto CCGT senza CCS (350 m²/MW vs. 70 m²/MW). La disponibilità commerciale di queste soluzioni è prevista **a partire dal 2030**, ma già oggi hanno raggiunto un **livello di maturità tecnologica pari a 7/8⁸**, con alcuni *design* di SMR in fase di dimostrazione operativa. Lo sviluppo del nuovo nucleare porta con sé molteplici **caratteristiche peculiari** rispetto alla tecnologia tradizionale, che si rivelano particolarmente funzionali per il raggiungimento dei *target* di decarbonizzazione al 2050 in una **logica di integrazione ottimale con lo sviluppo delle rinnovabili** grazie a una produzione stabile e modulabile.

Le caratteristiche peculiari del nuovo nucleare



Figura III. Le caratteristiche peculiari del nuovo nucleare rispetto alle grandi centrali tradizionali (illustrativo). (*) Permette di modulare la produzione degli impianti da 100% elettrici ad un mix di elettricità e calore a seconda delle necessità del Paese e dei settori industriali. Fonte: elaborazione TEHA Group su fonti varie, 2024.

In questo contesto, a livello globale si registrano attualmente **oltre 80 progetti in via di sviluppo** associati al nuovo nucleare, con **Cina e Russia che si posizionano alla frontiera tecnologica** e rappresentano oggi gli unici 2 Paesi ad aver sviluppato i primi modelli operativi. Tuttavia, anche in Europa (Francia e Regno Unito), in Nord America (Canada e USA) e in altri Paesi (tra cui, ad esempio, Corea del Sud, Giappone e Argentina) sono in sviluppo nuovi progetti di nuovo nucleare, che attualmente si posizionano in uno stadio meno avanzato di TRL, e che potranno vedere un forte sviluppo nei prossimi anni.

In particolare, con riferimento all'Europa, durante il Nuclear Energy Summit 2024 **la Presidente della Commissione Europea Ursula Von Der Leyen ha ribadito l'importanza degli SMR per la transizione energetica**. A tal fine, a marzo 2024, l'Unione Europea ha avviato l'iniziativa dell'**European Industrial Alliance sugli SMR** con l'obiettivo di promuovere un **programma europeo comune** e creare le migliori condizioni per la diffusione degli SMR in tutta l'Unione Europea, **valorizzando al meglio le competenze e il know-how della filiera**

⁸ Il *Technology Readiness Level* (TRL, in italiano Livello di Maturità Tecnologica) è una metodologia per la valutazione del grado di maturità di una tecnologia (da 1 a 9), dalle fasi iniziali di *concept* e sperimentazione (TRL 2-3) alla fase di dimostrazione della tecnologia in un ambiente operativo (TRL 7), fino a raggiungere la commercializzazione e validazione su larga scala in ambiente operativo (TRL 9).

nucleare europea. L'Alleanza europea mira alla **costruzione dei primi modelli di SMR nel 2030** e prevede di definire una **roadmap strategica entro marzo 2025**.

Ad aprile 2024 anche l'Italia ha aderito all'Alleanza Industriale Europea sugli SMR, tramite il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE). Si tratta di una scelta in logica industriale che **ha anticipato l'inserimento di scenari di sviluppo del nucleare all'interno del PNIEC** (Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima) inviato alla Commissione Europea a luglio 2024. Il ruolo centrale dell'Italia nello sviluppo europeo del nuovo nucleare è evidenziato dall'**elevata adesione delle aziende italiane all'Alleanza Industriale Europea sugli SMR**, seconde per numero solo alla Francia.

- 4. Gli scenari al 2050 prevedono un aumento significativo del fabbisogno elettrico, sia a livello europeo (2,0–2,9 volte vs. 2023) che a livello italiano (quasi 2 volte vs. 2023), alla luce della crescente penetrazione dell'elettricità nei consumi finali e dall'aumento della capacità computazionale, guidata dalle nuove tecnologie digitali. In questo quadro, il nuovo nucleare si distingue come una soluzione chiave, essendo la tecnologia di generazione elettrica a minore intensità carbonica e garantendo al contempo una fornitura stabile e modulabile nell'arco della giornata e dell'anno.**

La crescente elettrificazione degli usi finali determina **previsioni per il 2050** dei consumi elettrici nell'Unione Europea, tra i 4.900 TWh e i 6.922 TWh (pari a un **aumento di 2,0 – 2,9 volte** rispetto ai consumi elettrici attuali). **Le dinamiche di consumo di elettricità in Italia rispecchiano da vicino quelle dell'UE**, in particolare, una stima più conservativa⁹ riporta un consumo di circa **520 TWh al 2050 (1,7 volte** i consumi elettrici del 2023), mentre il **PNIEC** (Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima) di giugno 2024 prevede un consumo di poco superiore ai **583 TWh¹⁰ al 2050 (1,9 volte** i consumi elettrici del 2023).

⁹ Fonte: "Il nuovo nucleare in Italia: perché, come, quando", Edison, Ansaldo Nucleare, ENEA, Politecnico di Milano e Nomisma Energia, 2023.

¹⁰ Nello scenario in cui l'energia nucleare contribuisce per l'11% della domanda elettrica.

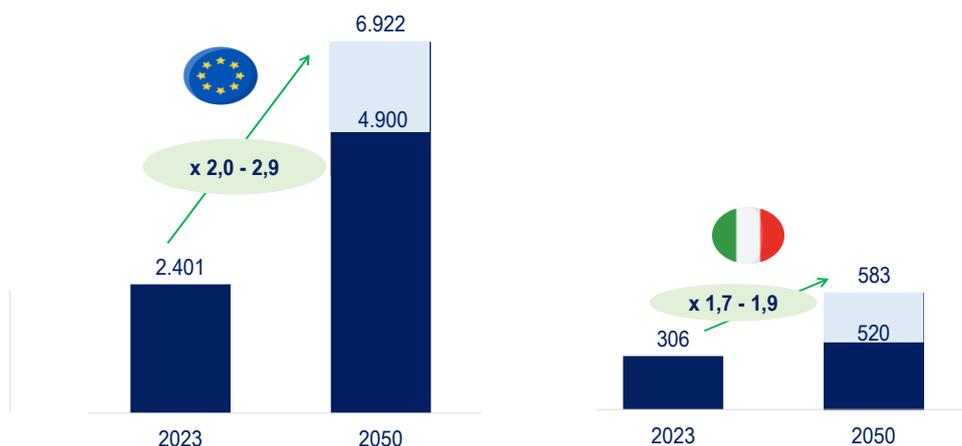


Figura IV. Consumi elettrici nell'Unione Europea e in Italia (TWh), 2023 e 2050. Fonte: elaborazione TEHA Group su dati Commissione europea, Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, Terna e fonti varie, 2024.

L'aumento previsto della domanda di elettricità per l'UE e l'Italia tra il **2023** e il **2050** può essere attribuito a **due principali fattori strutturali**. In primo luogo, vi è una crescente **penetrazione dell'elettricità nei consumi finali**, in particolare nel settore dei **trasporti** (dall'**1%** nel **2023** a quasi il **50%** nel **2050** in Italia) e nel settore **residenziale** (dal **5%** nel 2023 al **66%** nel 2050 in Italia). In secondo luogo, grazie alla diffusione dei processi di digitalizzazione, stiamo assistendo a un **aumento della necessità di capacità di calcolo**, che sarà accelerato significativamente dai progressi di tecnologie quali l'**intelligenza artificiale** e dalla diffusione degli **High Performance Computer (HPC)**, nonché dalle nascenti **tecnologie quantistiche**. Tutte tecnologie che richiedono un crescente numero di **data center con un elevato consumo elettrico**, amplificando quindi il fabbisogno energetico che il sistema elettrico deve soddisfare: se nel 2023 i consumi elettrici dei *data center* in Italia ammontavano a 3,8 TWh (1% dei consumi elettrici nazionali), al 2030 è previsto un consumo elettrico di 15,4 TWh (consumo elettrico di 6,7 volte quello dell'intera industria farmaceutica nel 2022).

- 5. Il nucleare può giocare un ruolo chiave nei processi di decarbonizzazione. Considerando tutto il ciclo vita, è infatti la tecnologia di generazione elettrica con il più basso fattore emissivo. Inoltre, grazie alle sue caratteristiche, è in grado di garantire una fornitura stabile e programmabile, agendo da “stabilizzatore sistemico” in complementarità con lo sviluppo delle rinnovabili intermittenti e abilitando così una produzione elettrica integrata e decarbonizzata.**

Il nuovo nucleare si distingue come una **soluzione chiave per le sfide che il settore energetico deve affrontare da qui al 2050**, essendo la **tecnologia di generazione elettrica a minore intensità carbonica** su tutto il ciclo di vita ed essendo in grado, al contempo, di **garantire una fornitura stabile e modulabile**, ideale per fornire l'energia necessaria a gestire una domanda costante di energia. Queste caratteristiche ben si integrano con le **rinnovabili**, che al contrario, possono soddisfare i **picchi** di domanda, soprattutto nelle ore **centrali della giornata** (durante le quali i pannelli solari ricevono l'irraggiamento più forte e

sono in grado di generare più energia) o nelle ore a maggiore **ventosità**. Grazie alla capacità di **load-following**¹¹, il nuovo nucleare è in grado di modulare la fornitura di energia alla rete elettrica, limitando il *curtailment* e la capacità di stoccaggio necessaria per la stabilità della rete. Operando il *load-following*, l'energia prodotta dal nuovo nucleare può essere ridotta, per lasciare spazio alle rinnovabili, o reimpiegata ad esempio per la fornitura di calore e per alimentare sistemi di stoccaggio termico o impianti di produzione di idrogeno decarbonizzato.

Anche sulla base di queste motivazioni, il **16 febbraio 2024**, il **nucleare** (e il nuovo nucleare) è entrato a far parte delle tecnologie incluse nell'European NZIA (Net Zero Industry Act). Nell'atto sono state incluse tutte quelle tecnologie che possono dare un forte "**contributo alla decarbonizzazione**", ovvero quelle tecnologie a **zero emissioni nette** che si prevede contribuiranno significativamente all'impegno legale dell'UE di ridurre le emissioni nette di gas serra di almeno il **55%** entro il **2030**, rispetto ai livelli del 1990. Considerando l'intero **ciclo vita**, infatti, l'energia nucleare è in grado di **limitare** le emissioni a circa **5,8 gCO_{2-eq} per kWh prodotto**, un livello di emissioni di ben **79 volte minore** rispetto al **gas naturale (458,0 gCO_{2-eq} per kWh prodotto)**.

Inoltre, il nuovo nucleare si **complementa perfettamente allo sviluppo delle rinnovabili**. Durante le ore notturne o nei periodi di scarso irraggiamento solare e insufficiente disponibilità di vento, la produzione di energia rinnovabile può contare sulla generazione stabile del nucleare, per coprire la domanda. In un **sistema energetico integrato**, il **nucleare può quindi fornire la base di generazione stabile e modulabile**¹², in funzione della penetrazione delle rinnovabili nel sistema, per **integrare il contributo delle rinnovabili che possono soddisfare principalmente i picchi di domanda, creando un mix energetico efficiente e a basse emissioni di carbonio**.

¹¹ La capacità *load-following* fa riferimento alla capacità di regolare la fornitura di energia alla rete elettrica, essenziale per garantire la stabilità della rete data l'intermittenza delle rinnovabili.

¹² Il nuovo nucleare viene infatti proposto anche in contesti caratterizzati da un'elevata penetrazione delle fonti rinnovabili. In tali scenari, l'eccesso di produzione netta in determinati periodi, sia giornalieri che stagionali, anziché causare *curtailment* o richiedere una notevole capacità di stoccaggio, potrebbe essere gestito modulando la potenza nucleare immessa in rete tramite la cosiddetta cogenerazione a inseguimento del carico, o utilizzando sistemi di stoccaggio termico e impianti per la produzione di idrogeno, considerabile a sua volta come un sistema di stoccaggio chimico. Attualmente, scenari di modulazione come quello descritto sono oggetto di studio attraverso simulatori e ottimizzatori che modellano il sistema e simulano la domanda.

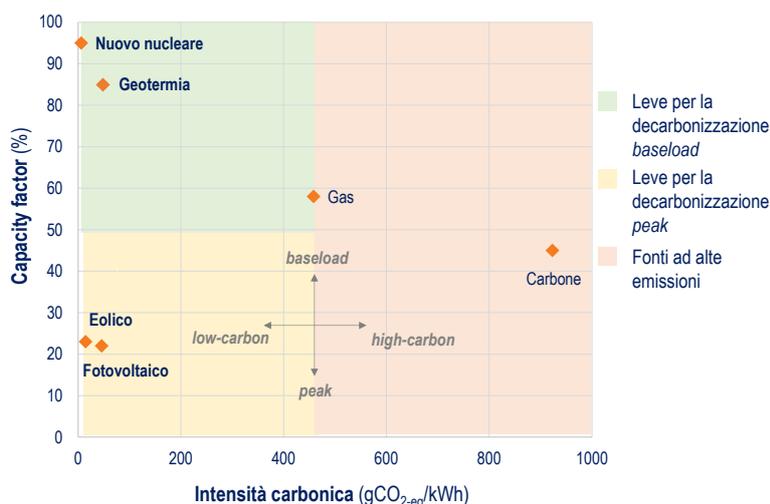


Figura V. Principali fonti energetiche per capacity factor (%) e intensità carbonica (gCO₂-eq per kWh). NB: il capacity factor è il rapporto tra l'energia prodotta in un intervallo di tempo e quella che avrebbe potuto essere prodotta se l'impianto avesse funzionato, nello stesso intervallo, alla potenza nominale. Le emissioni GHG sul ciclo vita delle rinnovabili, quali geotermia, fotovoltaico ed eolico, fanno riferimento alle emissioni causate dalla loro fabbricazione, costruzione e funzionamento. In particolare, nel caso della geotermia, le centrali rilasciano piccole quantità di CO₂, ossidi di azoto e particolato. Questi gas si trovano naturalmente nei bacini geotermici e si possono riversare in superficie e nell'atmosfera durante l'operatività della centrale. Fonte: elaborazione TEHA Group su dati Eurostat e UNECE, 2024.

La **complementarità** del **nuovo nucleare** con lo **sviluppo delle rinnovabili** si evidenzia anche in termini di **riduzione** dei **costi di sistema aggiuntivi** associati all'incremento previsto della quota di rinnovabili nel mix energetico nazionale. Le rinnovabili, ed in particolare fotovoltaico ed eolico che non sono programmabili ma producono quando c'è disponibilità di sole e vento, necessitano di **systemi di accumulo di energia** per rendere disponibile l'elettricità prodotta quando i consumatori finali ne hanno bisogno. Inoltre, necessitano di un **potenziamento delle infrastrutture di rete** per trasferire al nord, dove è concentrata due terzi della domanda elettrica italiana, l'elettricità prodotta prevalentemente al sud dove sono maggiormente presenti sole e vento. Al crescere della quota di copertura da parte delle rinnovabili del fabbisogno elettrico del sistema italiano, i costi per sistemi di accumulo e potenziamento delle infrastrutture aumentano più che proporzionalmente e, oltre ad una quota di circa 80%, è necessario un **significativo sovradimensionamento gli impianti di produzione elettrica rinnovabili** per far fronte all'intermittenza, anche prolungata, che le caratterizza. Pertanto, uno scenario 100% rinnovabili al 2050 comporterebbe un forte incremento dei costi di sistema, non sostenibile in termini economici e di competitività del Paese.

Per raggiungere in modo efficiente gli obiettivi di *decarbonation* al 2050 è quindi necessario affiancare alle rinnovabili lo sviluppo di fonti di generazione elettrica programmabili, decarbonizzate e possibilmente collocate in prossimità dei centri di maggior consumo, che coprano circa il 20% del fabbisogno nazionale. In questo contesto il nuovo nucleare può giocare un ruolo importante, come evidenziato anche nello scenario PNIEC di giugno 2024 che ipotizza al 2050 una quota di nuovo nucleare compresa tra 11 e 22%. Il **nuovo nucleare** consentirebbe alle rinnovabili di sprigionare il loro **pieno potenziale** tramite:

- la **programmabilità e la stabilità nella produzione** energetica, che ridurrebbe significativamente la necessità di sistemi di accumulo su larga scala. Questa caratteristica permette alle rinnovabili di operare in modo più **efficiente**, sfruttando la loro **produzione quando le condizioni sono ottimali**, senza la necessità di dover coprire l'intera domanda energetica in ogni momento;
- la **riduzione dei costi di adeguamento della rete**, abilitata dalla **localizzata dei nuovi reattori SMR/AMR vicino ai centri di consumo**. Questa caratteristica permetterebbe una diminuzione della necessità di estesi potenziamenti delle infrastrutture di trasmissione;
- la riduzione del sovrainvestimento degli impianti di produzione elettrica rinnovabile per far fronte ai periodi di prolungata **intermittenza della produzione elettrica rinnovabile**.

6. Il nuovo nucleare rappresenta una delle fonti energetiche più sicure ed affidabili per indirizzare l'autonomia strategica. Questa tecnologia, infatti, presenta allo stesso tempo una bassa necessità di combustibile e una limitata dipendenza dalle materie prime critiche. Inoltre, considerata la rilevanza dell'Unione Europea nell'industria nucleare a livello globale, la possibile dipendenza da Paesi terzi è ulteriormente ridotta.

L'energia nucleare emerge come **una delle fonti energetiche più sicure e affidabili**. In particolare, l'autonomia strategica del nuovo nucleare si può articolare lungo **3 dimensioni chiave: combustibile, materie prime critiche e tecnologia**.

Con riferimento al combustibile, **i Paesi produttori di uranio sono più geopoliticamente stabili** (rispetto a gas e carbone). Nel caso del gas, il **28,8%** della produzione è in mano a Paesi con **rischio geopolitico¹³ basso o medio-basso**, mentre per quanto riguarda il carbone addirittura il **70% della produzione si trova in Paesi con rischio geopolitico medio-alto**. Con riferimento alla produzione di uranio, **quasi un quarto della produzione mondiale (24,2%) è concentrata in Paesi a bassissimo rischio geopolitico** come il Canada e l'Australia. Considerando le **riserve di combustibili**, indice della produzione futura potenziale, il vantaggio a favore dell'uranio appare ancora più netto. **L'Australia e il Canada dispongono infatti di ingenti riserve, pari al 41% del totale mondiale**.

¹³ Come variabile proxy del rischio geopolitico è stato utilizzato il Fragile State Index (FSI), un indice composito che misura la solidità politica, economica e sociale di 179 Paesi. Il FSI riporta per ogni Paese un punteggio da 0 (rischio geopolitico nullo) a 100 (rischio geopolitico estremamente elevato). TEHA ha diviso i Paesi in cinque fasce, da quella dei Paesi caratterizzati da rischio geopolitico molto basso (FSI ≤ 35) fino a quella dei Paesi caratterizzati da rischio geopolitico molto elevato (FSI > 80).

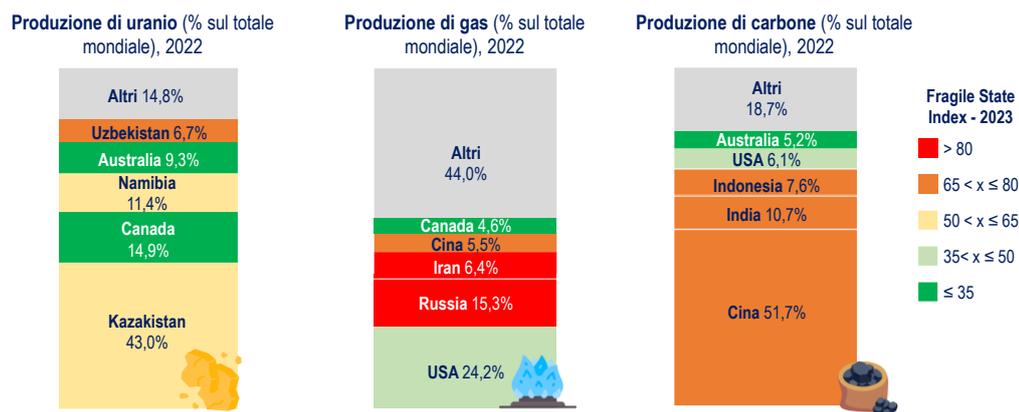


Figura VI. Principali Paesi in termini di produzione di uranio, gas e carbone (% della produzione mondiale) e rischio geopolitico ad essi associato (punteggio nel Fragile State Index), 2022. Fonte: TEHA Group su dati World Nuclear Association, Energy Institute, The Fund for Peace e USGS, 2024.

Con riferimento alle **materie prime critiche**, il nucleare emerge come una **tecnologia che garantisce un elevato livello di autonomia strategica**, in termini di volume di materie prime critiche necessarie per unità di elettricità prodotta. Infatti, per **ogni GWh di elettricità prodotta**, il solare richiede **207,8 kg** di materie prime critiche (principalmente rame e silicio), l'eolico necessita di **162,9 kg**, il carbone di **14,1 kg**, il **nucleare di 9,3 kg** e il gas di **3,9 kg**. Questi dati evidenziano come il nuovo nucleare, rispetto ad altre tecnologie energetiche che contribuiscono alla decarbonizzazione, richieda una quantità significativamente inferiore di materie prime critiche per la produzione di elettricità, **riducendo così la dipendenza dall'estero anche rispetto a questa dimensione**. Inoltre, il **53,5% delle materie prime critiche necessarie per il nucleare presenta un supply risk basso¹⁴, il 43,7% medio-basso e solo il 2,9% medio-alto**. La bassa percentuale di materiali con un rischio medio-alto testimonia la **stabilità e la resilienza delle catene di approvvigionamento nucleari** rispetto ad altre tecnologie energetiche che dipendono maggiormente da materie prime critiche ad alto rischio.

¹⁴ Fonte: Commissione europea “Study on the critical raw materials for the EU 2023”.

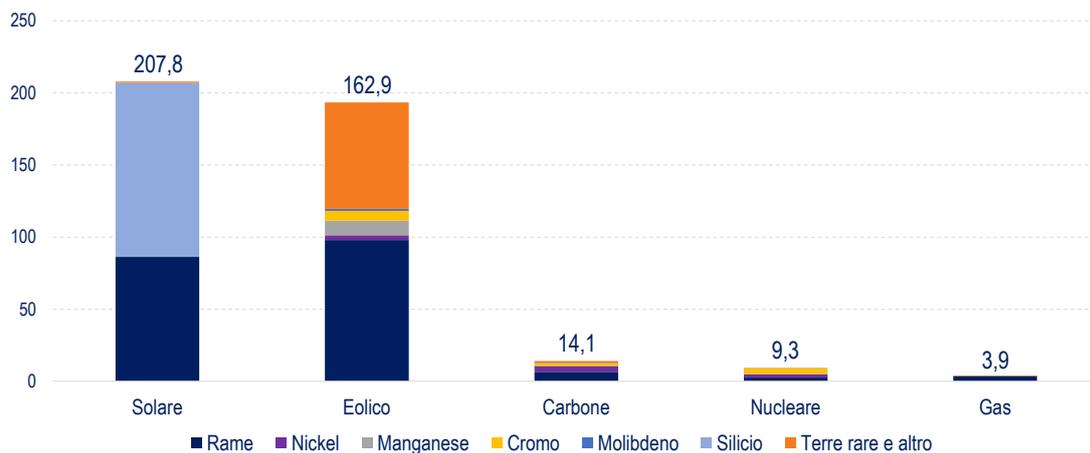


Figura VII. Materie prime critiche e strategiche necessarie per la costruzione delle infrastrutture energetiche per tipo di fonte energetica (kg per GWh), 2021. N.B. Rame e nickel non raggiungono la soglia di *supply risk* necessaria per essere classificate come materie prime critiche secondo il Critical Raw Materials Act della Commissione Europea, ma sono comunque incluse tra di esse in qualità di "materie prime strategiche". Fonte: TEHA Group su dati IEA e Eurostat, 2024.

Infine, per quanto concerne la terza dimensione dell'autonomia strategica, quella legata alla **tecnologia**, le catene del valore del settore nucleare nell'UE sono **tra le più consolidate al Mondo**. L'UE non solo ha mantenuto la sua posizione sul mercato globale, ma ha anche rafforzato la sua capacità di *export*, dimostrando una resilienza notevole e una **competenza tecnologica avanzata**. Uno dei modi per **valutare l'autonomia tecnologica** di un Paese nel settore energetico è proprio rappresentato dal suo **livello di export**. Se un Paese esporta una quantità significativa di tecnologia energetica, questo implica che **ha sul suo territorio catene del valore ben sviluppate e integrate, capaci di rispondere ai bisogni non solo nazionali ma anche esteri**. La capacità di *export* è quindi indicativa del grado di autonomia tecnologica, che come anticipato rappresenta una delle tre dimensioni della sicurezza strategica. Prendendo come riferimento il quinquennio 2018 – 2022, **l'Unione Europea** emerge come il primo esportatore al Mondo, con **oltre 1,6 miliardi di Euro di valore esportati**, seguita da Stati Uniti (**1,5 miliardi di Euro**) e Russia (**1,4 miliardi di Euro**)¹⁵.

¹⁵ A differenza dell'export dei moduli fotovoltaici, dominato dalla Cina con un valore di 42,3 miliardi di Euro nel 2022 (fonte: Bloomberg NEF). Il dominio cinese nell'export della tecnologia fotovoltaica trova spiegazione nell'elevata capacità manifatturiera domestica: dal 2017 ad oggi sono stati costruiti quasi 172 GW/anno di capacità produttiva di moduli fotovoltaici a livello globale, di cui 134 GW (78%) in Cina. In confronto, l'Europa continua a registrare numeri molto più modesti, con un export di moduli fotovoltaici che nel 2022 si è attestato a soli 0,8 miliardi di Euro (fonte: Eurostat).

7. Considerando gli scenari di sviluppo previsti in Unione Europea (60 GW) e in Italia (6,8 GW) al 2050, il nuovo nucleare potrebbe generare un mercato potenziale pari a fino 46 miliardi di Euro per la filiera industriale italiana, con un Valore Aggiunto attivabile fino a 14,8 miliardi di Euro. Considerando anche i benefici indiretti e indotti, investire nel nuovo nucleare potrebbe abilitare un potenziale impatto economico complessivo per il sistema-Paese di circa 50 miliardi di Euro (~2,5% del PIL italiano del 2023) e generare 117.000 nuovi posti di lavoro.

Nonostante lo stop alla produzione di energia nucleare in Italia negli ultimi decenni, la filiera industriale italiana dimostra ancora oggi **competenze lungo quasi tutta la supply chain**, ad esclusione del settore di fornitura e arricchimento dell’uranio. Complessivamente, l’intero **valore economico** (“valore esteso”) generato nel **2022** dalle aziende italiane specializzate nella filiera nucleare raggiunge circa **4,1 miliardi di Euro**, con **1,3 miliardi di Valore Aggiunto** prodotto e circa **13.500 dipendenti**¹⁶. Limitando l’analisi al “**valore core**”¹⁷ della filiera industriale riconducibile alle sole attività delle aziende legate all’energia nucleare, il fatturato generato dalle aziende italiane nel 2022 si attesta a **457 milioni di Euro** e **161 milioni di Valore Aggiunto**, con **circa 2.800 occupati**.



Figura VIII. Suddivisione a livello settoriale del fatturato (grafico a sinistra) e del Valore Aggiunto (grafico a destra) della filiera italiana core del nucleare (%), 2022. Fonte: elaborazione TEHA Group su dati Istat, Aida e fonti varie, 2024.

Al fine di quantificare i benefici per il sistema-Paese associati allo sviluppo del nuovo nucleare, lo Studio Strategico ha sviluppato, inoltre, un’analisi proprietaria *ad hoc* per stimare il

¹⁶ I valori complessivi della filiera industriale di aziende attive nel nucleare (“valore esteso”) riportano i dati di riferimento per il totale dei ricavi e dipendenti di tutte le aziende censite. A partire da queste informazioni, attraverso l’analisi della letteratura e dei singoli bilanci delle aziende è stato derivato un “valore core” della filiera del nucleare che considera i soli valori economici e occupazionali sostenuti dal nucleare all’interno dell’impresa.

¹⁷ Il valore core stima i dati di fatturato, Valore Aggiunto e dipendenti riconducibili al solo settore dell’energia nucleare attraverso l’analisi dei singoli bilanci delle 70 aziende incluse nella filiera industriale italiana.

potenziale di sviluppo del nuovo nucleare per la filiera industriale italiana secondo gli **scenari previsti in Unione Europea al 2050** (60 GW) e in **Italia** (6,8 GW¹⁸).

Lo sviluppo del nuovo nucleare a livello europeo potrebbe attivare un **mercato potenziale di oltre 20 miliardi di Euro per le aziende italiane**, se la filiera si specializzasse anche negli altri segmenti della *supply chain* in cui l'Italia può valorizzare solide competenze e *know-how* (es. turbine e componenti). Parallelamente, **se l'Italia attivasse un programma di sviluppo del nuovo nucleare**, si potrebbe abilitare un ulteriore **mercato potenziale** stimato in circa **25 miliardi di Euro per le aziende italiane** al 2050. Tale scenario consentirebbe alla filiera italiana di specializzarsi nella *supply chain* del nuovo nucleare e acquisire le **competenze ed economie di scala** per poter contribuire attivamente allo sviluppo di questa tecnologia in Europa, **promuovendo maggiormente il local content** nella fase di sviluppo e costruzione e beneficiando anche delle ricadute indirette locali¹⁹.

In prospettiva al 2050, lo sviluppo del nuovo nucleare in Europa e in Italia può dunque attivare un mercato complessivo per la filiera industriale italiana pari a circa **46 miliardi di Euro**. Dal valore di mercato, l'analisi ha successivamente stimato il **potenziale Valore Aggiunto per la filiera diretta** collegato allo sviluppo del nuovo nucleare, con l'obiettivo poi di quantificare gli impatti economici e occupazionali sul sistema-Paese. Complessivamente, gli investimenti per il nuovo nucleare potrebbero generare un **valore aggiunto di 14,8 miliardi di Euro** per la filiera diretta in Italia²⁰.

Grazie all'**elevato moltiplicatore economico** del settore dell'energia nucleare in Europa, investire nel nuovo nucleare e supportare la competitività della filiera italiana potrebbe abilitare un potenziale **impatto economico complessivo per il sistema-Paese di 50,3 miliardi di Euro** (~ 2,5% del PIL italiano), beneficiando di **35,5 miliardi di Euro di benefici indiretti e indotti**. Lo sviluppo del nuovo nucleare al 2050 consentirebbe infatti all'Italia di beneficiare di un **elevato moltiplicatore economico e occupazionale** in grado di **amplificare le ricadute economiche e occupazionali per il sistema-Paese**. Il nuovo nucleare potrebbe dunque avere un ruolo strategico anche a livello occupazionale, abilitando circa **39.000 occupati diretti** per la filiera e oltre 78.000 nuovi posti di lavoro indiretti e indotti, con un impatto totale sul sistema-Paese di circa **117.000 nuovi posti di lavoro**.

¹⁸ Lo scenario italiano elaborato nello Studio (escluso dallo scenario UE) considera la realizzazione di 20 impianti SMR al 2050, in grado di soddisfare il **10% dei consumi elettrici** italiani.

¹⁹ Le ricadute indirette locali considerano la manodopera in loco e le commesse per i materiali da cantiere e gli strumenti e attrezzature di fabbrica.

²⁰ Il valore aggiunto generato dagli investimenti per lo sviluppo del nuovo nucleare è calcolato applicando l'attuale relazione tra fatturato e valore aggiunto delle imprese della filiera industriale italiana del nucleare.



Figura IX. Stima dell'impatto economico e occupazionale totale al 2050 per il sistema-Paese attivabile grazie agli investimenti di costruzione del «nuovo nucleare» in Europa e in Italia (miliardi di Euro e numero di occupati), 2024. (*) Elaborazione su dati interni Edison-Ansaldo. Fonte: elaborazione TEHA Group, 2024.

8. L'industria energivora ha un ruolo cruciale nel processo di decarbonizzazione in Italia: nel 2022 ha contribuito al 15% delle emissioni GHG e al 16% dei consumi energetici nazionali. In questo contesto, il nuovo nucleare emerge come una soluzione strategica, non producendo emissioni di CO₂ durante la fase operativa, garantendo una fornitura stabile e modulabile di energia e offrendo molteplici possibilità di applicazione (elettricità, calore per usi industriali ed idrogeno).

L'industria ha un **ruolo cruciale** nel processo di transizione energetica e decarbonizzazione. Basti pensare che essa è oggi **responsabile di oltre il 20% delle emissioni climalteranti in Italia ed in Europa**, dietro solamente ai settori dei trasporti e della produzione di energia. Similmente, l'industria rappresenta **più di un quinto dei consumi di energia finale** sia a livello italiano che europeo, al 3° posto dopo il settore dei trasporti e l'ambito residenziale.

A livello italiano, l'**industria energivora**²¹ nel 2022 rappresentava il **15%** delle emissioni GHG e il **16%** dei consumi energetici nazionali. I settori energivori sono responsabili di oltre il **70% delle emissioni di gas a effetto serra e dei consumi finali di energia dell'industria italiana**. Alle elevate emissioni di questa industria contribuisce l'incidenza, ancora preponderante, dei **combustibili fossili nel mix energetico**. In Italia, l'energia fossile costituisce ancora il **95%** dei consumi totali di energia finale nell'industria energivora, con le rinnovabili conseguentemente appena sopra al 5%. Il **gas naturale** è, in particolare, dominante tra le fonti energetiche di questi settori, tanto da ricoprire in media il **37%** dei consumi energetici finali dell'industria energivora²².

²¹ L'industria energivora include i settori della siderurgia, minerali non metallici (vetro, cemento e ceramica), carta, chimica, estrazione e prodotti alimentari.

²² Il dato fa riferimento all'uso diretto del gas naturale nei processi industriali. Vi è inoltre una quota importante di gas naturale utilizzato nella produzione di elettricità.

La disponibilità di energia stabile, economica e decarbonizzata diventa quindi un **fattore determinante per la capacità delle imprese** di mantenere la propria competitività sui mercati domestici e internazionali. In questo contesto, il **nuovo nucleare** emerge come una **soluzione strategica**, non producendo emissioni di CO₂ durante la fase operativa e offrendo così alle industrie un **modo efficace per ridurre la propria impronta carbonica** e i costi associati alle quote di emissione.

Inoltre, il nuovo nucleare offre la possibilità di produrre non solo **elettricità**, ma anche **calore industriale decarbonizzato**. Gli Small Modular Reactor (SMR) e gli Advanced Modular Reactor (AMR) consentono la fornitura di **calore industriale** a media-alta temperatura, raggiungendo temperature fino a **950°C (AMR)** e **300°C (SMR)** che li rendono adatti a numerosi **processi industriali**.

Il nuovo nucleare offre, infine, un'**opportunità per la produzione efficiente di idrogeno**, alimentando su base continuativa gli **elettrolizzatori** con l'elettricità e il vapore ad alta temperatura che genera, producendo idrogeno con un'efficienza notevolmente superiore rispetto ad altre fonti energetiche. **L'efficienza di produzione dell'idrogeno tramite nucleare può raggiungere il 45%**, superando significativamente il **40,4%** ottenibile con le fonti termiche tradizionali e il **16,3%** del solare²³.

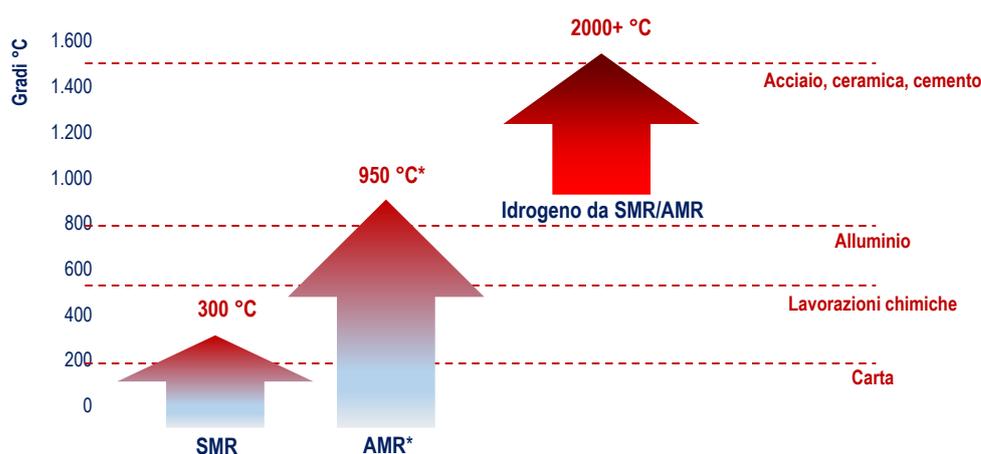


Figura X. Temperatura per calore industriale del nuovo nucleare e temperatura richiesta per industria (illustrativo). Fonte: TEHA Group su dati NEA, DoE e fonti varie, 2024.

²³ Younas M et al. (2022) "An Overview of Hydrogen Production: Current Status, Potential, and Challenges", 2024.

9. Il nucleare rappresenta uno strumento di sviluppo locale che porta con sé numerosi benefici di natura economica e sociale per i territori e i cittadini che lo ospitano. Il nuovo nucleare garantisce, inoltre, sicurezza rafforzata, agilità di installazione e un ridotto consumo di suolo.

Uno dei temi cardine che muove il dibattito pubblico sull'uso dell'energia nucleare in Italia è legato all'**accettabilità sociale della tecnologia da parte di cittadini e territori**. Tuttavia, va considerato che il nucleare rappresenta uno strumento di sviluppo locale che porta con sé numerosi benefici per i territori e i cittadini che lo ospitano, che attengono sia alla sfera economica che sociale.



Figura XI. I benefici per i territori e i cittadini del nucleare "tradizionale" e del nuovo nucleare (illustrativo). Fonte: TEHA Group, 2024.

Molti, ad esempio, sono gli impatti generati dalla presenza del nucleare in termini di **valorizzazione del territorio**. Diversi Paesi in Europa – tra cui la Francia, il Belgio e l'Ungheria – hanno predisposto programmi di sviluppo locale, in termini di sistema infrastrutturale e progresso sociale, percorsi formativi, piani di monitoraggio su sicurezza e qualità della vita e sostegni finanziari in tutti quei territori interessati dal nucleare. In **Italia**, inoltre, è stato istituito un fondo messo a disposizione dei territori che ospitano i siti di ex centrali nucleari e dal quale nel 2022 sono state erogate risorse per un valore complessivo di **14,5 milioni di Euro** (destinate alla **realizzazione di interventi mirati in campo ambientale**).

In aggiunta a questi benefici, il **nuovo nucleare** si distingue dalla tecnologia tradizionale per una serie di **vantaggi** legati a: a) sviluppo di **nuovi design** rispetto al nucleare tradizionale; b) **sicurezza rafforzata**, assicurata da una potenza inferiore del reattore e da soluzioni innovative per il raffreddamento del nocciolo; c) **agilità di installazione**, resa possibile da una maggiore modularità, una dimensione più piccola, un *design* più semplice, la fabbricazione seriale dei componenti, la standardizzazione e l'identificazione dei siti vista la dimensione ridotta; d) **consumo di suolo ridotto**, pari a circa $0,04 \text{ m}^2/\text{MWh}_{\text{anno}}$ per un SMR ($350 \text{ m}^2/\text{MW}$ in termini di potenza installata).

10. Per promuovere lo sviluppo del nuovo nucleare in Italia e accelerare il percorso di decarbonizzazione è essenziale una chiara visione industriale a medio-lungo termine, in grado di massimizzare i benefici e i risparmi per gli utenti finali e il sistema-Paese e valorizzare le competenze della filiera industriale e della ricerca in Italia.



Figura XII. Gli ambiti di intervento per lo sviluppo del nuovo nucleare in Italia (illustrativo). Fonte: elaborazione di TEHA Group, 2024.

Al fine di massimizzare i benefici e le opportunità industriali del nuovo nucleare e promuovere il ruolo della filiera italiana, diventa essenziale elaborare una **chiara visione strategica di medio-lungo periodo** in grado di risolvere alcune criticità nello sviluppo del nuovo nucleare e sostenere la competitività industriale. In particolare, si evidenziano **tre leve principali di sviluppo**, in grado di **accelerare** il processo di implementazione del nuovo nucleare, che l'Italia deve considerare se vuole giocare un ruolo da protagonista nella rinascita del nucleare in Europa.

Innanzitutto, al fine di garantire un corretto avvio del nucleare in Italia, occorre elaborare un **piano industriale** con una visione a **medio-lungo periodo** (2030, 2040 e 2050) finalizzato a sostenere lo sviluppo della filiera industriale italiana, introducendo **meccanismi di supporto** agli investimenti delle aziende per stimolare l'innovazione industriale e accrescere la capacità produttiva. In parallelo occorre delineare un **piano di sviluppo delle competenze** con una visione estesa a tutte le figure professionali necessarie per un programma nucleare.

In aggiunta, è fondamentale un adeguato **sostegno pubblico** allo sviluppo del nuovo nucleare in Italia, attraverso garanzie statali sui prestiti e meccanismi stabili dei prezzi di vendita dell'energia nucleare a medio-lungo termine (CfD e PPA). Tra le modalità possono rientrare l'utilizzo di **fondi comunitari europei** (sostenuti dagli Stati che aderiscono all'Alleanza UE per l'energia nucleare) finalizzati proprio a sostenere uno sviluppo comune del nuovo nucleare a livello internazionale.

Inoltre, sarebbe vantaggioso avviare processi di **pre-licensing** congiunti tra le agenzie regolatrici nucleari di diversi Stati europei, di modo tale da permettere una **maggiore standardizzazione** dei requisiti di sicurezza e prestazioni tra i **diversi Paesi**. L'armonizzazione degli *standard* a livello europeo è fondamentale per abilitare le **economie di serie** e massimizzare i benefici del nuovo nucleare in termini di tempo e costi di costruzione, **assicurando** al contempo una **maggiore prevedibilità per gli investitori**. In aggiunta a ciò, aderire alle **Joint Early Reviews**²⁴ permetterebbe all'Italia di inserirsi e contribuire alla creazione di un *framework* europeo comune di *pre-licensing* finalizzato proprio a ridurre i tempi di realizzazione delle opere. Per quanto riguarda il *permitting* occorrerebbe inserire i progetti del nuovo nucleare tra le **opere prioritarie e strategiche** per il Paese al fine di velocizzarne la messa a terra e adottare un **modello efficiente di partenariato pubblico-privato**. Infine, la creazione di una **Autorità di Sicurezza nazionale** è fondamentale per lo sviluppo del nuovo nucleare in Italia al fine di garantire il rispetto dei più elevati *standard* di sicurezza, conformarsi alle normative internazionali e assicurare un controllo rigoroso sulle operazioni, minimizzando i rischi per la popolazione e l'ambiente. Tale autorità funge da organismo indipendente, responsabile della regolamentazione, supervisione e gestione delle criticità legate all'energia nucleare.

In aggiunta alle leve di sviluppo, l'Italia deve anche attenzionare alcuni **fattori abilitanti, necessari e decisivi** affinché il nuovo nucleare possa essere sviluppato in Italia. In primis occorre stabilire un Framework regolatorio, che prevede l'istituzione di una **NEPIO** (Nuclear Energy Programme Implementing Organization) con il compito di valutare lo stato delle infrastrutture di base necessarie per avviare un programma nucleare nazionale e fornire al Governo le indicazioni necessarie per il loro completo sviluppo e operatività.

Inoltre, occorre definire una precisa gestione dei rifiuti radioattivi, in particolare individuare il sito e realizzare il **Deposito Unico Nazionale** per lo stoccaggio e lo smaltimento dei rifiuti radioattivi, definire gli **incentivi e le misure di valorizzazione** per il territorio ospitante il futuro Deposito realizzare un **Tavolo di lavoro con gli attori dei territori selezionati** (i cittadini) **e gli stakeholder interessati** (Istituzioni, comunità, esperti del settore, associazioni ambientaliste ecc.) per sviluppare il consenso alla costruzione del Deposito Unico Nazionale.

Infine, è auspicabile potenziare il più possibile l'accettabilità sociale del nuovo nucleare nei territori. Si propone quindi di **sviluppare la cultura del consenso informato** attraverso un **programma di comunicazione per tutta la popolazione** (ad esempio tramite l'organizzazione di eventi informativi gratuiti e un dialogo aperto e continuo con i cittadini) sugli impatti e i benefici per i territori che derivano dalla costruzione di impianti nucleari e le **differenze esistenti tra nuovo nucleare e nucleare della generazione precedente**.

²⁴ Le *Joint Early Reviews* (JER) sono revisioni congiunte tra regolatori e sviluppatori, effettuate nelle fasi iniziali dei progetti per identificare e risolvere precocemente potenziali problemi. Queste revisioni accelerano i tempi di approvazione grazie all'armonizzazione internazionale, che permette di allineare i requisiti normativi tra diversi Paesi, riducendo duplicazioni e facilitando l'adozione di *standard* comuni.

CAPITOLO 1

LO STATO DELL'ARTE DELL'ENERGIA NUCLEARE NEL MONDO E IN EUROPA, GLI AVANZAMENTI TECNOLOGICI IN ATTO E IL RUOLO DEL NUOVO NUCLEARE

1. Il primo Capitolo del Rapporto Strategico si propone di contestualizzare lo **scenario di riferimento** dell'energia nucleare a livello globale ed europeo, analizzando gli avanzamenti tecnologici in atto e le dinamiche di crescente domanda di energia elettrica decarbonizzata, che rendono oggi lo **sviluppo del nuovo nucleare** una componente centrale per il raggiungimento degli obiettivi di neutralità climatica fissati a livello internazionale ed europeo.
2. Nello specifico, il Capitolo vuole rappresentare:
 - lo **scenario attuale e prospettico** della generazione elettrica da fonte nucleare a livello globale ed europeo individuando i principali Paesi attivi nella valorizzazione di questa fonte energetica e nello sviluppo delle tecnologie ad essa collegate e le relative evoluzioni in atto, a partire dal progressivo *shift* verso l'Asia che negli ultimi anni ha significativamente aumentato il proprio posizionamento sulla tecnologia nucleare;
 - le **strategie di sviluppo del nucleare** previste dai maggiori Paesi oggi impegnati nello sviluppo del nucleare e da quelli che stanno valutando la ripresa o l'attivazione di programmi basati sia sul ricorso al nucleare tradizionale che sull'integrazione di soluzioni di nuovo nucleare;
 - gli **elementi distintivi del nuovo nucleare** – dalla dimensione, alla modularità, a rafforzate misure di sicurezza passiva, fino alla capacità di combinare generazione elettrica con calore per usi industriali, che possono essere utilizzati per ottenere un vettore *clean* quale l'idrogeno – mettendo in luce come questo costituisca un elemento di **forte innovazione rispetto al passato** e identificando – sulla base dell'attuale livello di maturità tecnologica – i tempi previsti per la “**staffetta tecnologica**” che caratterizza il nuovo nucleare e che porterà nei prossimi anni allo sviluppo e commercializzazione di nuovi reattori **Small Modular Reactor (SMR)** e **Advanced Modular Reactor (AMR)**;
 - il **contributo del nuovo nucleare** nel fornire energia stabile e decarbonizzata a fronte della **crescente domanda di energia elettrica**, in ottica di complementarità e supporto allo sviluppo delle rinnovabili.

1.1 LO STATO DELL'ARTE E L'EVOLUZIONE ATTESA PER LA GENERAZIONE ELETTRICA DA NUCLEARE NEL MONDO E IN EUROPA

Lo stato dell'arte della generazione elettrica nucleare nel Mondo

- L'energia nucleare contribuisce **significativamente** alla **generazione di energia elettrica** da oltre **50 anni**. A partire dal **1971**, quando il **2,1%** della generazione elettrica a livello globale proveniva da fonte nucleare (vs. **40%** da carbone, **23,6%** da rinnovabili, **21,1%** da petrolio e **13,2%** da gas naturale), l'utilizzo dell'energia nucleare ha registrato un *trend* di crescita, fino al **1996**, quando ha raggiunto il **picco** di generazione del **17,7%** dell'elettricità globale (**2,4 p.p.** in più rispetto al gas naturale e **8,8 p.p.** in più rispetto al petrolio). A partire dal 1996, tuttavia, il contributo del nucleare alla generazione di energia ha subito un rallentamento, con la quota relativa di generazione nucleare sul totale della generazione elettrica globale che è arrivata nel **2022** a coprire il **9,1%** della produzione di energia elettrica globale (circa **2.600 TWh**).
- In questo quadro complessivo, è bene sottolineare come la tecnologia nucleare possa vantare un'esperienza operativa cumulata di quasi **20.000 anni**, per un totale di circa **7,7 milioni** di giorni di operatività, a dimostrazione degli **elevati standard di sicurezza** e della **maturità tecnologica** di questa soluzione.

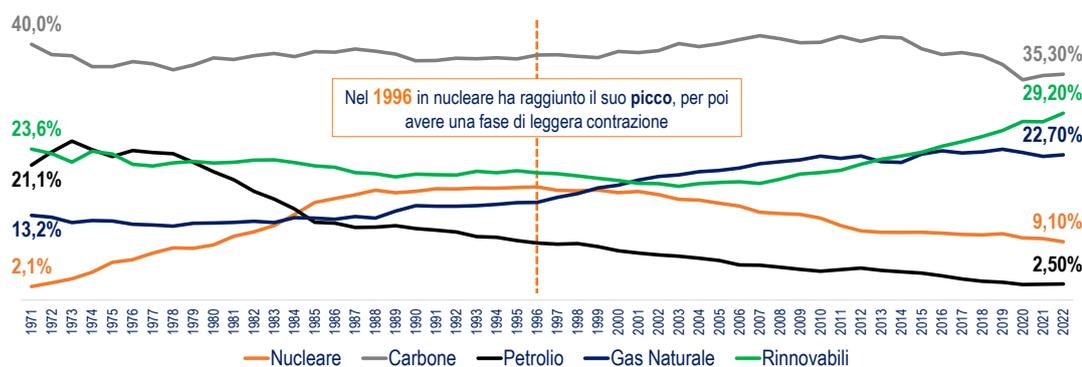


Figura 1. Contributo alla generazione elettrica per fonte a livello globale (%), 1971 – 2022. Fonte: elaborazione TEHA Group su dati IEA, 2024.

- Il rallentamento della produzione di elettricità da fonte nucleare è riconducibile a due ragioni principali: alla fine della vita utile dei primi reattori entrati in funzione negli anni '50-'60 e ad un generale **rallentamento** nell'installazione di **nuovi reattori**. Nel **1971** si contavano, a livello globale, **97 impianti** di produzione nucleare, ripartiti in **15 Paesi**, con una capacità di generazione pari a **24,3 GW**. Nel **2000**, a distanza di 30 anni, il numero di impianti di produzione è salito a **435 (+338 vs. 1971)** per una capacità totale di **345,1 GW (+320,8 GW vs. 1971)** suddivisa in **30 Paesi**. Dal 2000 al 2022, tuttavia, il numero netto di reattori è cresciuto di sole **3 unità (438 impianti al 2022)**, per una

potenza totale aggiuntiva di soli 47,4 GW²⁵ (392,5 GW totali al 2022) suddivisa in **32 Paesi**, evidenziando un generale **rallentamento**.

6. Guardando alla generazione per **macroarea**, l'**Europa** e l'**America del Nord** sono stati i principali **contributori** allo sviluppo del nucleare, soprattutto nel periodo tra **1971** e il **1990**. In particolare, in quegli anni il **49,5%** della produzione di energia elettrica da fonte nucleare a livello globale proveniva dall'Europa, mentre una quota pari al **36,6%** dal continente **Nord-Americano**: in altri termini, queste due macroaree abilitavano la generazione dell'**86,1%** del totale dell'elettricità prodotta da fonte nucleare a livello mondiale (vs. **13,2%** dall'Asia, **0,3%** dall'Africa e **0,4%** del Sud America).

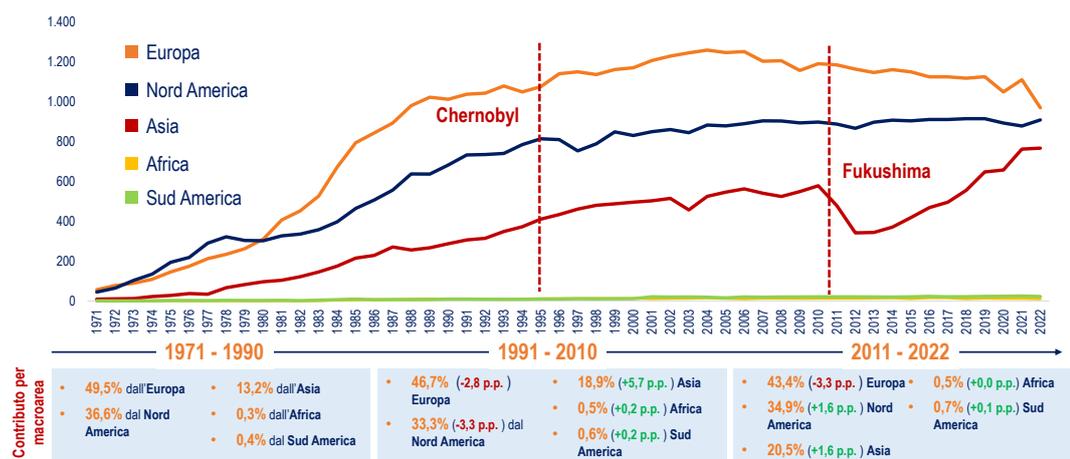


Figura 2. Generazione di energia elettrica da fonte nucleare per macroarea (TWh), 1971 - 2022. Fonte: elaborazione TEHA Group su dati Ember e Energy Institute - Statistical Review of World Energy, 2024.

7. Considerando, invece, il periodo tra il **1991** e il **2010**, sia l'**Europa** che l'**America** hanno registrato una **riduzione** dell'incidenza di **produzione** da fonte nucleare sulla generazione elettrica globale, rispettivamente di **-2,8 p.p.** e di **-3,3 p.p.** rispetto al periodo precedente. Nello stesso periodo, si sono registrati aumenti in Asia (**+5,7 p.p.**), Africa (**+0,2 p.p.**) e Sud America (**+0,2 p.p.**).
8. Gli **anni più recenti**, dal **2011** al **2022**, confermano sia il *trend* di **riduzione** dell'incidenza relativa del continente **europeo**, che diminuisce ulteriormente la propria quota sul totale della produzione di energia elettrica da fonte nucleare a livello globale di **-3,3 p.p.**, sia dell'aumento del peso dell'Asia, che arriva al 2022 a registrare il **20,5%** di copertura di generazione elettrica da fonte nucleare a livello mondiale.

²⁵ Una parte di questo aumento di potenza è attribuibile alla sostituzione di vecchi reattori con nuove unità, e non esclusivamente all'installazione dei tre nuovi reattori.

9. In particolare, sono stati i Paesi dell'area **APAC**²⁶ a migliorare il proprio posizionamento nello scenario globale. Se nel **1980** l'area APAC abilitava la generazione del **13,2%** del totale dell'elettricità prodotta da fonte nucleare a livello mondiale, negli anni 2000 questa quota si era già alzata di **6,6 p.p.** raggiungendo il **19,8%**, fino ad arrivare al **2022** al **27,9%**. Rispetto ai livelli del 1980 quindi, i Paesi APAC hanno aumentato di quasi **15 p.p.** il proprio contributo alla produzione di energia elettrica da fonte nucleare a livello globale.

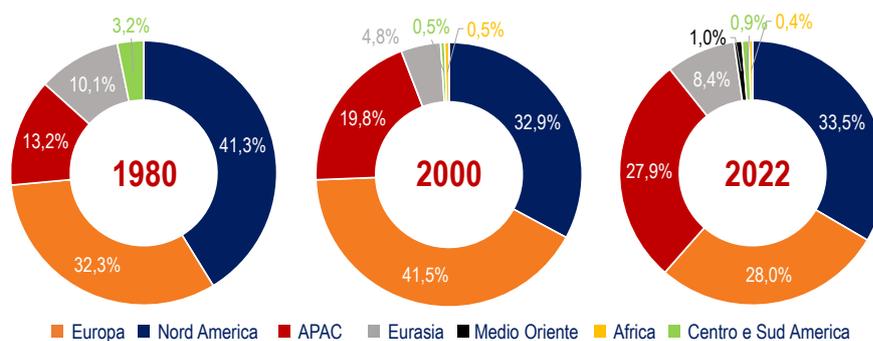


Figura 3. Ripartizione per macroarea della generazione di energia elettrica da fonte nucleare (%), 1980, 2000 e 2022. Fonte: elaborazione TEHA Group su dati Ember e Energy Institute - Statistical Review of World Energy, 2024.

10. In sintesi, da questa **analisi** del panorama globale dell'energia nucleare si rileva quindi un **rallentamento** dell'impiego di tale fonte energetica nella **generazione elettrica** in **Occidente**, specialmente in **Europa** e in **Nord America** rispetto al ruolo che ne ricopriva a cavallo tra gli anni '70 e '90. In netto contrasto, l'**ultimo ventennio** ha visto un marcato spostamento dell'utilizzo di tale fonte energetica verso i **Paesi Orientali**, in special modo quelli appartenenti alla regione dell'**APAC**, dove l'uso dell'energia nucleare sta ad oggi registrando una **crecita sostanziale**.

Lo stato dell'arte della generazione elettrica nucleare in Europa

11. Considerando l'orizzonte temporale degli **ultimi 20 anni**, si può constatare come la fonte nucleare, in **Europa**, sia stata stabilmente la **1° tecnologia di generazione elettrica**. Dal 2001 al 2022, in media, il **30,1%** dell'energia elettrica tra gli Stati della UE-27 è stata generata da fonte nucleare, posizionandosi al di sopra della generazione da gas naturale (in media pari al 19,4%) e da carbone (in media pari al 25,1%). In termini

²⁶ I Paesi dell'Asia Pacifica (o APAC) sono le nazioni asiatiche e oceaniche nell'Oceano Pacifico che includono: Samoa Americane, Australia, Bangladesh, Bhutan, Brunei Darussalam, Cambogia, Cina, Isola di Natale, Isole Cocos (Keeling), Isole Cook, Figi, Polinesia Francese, Guam, Hong Kong, India, Indonesia, Giappone, Kiribati, Corea del Nord (Repubblica Popolare Democratica di Corea), Corea del Sud (Repubblica di Corea), Repubblica Popolare Democratica del Laos, Macao, Malaysia, Maldive, Isole Marshall, Micronesia (Stati Federati di), Mongolia, Myanmar, Nauru, Nepal, Nuova Caledonia, Nuova Zelanda, Niue, Isola Norfolk, Isole Marianne Settentrionali, Pakistan, Palau, Papua Nuova Guinea, Filippine, Pitcairn, Federazione Russa, Samoa, Singapore, Isole Salomone, Sri Lanka, Taiwan (Provincia della Cina), Thailandia, Timor Est, Tokelau, Tonga, Tuvalu, Vanuatu, Vietnam, Wallis e Futuna.

assoluti, in media nel periodo considerato, circa **70,4 TWh** all'anno di energia elettrica in EU-27 sono stati generati tramite nucleare.

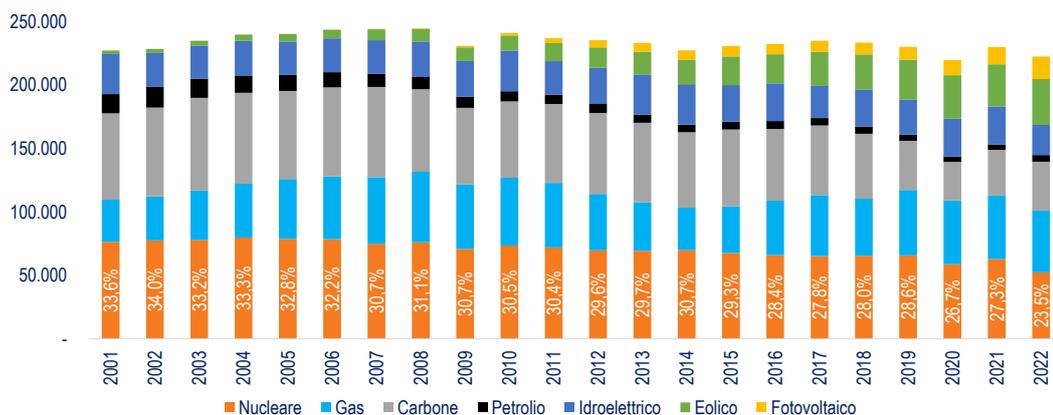


Figura 4. Generazione elettrica per fonte in UE (TWh e %), 2001 - 2022. Fonte: elaborazione TEHA Group su dati Eurostat, 2024.

12. Focalizzando l'attenzione sui singoli Stati del **Continente europeo**, **Francia**, **Slovacchia** e **Ucraina** risultano i **primi 3 Paesi** per **incidenza** del nucleare nel proprio *mix* di **generazione** elettrica, ricoprendo quote rispettivamente pari al **64,8%**, **61,3%** e **56,0%**. In questi Stati, così come in **Ungheria**, **Finlandia**, **Belgio**, **Bulgaria** e **Slovenia** (che registrano quote pari al **48,0%**, **42,0%**, **41,2%**, **40,4%** e **36,8%** di incidenza del nucleare nella generazione elettrica) l'energia nucleare è attualmente la **1° fonte di generazione** elettrica.

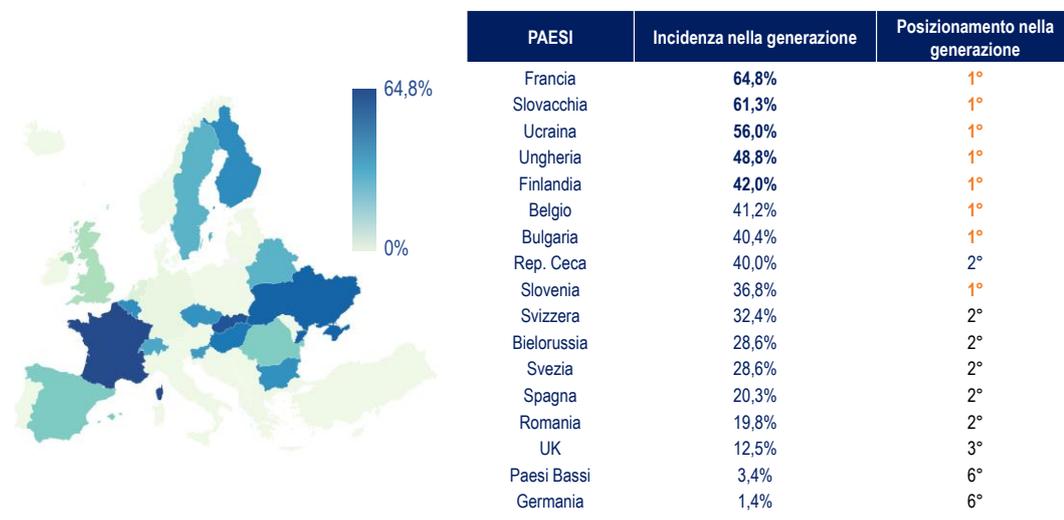


Figura 5. Paesi Europei con generazione elettrica da fonte nucleare (%), 2022. N.B. la Germania sta perseguendo una politica di dismissione del nucleare dal proprio mix energetico. Fonte: elaborazione TEHA Group su dati Ember, 2024.

13. Infatti, malgrado l'Europa abbia ridotto l'utilizzo di energia nucleare, ad oggi è una delle regioni del mondo che fa maggiormente affidamento sull'elettricità generata da questa fonte, che nel **2022** ha rappresentato il **23,5%** della produzione totale di energia elettrica tra gli stati EU-27. Basti inoltre pensare che, tra i **16 maggiori utilizzatori** dell'energia nucleare a livello globale (Armenia, Belgio, Bielorussia, Bulgaria, Corea del

Sud, Russia, Finlandia, Francia, Repubblica Ceca, Slovacchia, Slovenia, Spagna, Svezia, Svizzera, Ucraina e Ungheria), **14** si trovano nel continente **europeo**, e **10** sono membri dell'**Unione Europea**.

14. Ad oggi, in UE-27 ci sono **13** Paesi che **utilizzano il nucleare** come fonte di generazione elettrica. Occorre, tuttavia, sottolineare come **solo alcuni** stati, da inizio millennio, abbiano **aumentato** il contributo della **fonte nucleare** alla generazione elettrica. La Francia, ad esempio, nel **2000** copriva una quota pari al **76,9%** della generazione elettrica con la fonte nucleare, mentre ad oggi ne copre il **64,8%** (una riduzione di **-12,1 p.p.**). In Lituania, che ad inizio **2000** copriva il **73,7%** della propria generazione elettrica tramite energia nucleare, sono state **dismesse** tutte le centrali nucleari, riducendone quindi a zero la produzione elettrica da questa fonte. Sempre **rispetto al 2000**, molteplici paesi hanno ridotto la quota di nucleare nel proprio mix di generazione elettrico: **Germania (-28,0 p.p.)**, **Belgio (-16,1 p.p.)**, **Svezia (-10,9 p.p.)**, **Spagna (-7,4 p.p.)**, **Bulgaria (-4,0 p.p.)**, **Paesi Bassi (-1,0 p.p.)**. In generale, a livello di Unione Europea, l'incidenza della fonte nucleare nella generazione elettrica ha subito una riduzione di **9,5 p.p.** da inizio millennio.



Figura 6. Incidenza del nucleare nel mix di generazione elettrica dei Paesi europei e dell'UE-27 (%) e variazione rispetto al 2000 (punti percentuali), 2000 e 2023. Fonte: elaborazione TEHA Group su dati Ember, 2024

15. Occorre tuttavia sottolineare come l'energia nucleare sia stata uno dei **fondamenti** della **creazione** dell'Unione Europea. Dei tre trattati originali²⁷, **Euratom** è l'unico ancora in vigore e integrato nella struttura istituzionale dell'UE. Euratom conferisce alla Commissione Europea importanti **responsabilità** in materia di **sicurezza nucleare** e **approvvigionamento di combustibile nucleare**. Non è un caso che all'interno dei **sottolivelli** della DG Energia, due siano specificamente **dedicati all'energia nucleare**: il **direttorato per il coordinamento delle politiche Euratom** e il direttorato per la

²⁷ Si fa qui riferimento al trattato che istituisce la Comunità Europea del Carbone e dell'Acciaio (CECA), e i tratti per la creazione della Comunità Economica Europea (CEE) e comunità europea dell'energia atomica (Euratom).

gestione dell’Agenzia dell’Approvvigionamento dell’Euratom (agenzia incaricata di garantire l'approvvigionamento di combustibile nucleare per i Paesi membri dell'UE).

16. Questa **panoramica** del Continente europeo, e in particolare dell'Unione Europea, evidenzia come l'**energia nucleare** sia profondamente **radicata** nella **storia** e nelle **istituzioni** dell'UE. Nonostante gli Stati membri dell'UE siano ancora oggi tra i **principali utilizzatori** di questa fonte energetica per la generazione elettrica, dall'inizio del nuovo millennio si è osservata una generale **riduzione** dell'**incidenza** dell'energia nucleare nella **produzione elettrica**. Questo *trend* può riflettere una **combinazione** di fattori, tra cui **politiche energetiche più restrittive** (come per la Germania²⁸, che ha optato per un’uscita dal nucleare) e crescenti **preoccupazioni per la sicurezza** (in Lituania, per esempio, si decise di chiudere la centrale di Ignalina che era dotata di reattori russi RBMK, dello stesso tipo di quello di Chernobyl).
17. Occorre tuttavia sottolineare che l’**età media** dei reattori nucleari dell’**UE 27** è tra le più alte a livello mondiale, la flotta di reattori nucleari dell’Unione Europea registra un’età media di **37,2 anni** (seconda solo agli **USA** i cui reattori registrano un’età media pari a **42,1 anni**) ben **27,6** anni più **vecchia** della flotta **Cinese**, che registra un età media di circa **9,6 anni**. L’età avanzata dei reattori nucleare europei fa emergere la necessità di effettuare interventi di **life extension**. Si tratta di interventi mirati a garantire la continuità nella **generazione** di energia dalle centrali nucleari esistenti, verificando e, dove necessario, ripristinando il degrado dei margini di sicurezza di strutture e componenti. Gli interventi di *life extension* possono arrivare a **garantire una vita utile complessiva** che può raggiungere gli **80 anni**. Secondo le stime della IAEA, estendere la durata operativa del parco mondiale di centrali nucleari anche solo di **10 anni** permetterebbe di generare **26.000 TWh**²⁹ aggiuntivi di elettricità a basse emissioni di carbonio, più della metà dell'elettricità prodotta da fonte nucleare dei precedenti 40 anni.

L’evoluzione attesa per la generazione elettrica da nucleare nel Mondo e in Europa

18. Il settore dell’energia nucleare vive oggi una fase di significativa espansione a livello mondiale, con diversi Paesi che stanno investendo in strategie di sviluppo del nucleare e in progetti di costruzione di nuovi reattori. Allo stato attuale, sono censiti nel mondo **61 progetti di reattori nucleari in stato di costruzione** (per una capacità lorda totale

²⁸ Per maggiori approfondimenti si rimanda al paragrafo “L’evoluzione attesa per la generazione elettrica da nucleare nel Mondo e in Europa” nel presente capitolo.

²⁹ Ipotesi che considera una produzione elettrica globale di 39.020 TWh da fonte nucleare in un arco temporale di 40 anni

di 68,4 GW)³⁰, 111 reattori programmati³¹ (per una capacità lorda totale di 113,9 GW) e 337 reattori in stato di proposta³² (per una capacità lorda totale di 378,2 GW).

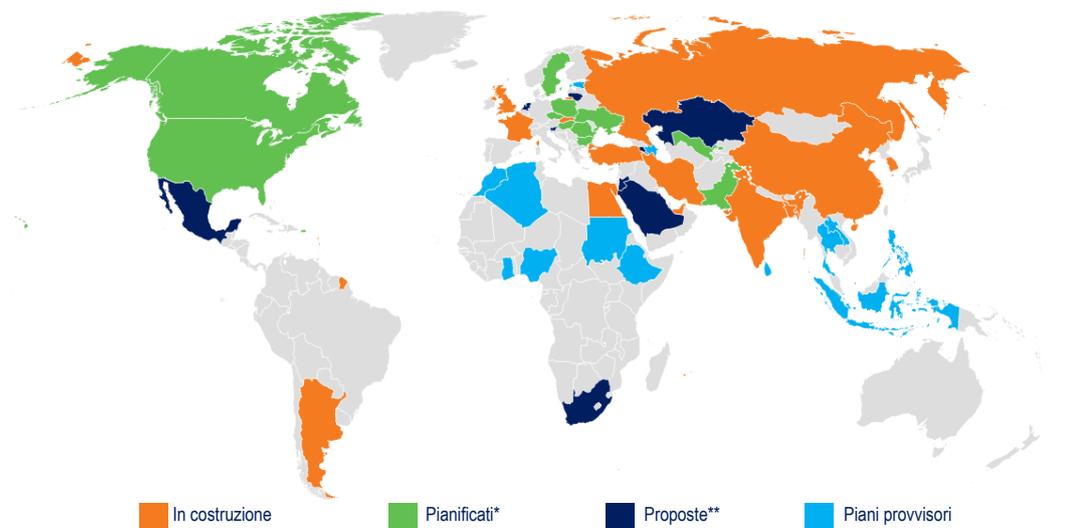


Figura 7. Progetti di nuovi reattori nucleari per stato di avanzamento, marzo 2024. (*) Reattori pianificati = Approvazioni, finanziamenti o impegni in atto, la maggior parte dei reattori dovrebbero entrare in funzione entro i prossimi 15 anni. (**) Proposte = Programma specifico o proposte di nuovi impianti con tempi molto incerti. Fonte: elaborazione TEHA Group su dati «World Energy Outlook 2023» di IEA e World Nuclear Association, 2024.

19. A conferma dei *trend* di crescente rilevanza dell'area asiatica, di cui anche ai paragrafi precedenti, la **regione APAC**³³ si dimostra l'area geografica più attiva nello sviluppo di nuove progettualità nel settore nucleare, con **40 progetti su 61** attualmente in fase di realizzazione. Di questi, 27 reattori (il **68%** del totale APAC) sono localizzati in Cina, 7 in India, 2 in Corea del Sud, 2 in Giappone e 2 in Bangladesh. Con i piani di sviluppo previsti dai Paesi della regione asiatica, **l'APAC sosterebbe, già nel 2030, la quota maggiore di generazione di energia nucleare al mondo (37,8%)**, superando il Nord America – attuale *leader* di mercato con una quota del 33,5% al 2022 (vs. il 28,0% dell'Europa e il 27,9% dell'APAC).

³⁰ Fonte: «World Energy Outlook 2023», IEA e World Nuclear Association.

³¹ Si tratta di progetti approvati e/o con finanziamenti o impegni di spesa in atto, la maggior parte dei reattori in questione dovrebbe entrare in funzione entro i prossimi 15 anni.

³² Si tratta di progetti che sono stati proposti ma senza previsione di impegni di spesa e con tempi di approvazione a oggi ritenuti molto incerti.

³³ I Paesi dell'Asia Pacifica (o APAC) sono le nazioni asiatiche e oceaniche nell'Oceano Pacifico.

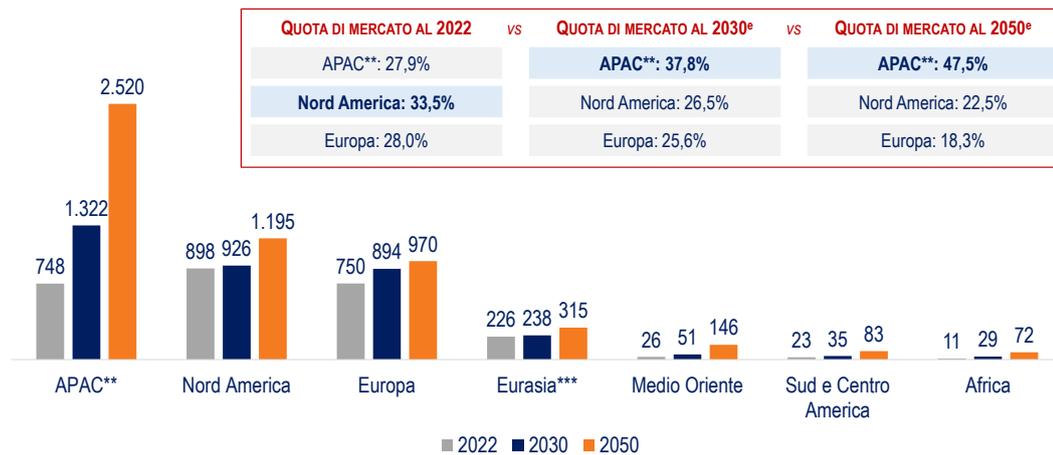


Figura 8. Proiezione della nuova produzione di nucleare al 2030 e 2050 sulla base dei progetti in fase di sviluppo* per area geografica (TWh), 2022, 2030 e 2050. (*) Sono considerate sia le policy dichiarate che gli impegni futuri annunciati ma non ancora programmati e pianificati. (**) I Paesi dell'Asia Pacifica (o APAC) sono le nazioni asiatiche e oceaniche nell'Oceano Pacifico. (***) Eurasia include la Russia. Fonte: elaborazione TEHA Group su dati «World Energy Outlook 2023» di IEA, 2024.

Box 1: Lo stato dell'arte e le prospettive di sviluppo del nucleare in Corea del Sud

La Corea del Sud è uno dei Paesi più importanti al mondo per quanto riguarda l'energia nucleare: oggi conta **26 reattori operativi**, per una potenza installata pari a circa **26 GW**. Inoltre, esporta ampiamente la sua tecnologia: nell'ambito di un contratto da 20 miliardi di dollari con gli Emirati Arabi Uniti, è in esercizio dal 2021 la prima unità a Barakah e anche la quarta e ultima unità è stata collegata alla rete ed in attesa di ingresso in esercizio commerciale.

L'energia nucleare è **sempre stata una priorità strategica per la Corea del Sud**, anche se il presidente Moon Jae-in, eletto nel 2017, introdusse una politica di **eliminazione graduale** dell'energia nucleare in circa 45 anni. Tuttavia, il neo-presidente coreano Yoon Suk Yeol, insediatosi nel maggio 2022, si è impegnato a **revocare la politica di graduale abbandono del nucleare** del suo predecessore e ad aumentare la rilevanza dell'energia nucleare: secondo gli obiettivi dichiarati, il nucleare dovrà fornire **almeno il 30% dell'elettricità nel 2030**.

La Corea del Sud, infatti, prevede di **costruire tre nuove centrali nucleari entro il 2038** e di **mettere in funzione almeno un piccolo reattore modulare (SMR) entro il 2035** (il primo nel Paese) per diventare un hub nucleare globale. In base alla nuova politica annunciata a fine maggio, **il Paese riprenderà a costruire nuove centrali nucleari dopo una pausa di nove anni**.

In particolare, secondo l'ultimo piano energetico del Paese (*11th Basic Plan for Long-Term Electricity Supply and Demand*), la Corea dovrà installare **4,4 GW da centrali nucleari**, con l'obiettivo di far fronte alla crescente domanda di energia elettrica.

20. Tra i Paesi dell'area APAC che stanno definendo strategie competitive per lo sviluppo del nucleare, **la Cina si distingue per un piano ambizioso** che la proietta verso il ruolo di *leader* globale del settore. Obiettivo primario del Paese è, infatti, raggiungere la **piena autosufficienza** nella progettazione e costruzione di reattori nucleari e diventare **esportatore leader della tecnologia nucleare** e dei componenti nella catena di approvvigionamento.

21. Nell'ultimo ventennio, il Paese ha visto il **raddoppio** della quota di nucleare nel proprio *mix energetico*, passando da un'incidenza del nucleare sul totale della produzione di energia elettrica del 2,2% nel 2003 a una produzione di **417,8 TWh nel 2022, raggiungendo una quota del 5,0%**. Tale risultato è frutto di una consolidata strategia – basata sulla definizione di Piani quinquennali e operazioni di promozione e finanziamento per lo sviluppo di nuovi progetti³⁴ – partita a un anno di distanza dall'incidente di Fukushima³⁵, quando **il Paese ha deciso di non rinunciare al nucleare e di ripristinare le attività di produzione nucleare e di realizzazione di nuovi impianti**. Ad oggi, la Cina conta **55 reattori nucleari in funzione** con una capacità totale di 53,2 GW e la sua strategia di crescita si basa principalmente sulla costruzione di reattori nucleari di tipologia PWR³⁶, sull'approvvigionamento interno di combustibile nucleare e sul raggiungimento di una completa autonomia nella progettazione e gestione di nuove iniziative legate alla tecnologia nucleare.
22. Inoltre, la **Cina** negli ultimi anni si è anche proposta in misura crescente tra i **principali fornitori di tecnologie dei reattori in costruzione**, Collocandosi tra quei Paesi – Stati Uniti, Francia, Russia, ecc. – che dispongono del **l'intera catena del valore del nucleare**, dalla produzione di uranio arricchito alla gestione del ciclo del combustibile, e **posseggono tecnologie proprietarie** che vendono ai Paesi che non dispongono di tecnologie proprie per la costruzione di impianti nucleari.
23. I Paesi *leader* nella tecnologia nucleare sono tradizionalmente **Stati Uniti e Francia**, che vantano una quota, rispettivamente, del **29,2%** e **17,8%** sul totale delle tecnologie fornite **per i reattori attualmente in funzione nel mondo**. Considerando però i progetti attualmente in fase di sviluppo, cresce il posizionamento della Cina, la quale vanta una quota del **42,9%** sulle tecnologie dei reattori in costruzione, posizionandosi al **primo posto tra i provider tecnologici**³⁷, **seguita dalla Russia con una quota del 28,6%**. In altri termini, la combinazione di una posizione di *leadership* rispetto ai progetti attualmente in realizzazione nel mondo (27 su 61) e il rafforzamento della *supply chain* interna perseguito dalla Cina negli anni sta determinando un **progressivo shift delle tecnologie nucleari più utilizzate**, dalla Francia e dagli Stati Uniti verso la Cina stessa.

³⁴ Nel 2013, la National Development and Reform Commission (NDRC) ha fissato il prezzo dell'energia all'ingrosso pari a 7 centesimi di dollaro USA/kWh per tutti i nuovi progetti di energia nucleare, per promuovere gli investimenti e lo sviluppo del settore.

³⁵ Dopo l'incidente di Fukushima del marzo 2011, in Cina sono state sospese tutte le costruzioni previste e le approvazioni per le nuove centrali nucleari e sono stati condotti controlli di sicurezza approfonditi su tutti i progetti nucleari.

³⁶ Pressurized Light-Water Moderated and Cooled Reactor.

³⁷ Il ruolo emergente della Cina è caratterizzato da una crescente autosufficienza tecnologica. Secondo quanto riportato dal "China Nuclear Energy Development Report 2024", il Libro Blu presentato ad aprile 2024 dall'Associazione delle industrie cinesi di energia nucleare, per la costruzione di centrali nucleari, soprattutto rispetto al *design* dei nuovi progetti in via di sviluppo, la Cina utilizza componenti quasi interamente di fabbricazione cinese.

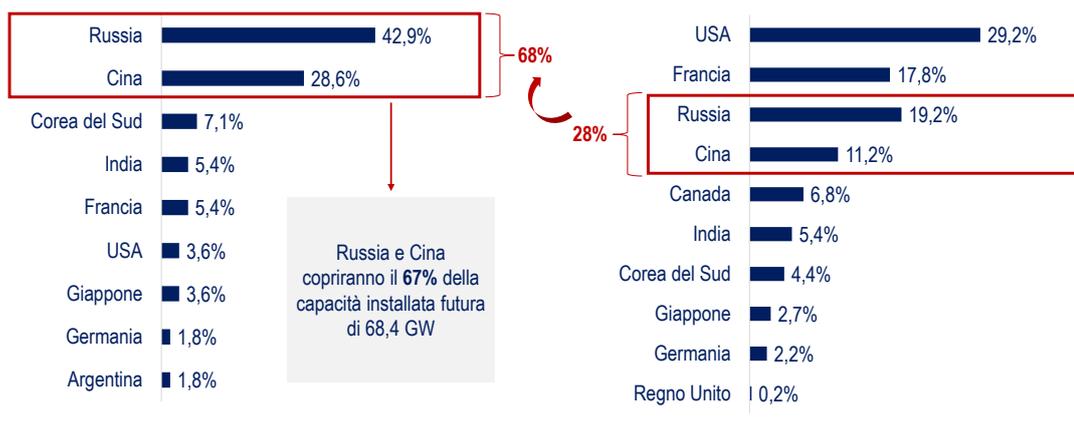


Figura 9. Fornitori di tecnologie dei reattori in costruzione (grafico a sinistra, % su totale) e primi 10 Paesi fornitori di tecnologie dei reattori operativi (grafico a destra, % su totale), 2022. Nota: La maggior parte delle tecnologie inglesi sono in fase di dismissione: il 18,7% del totale dei reattori dismessi nel mondo era stato costruito con tecnologie inglesi. Fonte: elaborazione TEHA Group su dati «Nuclear Power Reactors in the World» di IAEA, 2024.

24. Guardando all'Europa, oggi, le politiche energetiche europee promuovono fortemente la **decarbonizzazione dei consumi** e il raggiungimento di un **alto livello di efficienza energetica**. In risposta a questi obiettivi, molti Paesi europei hanno iniziato a **diversificare il proprio mix energetico**, riducendo la quota di produzione di energia da gas e carbone e puntando su un *mix* equilibrato di tecnologie rinnovabili. In questo contesto, **l'energia nucleare riveste un ruolo significativo nel processo di eliminazione graduale dell'energia da carbone e gas**, grazie al contributo sostanziale che questa tecnologia può offrire ai processi di decarbonizzazione³⁸.
25. Ad oggi, in Europa sono **18 i Paesi** che hanno **progetti di sviluppo in corso o prevedono strategie di potenziamento dell'energia nucleare in futuro**. Tra questi, la **Francia** ha previsto **13,2 miliardi di Euro**³⁹ per la costruzione del reattore **Flamanville 3** da 1,6 GW, che a maggio 2024 ha completato il processo di caricamento di combustibile nel nocciolo e sarà reso operativo entro la fine del 2024, e si stima investirà circa **52 miliardi di Euro** per la costruzione, a partire da maggio 2027, di ulteriori 6 nuovi reattori che entreranno in funzione entro il 2050 e saranno funzionali al rinnovamento della flotta nucleare francese. In parallelo, altri importanti Paesi europei hanno recentemente fatto passi concreti per lo sviluppo di nuova generazione da nucleare:
- in linea con la politica governativa di eliminazione e sostituzione delle centrali a carbone, nel 2022, la **Polonia ha previsto l'avvio**, entro il 2026, **della costruzione della sua prima centrale nucleare** in Pomerania, che sarà composta da 3 reattori (3,75 GW complessivi) con tecnologia Westinghouse AP1000 di III generazione – per un investimento di **20 miliardi di Euro**. A luglio 2023, è stata poi approvata la

³⁸ Per maggiori approfondimenti si veda il Capitolo 2.1.1 del Rapporto.

³⁹ Il costo (Euro/GW) dei progetti di sviluppo nucleare è altamente variabile e dipende dal contesto di riferimento; evoluzione e complessità tecnologica rendono i costi finali *project specific*.

costruzione della **seconda grande centrale nucleare** del Paese – questa volta con tecnologia sudcoreana della Korea Hydro & Nuclear Power (KHNP) e una capacità di 2,8 GW – e, a dicembre 2023, è stata approvata la costruzione di **24 piccoli reattori modulari (SMR)** di GE Hitachi Nuclear Energy da 300 MW ciascuno in sei località del Paese;

- la **Svezia** ha previsto l'avvio della realizzazione di **2 reattori** (da 2,5 GW ciascuno) **entro il 2035** e di 10 reattori – tra cui anche SMR⁴⁰ – entro il 2045. Circa **35 miliardi di Euro** sono stati previsti dal Governo come garanzie di credito per investimenti nel nucleare, tra cui la costruzione dei nuovi reattori;
- la **Finlandia** ha avviato, nel 2023, **Olkiluoto 3**, un reattore nucleare con una capacità di 1,6 GW e il **primo nuovo impianto nucleare in Europa in 16 anni**, a fronte di un investimento iniziale di **11 miliardi di Euro**;
- con 6 reattori da 4,2 GW complessivi già operativi, la politica energetica della **Repubblica Ceca** prevede un aumento dell'energia nucleare per una capacità aggiuntiva di 2,5 GW entro il 2035, rendendo il nucleare la principale fonte di produzione di elettricità del Paese – con una quota in aumento dall'attuale 35% della generazione elettrica a una quota compresa tra il 46% e il 58% entro il 2040. A luglio 2024, il governo ceco ha, quindi, affidato il **primo progetto di sviluppo previsto** alla società sudcoreana Korea Hydro & Nuclear Power (KHNP) e i lavori del nuovo reattore partiranno **entro il 2029**. Il costo stimato per la nuova unità è di **circa 6,5 miliardi di Euro**.

26. **Paesi Bassi e Belgio**, dopo una scelta iniziale di dismissione della produzione di energia nucleare, hanno rivisto le loro scelte e **reindirizzato i piani energetici nazionali a favore dello sviluppo del nucleare**. Per quanto riguarda i Paesi Bassi, nel 2018 il Governo aveva annunciato un progetto di legge per la dismissione totale degli impianti nucleari entro il 2030. Tuttavia, nel 2021 il Governo ha rimesso al centro della strategia energetica olandese l'energia nucleare e **adottato misure per l'estensione della vita utile dell'unica centrale nucleare attiva Borssele (482 MW) oltre il 2033**. Nel 2022 ha inoltre previsto la **costruzione**, che partirà entro il 2028, **di due nuove centrali nucleari** (con una capacità compresa tra 1.000 e 1.650 MW), con un finanziamento previsto di **500 milioni di Euro fino al 2025 e circa 5 miliardi di Euro fino al 2030**. Sempre nel 2018, anche il Governo belga aveva riaffermato la sua politica di eliminazione graduale del nucleare nel Paese, definita nel 2003, con l'obiettivo di dismettere tutti gli impianti entro il 2025. Tuttavia, a marzo 2022, per prevenire il rischio di insufficienza energetica nell'inverno 2025-2026, il Belgio ha **ritardato il proprio piano di eliminazione dell'energia nucleare** e previsto l'**estensione decennale di tre reattori attualmente in esercizio**.

⁴⁰ Small Modular Reactors.

27. In controtendenza con questi programmi di sviluppo del nucleare, importanti Paesi europei hanno predisposto strategie nazionali di dismissione del nucleare. In particolare, la **Germania** ha avviato nel 2023 lo **spegnimento degli ultimi 3 reattori attivi** per perseguire la strategia energetica nazionale di eliminazione graduale del nucleare adottata a seguito dell'incidente di Fukushima. Anche la decisione della **Svizzera** di dismettere la produzione di energia nucleare ha origine nel 2011, quando fu stabilito di non sostituire alcun reattore ed **eliminare gradualmente l'energia nucleare**; decisione confermata anche da un *referendum* nel 2017 e che prevede lo spegnimento degli attuali 4 reattori svizzeri ancora attivi⁴¹. A dicembre 2023, infine, la **Spagna** ha confermato un **phase-out** dal nucleare da realizzare entro il 2035: i 7 reattori attualmente attivi verranno disattivati a partire dal 2027.

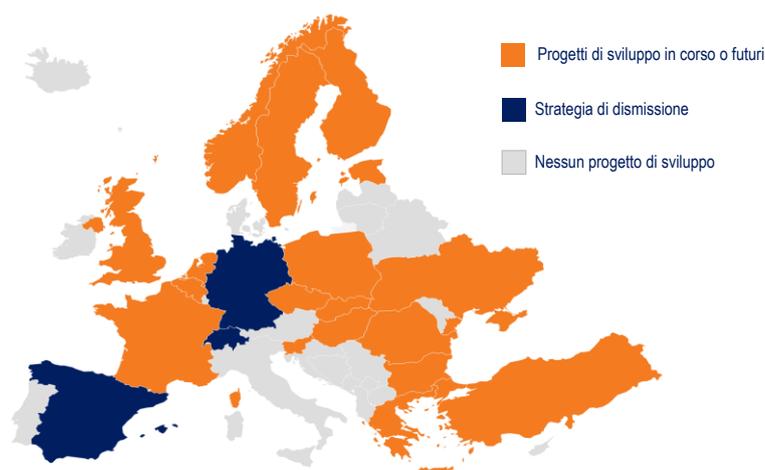


Figura 10. Strategie di sviluppo o dismissione del nucleare dei Paesi europei, 2024. Fonte: elaborazione TEHA Group su dati, World Nuclear Association e fonti varie, 2024.

28. Occorre comunque sottolineare che le **politiche energetiche** europee stanno portando ad una rapida **decarbonizzazione dei consumi**, che in molteplici Paesi europei si sta verificando tramite un **aumento** della **quota di rinnovabili** all'interno del *mix* energetico nazionale. Alla luce di quanto detto, il **nucleare rappresenta una tecnologia chiave per la transizione energetica su cui l'Europa sta puntando e su cui pianifica di investire**. A luglio 2022, infatti, il nucleare è entrato nella «tassonomia europea», in quanto considerata una fonte sostenibile e in linea con gli obiettivi climatici. A dicembre 2023 il nucleare è stato poi citato, per la prima volta, all'interno di una **dichiarazione della COP** e a febbraio 2024 è stato inserito nel **Net Zero Industry Act (NZIA)**.
29. In questo contesto, una particolare attenzione viene posta sul **ruolo del nuovo nucleare**. A marzo 2024, l'Unione Europea ha avviato l'**European Industrial Alliance sugli SMR** con l'obiettivo di promuovere un **Programma europeo comune** e creare le

⁴¹ Non è prevista una data puntuale per il *phase-out* dal nucleare della Svizzera.

migliori condizioni per la diffusione degli SMR in tutta l'Unione Europea. Un tema di rilevanza strategica per il futuro dell'Europa, che vede l'inclusione anche dell'Italia, seconda solo alla Francia per numero di aziende partecipanti all'Alliance⁴².

1.2 L'EVOLUZIONE STORICA DELLA TECNOLOGIA NUCLEARE E LA DISCONTINUITÀ TECNOLOGICA RAPPRESENTATA DAL NUOVO NUCLEARE

30. L'energia nucleare può essere ottenuta mediante 2 reazioni differenti: la fissione e fusione nucleare. Nel processo di **fissione nucleare**, l'energia viene generata attraverso la **rottura di un nucleo atomico** pesante, tipicamente di uranio, in due nuclei più leggeri. Tale reazione, stimolata bombardando i nuclei pesanti con dei neutroni, innesta una reazione a catena controllata all'interno del reattore che è in grado di liberare **energia termica**⁴³. L'energia generata viene impiegata per **riscaldare un fluido termovettore** che, trasformato solitamente in vapore tramite un generatore o l'ebollizione diretta del fluido, **aziona successivamente una turbina** collegata ad un alternatore che sarà in grado di **generare energia elettrica**⁴⁴. Nella **fusione nucleare**, invece, l'energia scaturisce dall'**unione/fusione di 2 nuclei di elementi molto leggeri** (es. idrogeno) per formare un nucleo più pesante, rilasciando una grande quantità di energia. Questo processo richiede temperature elevatissime per superare la repulsione elettrostatica tra i nuclei positivi. Gli elementi immessi nella camera di reazione si trasformano in plasma, un "composto" di particelle ionizzate, cioè di cariche separate, come nuclei ed elettroni. Nei reattori sperimentali, come il Tokamak, vengono utilizzati dei grandi magneti che generano un **campo magnetico** in grado di "confinare" il plasma caldo necessario alla fusione e controllare i movimenti delle particelle.
31. Dalla prima generazione di reattori nucleari sviluppati negli anni '50, la tecnologia nucleare ha subito un'evoluzione significativa che è culminata in **enormi progressi tecnologici in termini di efficienza e sicurezza degli impianti**. Se da un lato, questi avanzamenti hanno richiesto un aggiornamento della progettazione degli impianti, complice anche la contrazione degli investimenti su scala globale, dall'altro lato il progresso tecnologico garantisce oggi **livelli elevati di sicurezza** dei reattori nucleari, in grado di impedire che si ripetano i gravi episodi accaduti in passato grazie, ad esempio, all'introduzione dei **sistemi di sicurezza passivi** che intervengono autonomamente in caso di emergenza, senza ricorrere a sorgenti di energia supplementare e senza richiedere l'intervento umano se non nel lungo termine.

⁴² Per maggiori approfondimenti si rimanda al paragrafo "L'Evoluzione storica della tecnologia nucleare e la discontinuità tecnologica rappresentata dal nuovo nucleare nel presente capitolo.

⁴³ L'energia generata dalla fissione si manifesta inizialmente sotto forma di energia cinetica dei prodotti di fissione, che scontrandosi con le altre particelle del sistema circostante generano calore, liberando così energia termica.

⁴⁴ Come il Rapporto dimostrerà in seguito, il nuovo nucleare è funzionale anche per altri usi oltre alla produzione di elettricità, tra cui la produzione di calore per usi industriali e di idrogeno.

32. Negli ultimi decenni, la tecnologia nucleare ha continuato a progredire per offrire soluzioni innovative e funzionali per le sfide energetiche globali. Per quanto riguarda la tecnologia a fissione nucleare, l'innovazione tecnologica sta indirizzando le scelte di sviluppo verso i **nuovi modelli di reattori di piccola taglia** – come gli **Small Modular Reactor** (SMR) e gli **Advanced Modular Reactor** (AMR) – in grado di offrire maggiore flessibilità, affidabilità e molteplici applicazioni industriali rispetto alla tecnologia tradizionale. In questo senso, le **nuove tecnologie nucleari** – il cosiddetto *nuovo nucleare* considerato all'interno di questo studio – **rappresentano una discontinuità tecnologica rispetto al passato** che ne permette l'adozione sicura su vasta scala grazie ad un **design modulare semplificato, sistemi di sicurezza passiva** e un **ampio spettro di potenziali applicazioni a sostegno della decarbonizzazione**.
33. Gli elevati *standard* di sicurezza hanno reso i **reattori moderni tra le strutture artificiali più sicure mai costruite**, introducendo ulteriori requisiti che hanno comportato complicazioni impiantistiche o l'introduzione di sistemi di sicurezza innovativi, con conseguente incidenza **sui costi o sui tempi di sviluppo**, rispettivamente. Tuttavia, gli aumenti significativi dei costi e dei tempi di realizzazione di opere così complesse sembrano maggiormente imputabili all'interruzione dei piani occidentali di sviluppo nucleare, in particolare in Europa, che hanno portato ad una **perdita di know-how e competenze** nella costruzione di centrali e componenti di un reattore⁴⁵. In questo contesto si inserisce la frontiera di sviluppo del nuovo nucleare che rappresenta una innovazione in grado di indirizzare molte delle criticità che hanno frenato lo sviluppo dell'energia nucleare negli ultimi decenni. Nella figura successiva è riportato il collocamento dello sviluppo di SMR e AMR rispetto alle precedenti generazioni di tecnologie nucleari a fissione più estesamente descritte nel box 2.

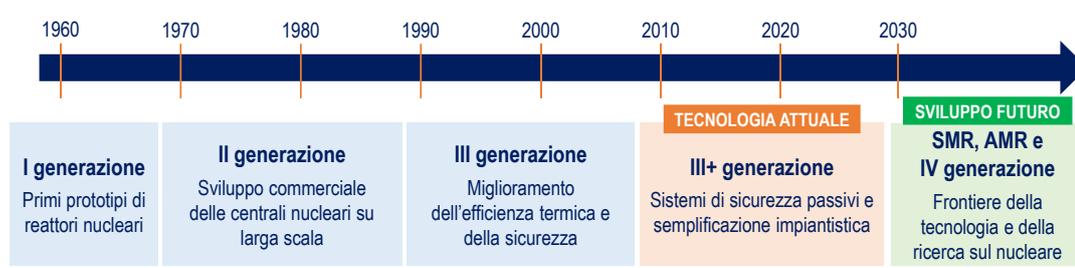


Figura 11. Evoluzione della tecnologia di fissione nucleare (illustrativo). Fonte: elaborazione TEHA Group su fonti varie, 2024.

34. Un altro importante filone di ricerca in questo ambito è costituito dalla **fusione nucleare**, su cui si sta concentrando la comunità scientifica di tutto il mondo attraverso la collaborazione in **grandi progetti internazionali**, tra cui ITER, *Broader Approach* e DEMO, che coinvolgono centri di ricerca, Università e Istituzioni dei Paesi dell'Unione Europea, India, Corea del Sud, Cina, Giappone, Stati Uniti e Russia. In questo campo,

⁴⁵ Si rimanda al Capitolo 1.1. per l'analisi dei piani occidentali di sviluppo del nucleare che mettono in luce il rallentamento/immobilismo in Europa negli ultimi decenni.

l'Italia può beneficiare del **ruolo prominente della ricerca italiana e della filiera industriale nazionale** nei progetti di ricerca internazionali, a cominciare dal progetto ITER e dal centro di eccellenza ENEA di Frascati. L'obiettivo della ricerca sulla fusione nucleare è di dimostrare la fattibilità di questo processo per la generazione di energia con una tecnologia economicamente competitiva, innovativa e sostenibile. La fusione nucleare rappresenterebbe infatti una **fonte inesauribile di energia**, data l'estrema abbondanza della materia prima utilizzata (idrogeno) per la reazione. Tuttavia, i tempi di sviluppo tecnologico della fusione sono ancora lunghi, con la commercializzazione dei primi impianti che è prevista **dopo il 2050**.

Box 2: Evoluzione della tecnologia di fissione nucleare nelle diverse generazioni di reattori

Ripercorrendo l'evoluzione tecnologica dell'energia nucleare, le diverse tecnologie sono generalmente classificate in 4 generazioni:

- **1° generazione.** I reattori di prima generazione furono i **pionieri della tecnologia nucleare per la generazione di energia**, sviluppati come proof of concept tra gli anni '50 e '60 per validare l'utilizzo della fissione nucleare per la produzione di energia elettrica. I primi reattori commerciali erano poco efficienti ed ebbero, nella maggior parte dei casi, una vita operativa breve.
- **2° generazione.** A partire dalla seconda metà degli anni '60, la tecnologia nucleare ha conosciuto una fase di forte sviluppo commerciale su larga scala, in particolare dopo la crisi petrolifera del '73. I reattori di seconda generazione hanno introdotto **miglioramenti significativi in termini di sicurezza ed efficienza termica** rispetto alla generazione precedente, e ancora oggi rappresentano la **maggior parte dei reattori operativi**. Sebbene fossero inizialmente pensati per funzionare 40 anni, molti di essi hanno infatti visto un'**estensione della loro operatività** grazie a interventi di ammodernamento che hanno permesso di mantenere condizioni ottimali di funzionamento. I design più diffusi della seconda generazione sono quelli ad **acqua pressurizzata** (PWR, Pressurized Water Reactor) e quelli ad **acqua bollente** (BWR, Boiling Water Reactor): nei primi, l'acqua riscaldata viene mantenuta allo stato liquido grazie all'alta pressione del sistema e viene immessa in un generatore di vapore, dove cede calore all'acqua del circuito secondario che si trasforma in vapore e aziona la turbina; nei secondi, invece, l'acqua del circuito primario viene lasciata bollire all'interno del nocciolo e il vapore viene mandato direttamente alla turbina.
- **3° generazione.** I reattori di terza generazione vennero sviluppati a partire dalla seconda metà degli anni '80 introducendo **enormi avanzamenti tecnologici sul piano della sicurezza** basati sugli insegnamenti appresi dagli incidenti di Three Mile Island e Chernobyl. Sebbene utilizzino le tecnologie ad acqua come la seconda generazione, i reattori di terza generazione presentano **sistemi di sicurezza all'avanguardia con livelli elevatissimi di affidabilità e ridondanza**. In particolare, i reattori di terza generazione avanzata (III+) introducono il concetto di **sicurezza passiva** che, grazie a strumenti di controllo automatici e all'attivazione di meccanismi fisici elementari, **non richiedono la disponibilità di sorgenti di energia supplementari**, intervenendo prontamente e autonomamente in caso di anomalie **senza necessità di intervento umano degli operatori per gestire le fasi post-incidentali**. All'interno di questa categoria rientrano i reattori **EPR** (*European Pressurized Reactor*) sviluppati da EDF nei siti di Flamanville (Francia) e Olkiluoto (Finlandia), e i reattori AP1000 di Westinghouse realizzati in Cina e negli Stati Uniti.
- **4° generazione.** I reattori di quarta generazione sono **attualmente in fase di sviluppo** e mirano a rendere l'energia nucleare più flessibile e adatta a esigenze differenti e complementari per la transizione energetica. Oltre a conservare tutti i progressi tecnologici della terza generazione avanzata, la quarta generazione mira a sviluppare reattori in grado di assolvere specifiche funzioni, tra cui la **decarbonizzazione dei settori hard-to-abate** grazie alla **produzione di calore ad alta temperatura**, la **produzione di idrogeno** tramite l'elettricità e il calore di scarto o la **chiusura del ciclo del combustibile per abilitare il riciclo dei rifiuti nucleari**. Inoltre, la quarta generazione mira a **perfezionare ulteriormente la sicurezza passiva** dei reattori, grazie a innovativi sistemi di raffreddamento che impiegano, ad esempio, metalli fusi come mezzo di raffreddamento.

Fonte: elaborazione TEHA Group su fonti varie, 2024.

Gli elementi di discontinuità e i benefici differenziali del nuovo nucleare

35. In questo frangente storico, la tecnologia nucleare si sta specializzando nello **sviluppo di reattori modulari di piccola taglia** in grado di valorizzare la **produzione in serie** e le economie di scala nella loro costruzione, con l'obiettivo di rendere l'energia nucleare più competitiva e funzionale alle necessità di decarbonizzare. La caratteristica chiave del nuovo nucleare è, infatti, la **struttura modulare dei reattori** che permette di semplificare notevolmente il *design* e la fase di costruzione di una centrale, abilitando, tra l'altro, la possibilità di **prefabbricare alcuni moduli in fabbrica** per poi **trasportarli e installarli direttamente sul sito della centrale**.
36. Come anticipato anche in precedenza, all'interno dello sviluppo del cosiddetto nuovo nucleare lo Studio considera gli *Small Modular Reactor (SMR)* e gli *Advanced Modular Reactor (AMR)*, che **non costituiscono una tecnologia indipendente dalle precedenti**, ma sono invece **trasversali rispetto alle ultime generazioni di reattori**. In particolare, **gli SMR impiegano l'ultima evoluzione della 3° generazione** puntando sulla piccola taglia, sulle economie di serie e sulla costruzione modulare per garantire una riduzione dei tempi di costruzione e dei tempi di ritorno economico sugli investimenti. Seguendo il concetto di **staffetta tecnologica**, gli **AMR si integrano in logica complementare agli SMR**, sviluppando la tecnologia nucleare di 4° generazione in un *design* modulare di piccola taglia. In quest'ottica di complementarità, gli AMR abiliteranno la chiusura del ciclo del combustibile (il combustibile esausto in uscita dagli SMR potrà essere utilizzato come combustibile in ingresso agli AMR)⁴⁶.
37. Il concetto di staffetta tecnologica è al centro dell'avanzamento tecnologico del nuovo nucleare, considerando che **lo sviluppo degli SMR risulta altamente complementare all'evoluzione tecnologica degli AMR e della fusione nucleare**. In aggiunta agli SMR e agli AMR, sono in fase di sviluppo anche i **microreattori modulari**⁴⁷, funzionali per **applicazioni off-grid** in aree remote, per la gestione di generazione elettrica in **situazioni emergenziali** e per lo sviluppo di soluzioni tecnologiche innovative per la **decarbonizzazione della propulsione navale**. In futuro, l'evoluzione della tecnologia del nuovo nucleare permetterà quindi di accelerare lo sviluppo di tecnologie innovative ancora in una fase di ricerca e sviluppo, ma che potrebbero essere commercialmente disponibili nei prossimi decenni (a partire dal 2030 nel caso degli SMR, dal 2040 per gli AMR e dopo il 2050 nel caso della fusione).

⁴⁶ Con l'espressione "ciclo del combustibile" si intende l'intero processo che segue il combustibile nucleare dall'estrazione mineraria allo smaltimento come combustibile esaurito.

⁴⁷ Gli MMR garantiscono fino a 40 MW di potenza termica e sono facilmente installabili vicino al sito industriale; tuttavia, sono ancora in una fase di sviluppo prototipale (TRL 4/5) con un mercato dominato prevalentemente da start-up e presentano ancora diverse criticità (es. *licensing*, utilizzo grafite come moderatore) che ne ostacolano lo sviluppo.

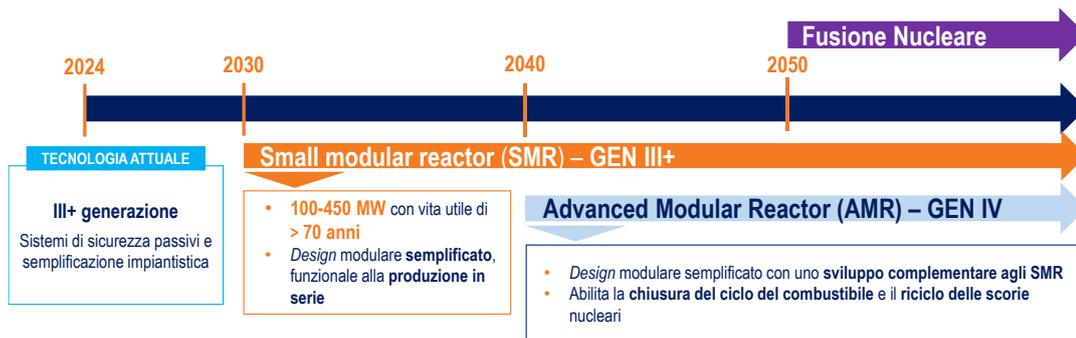


Figura 12. Evoluzione della frontiera di ricerca e sviluppo dell'energia nucleare (illustrativo). Fonte: elaborazione TEHA Group su fonti varie, 2024.

38. A livello tecnico, **gli SMR sono reattori con potenze comprese tra circa 100 e 450 MW**, con un consumo di suolo per energia prodotta pari a $0,04 \text{ m}^2/\text{MWh}_{\text{anno}}$, 2 volte superiore alle centrali a gas a ciclo combinato ($0,02 \text{ m}^2/\text{MWh}_{\text{anno}}$) e **100 volte inferiore** rispetto ad un impianto fotovoltaico *utility-scale* ($4,4 \text{ m}^2/\text{MWh}_{\text{anno}}$).⁴⁸ A parità di potenza installata (m^2/MW), un SMR occupa circa 2,4 lo spazio di un impianto CCGT con CCS ($350 \text{ m}^2/\text{MW}$ vs. $145 \text{ m}^2/\text{MW}$) e 5 volte lo spazio di un impianto CCGT senza CCS ($350 \text{ m}^2/\text{MW}$ vs. $70 \text{ m}^2/\text{MW}$). La disponibilità commerciale di queste soluzioni è prevista **a partire dal 2030**, ma già oggi hanno raggiunto un **livello di maturità tecnologica (TRL) pari a 7-8**, con alcuni *design* di SMR in fase di dimostrazione operativa propedeutica alla fase di validazione e commercializzazione su larga scala (TRL 9)⁴⁹. La potenza ridotta dei reattori rende gli SMR particolarmente **adeguati alle reti elettriche esistenti**, con la **possibilità di essere installati in prossimità di distretti industriali e in sostituzione delle centrali a fonti fossili ancora operative**, limitando anche gli investimenti in adeguamento della rete per la trasmissione dell'elettricità su lunghe distanze. Inoltre, il nuovo nucleare impiega una **quantità ridotta di materiale radioattivo** rispetto alle grandi centrali tradizionali, con notevoli benefici in termini di **riduzione della zona di emergenza** intorno al sito della centrale, permettendo così di collocare le **centrali più vicine ai principali centri di consumo**.

39. Lo sviluppo del nuovo nucleare abilita molteplici benefici sistemici e differenziali rispetto alle grandi centrali tradizionali, che si rivelano particolarmente funzionali per il raggiungimento dei *target* di decarbonizzazione al 2050 in una **logica di integrazione**

⁴⁸ L'analisi considera un impianto SMR da 340 MW con un'estensione totale di 12 ettari e circa 7.880 ore di funzionamento in un anno. Per un impianto fotovoltaico sono state considerate 1.800 ore di funzionamento ed un consumo di suolo di 0,8 ettari per MW installato. Il confronto con le centrali a gas a ciclo combinato (CCGT) considera un impianto da 850 MW, un consumo di suolo di 6 ettari e 3.500 ore di funzionamento (stimate in prospettiva al 2035). Nel caso di un CCGT abbinato ad un sistema CCS, l'analisi ha considerato 7.000 ore di funzionamento e un'estensione dell'impianto di 11 ettari. Fonte: dati Edison.

⁴⁹ Il *Technology Readiness Level* (TRL, in italiano Livello di Maturità Tecnologica) è una metodologia per la valutazione del grado di maturità di una tecnologia (da 1 a 9), dalle fasi iniziali di *concept* e sperimentazione (TRL 2-3) alla fase di dimostrazione della tecnologia in un ambiente operativo (TRL 7), fino a raggiungere la commercializzazione e validazione su larga scala in ambiente operativo (TRL 9).

ottimale con lo sviluppo delle fonti rinnovabili. In particolare, lo Studio identifica **8 fattori distintivi che qualificano i benefici differenziali del nuovo nucleare.** Si tratta, in particolare di:

- I. **minori tempi di costruzione** grazie al *design* modulare, che consente di realizzare in serie e **pre-assemblare i diversi moduli in fabbrica.** La **standardizzazione del design e del permitting** per il nuovo nucleare tra i diversi Paesi e la **concentrazione del mercato europeo su pochi modelli da produrre in serie su scala industriale** saranno elementi cruciali per valorizzare le economie di scala e la competitività industriale della *supply chain* europea, con potenziali benefici anche in termini di **riduzione dei costi di costruzione** delle nuove centrali;
- II. **migliore finanziabilità,** data la **riduzione dei costi finanziari e di capitale** dovuta alla taglia ridotta delle centrali e ai **ridotti tempi di costruzione,** che garantiscono **minore incertezza** e limitano le possibilità di ritardi nei progetti. I costi di finanziamento sono infatti un fattore determinante nello sviluppo del nucleare, **influenando sul costo finale dell'energia prodotta**⁵⁰;
- III. **sicurezza rafforzata,** grazie ai **sistemi di sicurezza passiva,** che già hanno innovato la tecnologia di 3° generazione avanzata e garantiscono la totale sicurezza del reattore ed una zona di emergenza ridotta. Inoltre, le taglie contenute di un reattore modulare permettono di **ridurre, a volte significativamente, le necessità di refrigerazione dopo lo spegnimento:** in alcune tipologie di SMR è possibile anzi che il reattore sia in grado di smaltire il calore residuo per semplice scambio con l'atmosfera;
- IV. **maggiore flessibilità nella scelta del sito** date le dimensioni ridotte (paragonabili a quelle di una centrale termoelettrica), **l'uso limitato di suolo** (il nuovo nucleare è quindi più facile da integrare nel territorio) e il **minor consumo idrico, con un impatto ambientale contenuto sul territorio in cui si installa.** Grazie a queste caratteristiche, il nuovo nucleare è in grado, potenzialmente, di **sostituire le centrali a gas e carbone** essenziali per garantire la produzione stabile e programmabile (carico di base) della rete elettrica, **riutilizzando parte dell'infrastruttura esistente.** Inoltre, la possibilità di collocare gli impianti SMR vicino alle città e ai distretti industriali consentirebbe di impiegare il calore di scarto delle centrali per alimentare la rete di **teleriscaldamento,** che ancora oggi dipende per 2/3 del suo fabbisogno dal gas naturale, oltre che i fabbisogni termici delle industrie;

⁵⁰ Sebbene i costi siano ridotti in valore assoluto rispetto alle grandi centrali tradizionali, lo sviluppo della tecnologia del nuovo nucleare è *CAPEX-intensive* e soggetta quindi a elevati costi di finanziamento e di capitale, a causa dell'elevato rapporto tra CAPEX e OPEX.

- V. **maggiore integrazione con la rete elettrica** esistente. Il nuovo nucleare è, infatti, già **compatibile con l'infrastruttura di rete esistente**, non necessitando di interventi di adeguamento come nel caso delle grandi centrali tradizionali. Il nuovo nucleare risulta dunque funzionale in un'ottica di integrazione ottimale con le fonti rinnovabili per minimizzare i costi di sistema e i costi di trasmissione dell'energia elettrica;
- VI. **garanzia di stabilità della rete elettrica**, integrandosi e **compensando l'intermittenza** delle FER nel *mix* elettrico. La crescente penetrazione delle fonti rinnovabili intermittenti (es. fotovoltaico ed eolico) nel mix di generazione elettrica rende, infatti, la stabilità della rete un tema critico in uno scenario di integrazione ottimale delle fonti energetiche rinnovabili al fine di **limitare i costi di sistema e gli investimenti per l'adeguamento della rete elettrica**. Infatti, il nuovo nucleare garantisce una produzione decarbonizzata stabile e modulabile divenendo equivalente ad una rinnovabile accoppiata ad un sistema di accumulo, coprendo i periodi di non produzione delle rinnovabili e riducendo significativamente gli *extra* costi di sistema necessari per la transizione energetica. Secondo le stime del PNIEC italiano, lo scenario con nucleare garantirebbe infatti un **risparmio di circa 17 miliardi di Euro per raggiungere l'obiettivo Net Zero entro il 2050** rispetto allo scenario senza nucleare⁵¹;
- VII. **capacità di cogenerazione**⁵² per la produzione di energia elettrica e **calore per usi industriali**, oltre alla produzione di **idrogeno decarbonizzato**. Il nuovo nucleare è in grado di abilitare la **fornitura di calore industriale per i processi a bassa temperatura** grazie agli SMR e **media temperatura** con lo sviluppo di alcuni *design* di AMR, in grado di raggiungere temperature fino a 950° C. Inoltre, tramite la produzione di idrogeno, il nuovo nucleare può contribuire anche alla decarbonizzazione dei processi ad **alta temperatura** (fino a oltre 2.000°C). **La decarbonizzazione dei consumi termici rappresenta un elemento cruciale per il raggiungimento dei target di decarbonizzazione**, ambito in cui tuttavia scarseggiano le soluzioni economiche e *ready-to-market* a disposizione dell'industria. In questo senso, il nuovo nucleare risulta una leva fondamentale anche per sostenere la produzione di idrogeno decarbonizzato a prezzi competitivi;
- VIII. **chiusura del ciclo del combustibile**, abilitando il riciclo di rifiuti nucleari grazie allo sviluppo degli AMR. Alcune aziende stanno, infatti, proponendo reattori in grado di **impiegare il combustibile esausto delle centrali nucleari tradizionali**

⁵¹ Per un approfondimento sulla riduzione dei costi di sistema e sulla competitività dei costi del nuovo nucleare per la decarbonizzazione si rimanda al capitolo 2.2. del presente Rapporto Strategico.

⁵² L'ibridizzazione di elettricità e calore (cogenerazione) permette di modulare la produzione degli impianti da 100% elettrici ad un mix di elettricità e calore a seconda delle necessità del Paese e dei settori industriali.

come nuovo combustibile, riducendo in questo modo la quantità di rifiuti nucleari prodotti a lungo termine e **migliorando la sostenibilità complessiva dell'intero ciclo del combustibile**. Il riciclo del combustibile permetterebbe, infatti, di **ridurre notevolmente il tempo di decadimento dei rifiuti nucleari ad alta radioattività**.



Figura 13. I benefici differenziali del nuovo nucleare rispetto alle grandi centrali tradizionali (illustrativo). (*) Permette di modulare la produzione degli impianti da 100% elettrici ad un mix di elettricità e calore a seconda delle necessità del Paese e dei settori industriali. *Fonte: elaborazione TEHA Group su fonti varie, 2024.*

I principali piani di sviluppo del nuovo nucleare a livello globale

40. Alla luce dei benefici differenziali evidenziati in precedenza, si comprendono i motivi che hanno portato negli ultimi anni a **investimenti nello sviluppo di soluzioni di nuovo nucleare in un contesto di forte competizione internazionale**. Il nuovo nucleare sta, infatti, raggiungendo livelli di maturità tecnologica avanzati e si sta delineando una corsa tra i principali Paesi per riuscire a commercializzare su larga scala un *design* di SMR prodotto in serie che consenta di consolidare il **first-mover advantage**. A conferma di questo interesse, a livello globale si registrano attualmente **oltre 80 progetti in via di sviluppo** associati al nuovo nucleare. In particolare, la rapida scalabilità e le economie di scala saranno fattori determinanti per il successo del nuovo nucleare in un mercato altamente frammentato, in cui emergeranno pochi *design* vincenti nel medio-lungo periodo.



Figura 14. Analisi dei progetti di SMR in fase di sviluppo nel mondo per stadio di avanzamento del progetto. *Fonte: elaborazione TEHA Group su dati Nuclear Energy Agency dal report "The NEA SMR Dashboard. 2nd edition", 2024.*

41. Attualmente, **Cina e Russia si posizionano alla frontiera tecnologica di sviluppo del nuovo nucleare a livello globale** e rappresentano gli unici 2 Paesi ad aver sviluppato i primi modelli operativi. **Gli unici reattori SMR attualmente in funzione sono, infatti, il modello cinese HTR-PM** (500 MW, composto da 2 moduli da 250 MW), operativo dal 2021 e connesso alla rete elettrica, **e il reattore russo KLT-40S** (300 MW, composto da 2 moduli da 150 MW), entrato in funzione nel 2020 e attualmente in grado di fornire elettricità e calore alla città di Pevek, isolata dalla rete elettrica. La Cina rappresenta uno dei *leader* mondiali nello sviluppo del nuovo nucleare con il progetto **Linglong One** (ACP-100) che rientra in un ampio piano di espansione dell'energia nucleare a livello nazionale, con l'obiettivo di **esportare successivamente questa tecnologia anche all'estero**. La costruzione del primo modello commerciale *Linglong One* è iniziata nel 2021 nella provincia di Hainan ed è previsto entrare in funzione nei prossimi anni (2026-2027). Anche la Russia prevede nei prossimi anni un forte sviluppo del nuovo nucleare con la famiglia di reattori RITM che, **beneficiando del sostegno statale e delle competenze trasversali all'intero settore nucleare di ROSATOM** (ente statale russo per l'energia atomica), posizionano la Russia tra i Paesi in grado di ambire all'obiettivo di essere tra i *first mover* per il nuovo nucleare.
42. Tuttavia, un **forte sviluppo degli SMR è in corso anche in Europa (Francia e UK), in Nord America (Canada e USA) e in altri Paesi** (es. **Corea del Sud, Giappone, Argentina**), con alcuni modelli dimostrativi di SMR già in fase avanzata di sviluppo e che diventeranno operativi entro la fine del decennio. Un caso particolare è rappresentato dal **Giappone**, con il **reattore HTTR** operativo da inizio anni 2000 e progettato inizialmente per dimostrare l'applicazione del nucleare per la produzione di calore. Attualmente, il reattore giapponese è infatti in fase di manutenzione per essere reimpiegato nella produzione di idrogeno. Gli unici altri esempi di nuovo nucleare in fase di costruzione sono il **reattore CAREM in Argentina**, interamente finanziato dal governo nazionale, e il **reattore Terrapower negli Stati Uniti**, che ha avviato la

costruzione del primo modello dimostrativo a giugno 2024 in Wyoming. **Gli USA si posizionano alla frontiera dello sviluppo del nuovo nucleare** con circa 19 *design* di reattori in fase di sviluppo nel 2024, per alcuni dei quali sono state avanzate le richieste di approvazione del *design* (es. NuScale Power, Kairos Power) per ottenere la licenza di costruzione. Anche la **Corea del Sud** risulta tra i principali Paesi attivi nello sviluppo del nuovo nucleare, con il **reattore SMART** che rappresenta il **primo modello di SMR ad aver completato l'intera fase di licensing già nel 2012**. Attualmente, la Corea del Sud ha stipulato accordi di collaborazione con Arabia Saudita, Emirati Arabi Uniti (EAU) e Canada per la costruzione di reattori SMR e ha recentemente annunciato un piano per creare un *hub* industriale a sostegno della *supply chain* e della competitività industriale nazionale nello sviluppo e commercializzazione del nuovo nucleare a livello globale.



Figura 15. Analisi dei principali progetti di SMR in fase avanzata di sviluppo a livello globale (illustrativo). Fonte: elaborazione TEHA Group su dati Nuclear Energy Agency dal report "The NEA SMR Dashboard. 2nd edition" e fonti varie, 2024.

43. A livello europeo, diversi Paesi stanno investendo nello sviluppo del nuovo nucleare. A gennaio 2024, il **governo britannico** ha pubblicato la **roadmap strategica del nucleare, con l'obiettivo di soddisfare con l'energia nucleare il 25% dei consumi elettrici** del Paese entro il 2050, puntando sullo sviluppo del nuovo nucleare da affiancare ai reattori tradizionali su larga scala⁵³ e alla crescente penetrazione delle fonti rinnovabili (es. eolico). Nel 2020, il Regno Unito ha annunciato l'**Advanced Nuclear Fund** prevedendo un fondo di oltre 250 milioni di Euro per lo sviluppo degli SMR e circa 200 milioni di Euro per sostenere un programma di ricerca e sviluppo per la realizzazione di un AMR dimostrativo entro i primi anni del prossimo decennio. Inoltre, il Governo britannico ha istituito l'ente *Great British Nuclear* con il compito di selezionare e sostenere le tecnologie SMR più promettenti. Al termine del processo,

⁵³ La *roadmap* del Regno Unito per il nucleare prevede la realizzazione di un ulteriore progetto di reattore su larga scala, oltre al completamento della costruzione delle centrali Hinkley Point C (3,2 GW) e Sizewell C (3,2 GW).

sono state selezionate 5 aziende⁵⁴ che hanno presentato a luglio 2024 le offerte iniziali per la realizzazione dei diversi modelli di SMR con l'obiettivo di raggiungere una decisione finale di investimento (FID, *Final Investment Decision*) entro la fine del 2029. In Europa, anche la Francia sta investendo fortemente nello sviluppo dei reattori modulari, garantendo un **sostegno pubblico di oltre 1 miliardo di Euro** fino al 2030 dedicato ai reattori innovativi, di cui la metà destinata agli SMR.

44. In un contesto di forte competizione internazionale che vede davanti attualmente Russia, Cina e Stati Uniti, il ruolo dell'Unione Europea diventa dunque fondamentale per sostenere lo sviluppo del nuovo nucleare e salvaguardare la sicurezza energetica e tecnologica a livello europeo. Durante il Nuclear Energy Summit, tenutosi a Bruxelles il 21 marzo 2024, **la Presidente della Commissione Europea Ursula Von der Leyen ha ribadito l'importanza di questa tecnologia per la transizione energetica, evidenziando il forte interesse di molti Stati Membri nello sviluppare questa tecnologia.** A tal fine, a marzo 2024, l'Unione Europea ha avviato l'**European Industrial Alliance sugli SMR** con l'obiettivo di promuovere un **Programma europeo comune** e creare le migliori condizioni per la diffusione degli SMR in tutta l'Unione Europea, **valorizzando al meglio le competenze e il know-how della filiera nucleare europea.** L'Alleanza europea mira alla **costruzione dei primi modelli di SMR nel 2030** e prevede di definire una **roadmap strategica entro marzo 2025.** Come evidenzia la Figura 16, inoltre, questa iniziativa si inserisce in un contesto più ampio di **crecente interesse dell'UE verso l'energia nucleare**, che ha visto anche l'**inclusione del nucleare** all'interno delle tecnologie per sostenere la transizione citate nel **Net Zero Industry Act (NZIA)**⁵⁵. In altri termini, **la tecnologia nucleare è stata pienamente inserita nel portfolio tecnologico con cui l'UE si propone di dispiegare la transizione energetica.** L'alleanza industriale sugli SMR è, in questo senso, lo strumento attraverso cui questo ruolo può trovare pieno compimento.
45. Ad aprile 2024 anche l'Italia, che come illustrato nel capitolo 2 ha mantenuto una **forte base di competenze industriali in ambito nucleare**, ha aderito all'Alleanza Industriale Europea sugli SMR, tramite il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE). Si tratta di una scelta in logica industriale che **ha anticipato l'inserimento di scenari di sviluppo del nucleare all'interno del PNIEC** (Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima) inviato alla Commissione Europea a luglio 2024⁵⁶. Il ruolo centrale

⁵⁴ GE-Hitachi Nuclear Energy International LLC, Holtec Britain Limited, NuScale Power, Rolls-Royce SMR e Westinghouse Electric Company UK Limited.

⁵⁵ Le tecnologie incluse nel *Net Zero Industry Act* sono: energia nucleare, fotovoltaico e solare termico, eolico *onshore* e energie rinnovabili *offshore*, tecnologie di propulsione elettrica e eolica, idroelettrico, batterie e stoccaggio di energia, rete elettrica e infrastrutture di rete, pompe di calore, geotermia, tecnologie industriali per la decarbonizzazione, tecnologie di efficienza energetica, idrogeno, biogas e biometano, combustibili rinnovabili (di origine non biologica), cattura e stoccaggio della CO₂ (CCS) e utilizzo della CO₂.

⁵⁶ Il ruolo del nuovo nucleare in Italia, alla luce anche degli obiettivi previsti dal PNIEC, verrà approfondito nel Capitolo 2 del Rapporto.

dell'Italia nello sviluppo europeo del nuovo nucleare è evidenziato dall'**elevata adesione delle aziende italiane all'Alleanza Industriale Europea sugli SMR**, seconde per numero solo alla Francia.



Figura 16. Principali tappe del percorso dell'Unione Europea per sostenere lo sviluppo del nuovo nucleare. Fonte: elaborazione TEHA Group su fonti varie, 2024.

46. La cooperazione tra Paesi europei per lo sviluppo del nuovo nucleare risulterà determinante per assicurare la standardizzazione degli SMR nei vari mercati nazionali. In questo senso, è auspicabile l'adesione di più Paesi europei per formare delle **Joint Early Review** sulle diverse tecnologie nucleari, come già proposto da Nuward tramite il coinvolgimento di 6 Paesi (Francia, Finlandia, Olanda, Polonia, Repubblica Ceca, Svezia). L'obiettivo è quello di accelerare lo sviluppo del nuovo nucleare e identificare gli aspetti chiave da valutare per il *licensing* e la sicurezza del *design* degli SMR in Europa, al fine di **promuovere l'armonizzazione degli standard a livello UE e creare un unico mercato concentrato sullo sviluppo di una tecnologia europea**, in grado di **beneficiare delle economie di scala** e consolidare i benefici sistemici del nuovo nucleare.

1.3 IL POSSIBILE CONTRIBUTO DEL NUOVO NUCLEARE PER SODDISFARE LA CRESCENTE DOMANDA DI ENERGIA ELETTRICA

47. Il panorama globale del consumo di elettricità sta subendo una **significativa trasformazione**, con proiezioni che concordano nell'indicare una **crescita sostanziale dei consumi elettrici nei prossimi decenni**. Questa dinamica di crescente elettrificazione è attesa anche nell'Unione Europea (UE) e in Italia, seppure per ragioni in parte diverse da quelle che stanno alimentando la crescita nel resto del mondo.
48. A livello globale, il consumo di elettricità ha subito una rapida accelerazione tra il 2000 e il 2023, passando da 16.261 TWh a 25.530 TWh (circa 1,5 volte i consumi del 2000). Questa crescita è destinata a continuare, con proiezioni che suggeriscono un **notevole aumento fino a 72.107 TWh entro il 2050** (quasi **3 volte** i consumi del 2023). In altri termini, **quasi nello stesso periodo temporale** (23 anni tra il 2000 e il 2023 e 27 anni tra il 2023 e il 2050), il tasso di crescita dell'elettrificazione nei consumi finali (già di per sé

significativo) dovrà **raddoppiare**. I principali fattori trainanti questo aumento sono due: la **crescita della popolazione** e lo **sviluppo economico delle nazioni emergenti**. Al crescere del benessere economico di questi Paesi, vi è un corrispondente aumento del consumo di elettricità pro capite, amplificando così ulteriormente la domanda elettrica complessiva.

49. Tra i Paesi nei quali è prevista la crescita più importante della domanda di elettricità vi sono infatti la **Cina e l'India, caratterizzati da una fortissima crescita economica**, in cui – rispetto ai consumi del 2022 – nel 2050 la domanda si prevede aumenterà rispettivamente **da 8.912 a 17.589 TWh (+97,4%) e da 1.766 a 6.605 (+274,0%)**.⁵⁷
50. In questo contesto, l'Unione Europea presenta un quadro più complesso. Nel 2000, il consumo di elettricità dell'UE era pari a 2.292 TWh, **in leggera crescita** fino a 2.401 TWh nel 2023. Rispetto al resto del mondo, i consumi elettrici nell'UE sono cresciuti in misura significativamente inferiore. Questo è dettato, da un lato, dalla **trasformazione della struttura produttiva**, sempre più ancorata al settore dei servizi e dall'altro lato, dal significativo sforzo messo in campo dall'Unione in termini di efficienza energetica. Tuttavia, **le previsioni per il 2050 delineano uno scenario drasticamente diverso**, con un consumo elettrico previsto in aumento e che varia tra 4.900 TWh e 6.922 TWh (pari a un **aumento di 2,0 – 2,9 volte** rispetto ai consumi elettrici attuali). Questa previsione di crescita è ancora più significativa se si pensa alla **dinamica demografica dell'UE**, caratterizzata da un lieve calo della popolazione (da 449,2 milioni di abitanti nel 2024 a 447,9 milioni nel 2050) e in cui, pertanto, la crescita dei consumi elettrici si lega, *in primis*, alla sostituzione di utilizzi energetici fossili (in particolare nel settore dei trasporti e dei dati).
51. **Le dinamiche di consumo di elettricità in Italia rispecchiano da vicino quelle dell'UE**. Nel 2000 l'Italia consumava 299 TWh di elettricità, con un aumento modesto a 306 TWh nel 2023. Guardando al 2050, diverse proiezioni suggeriscono una crescita significativa. In particolare, una stima più conservativa⁵⁸ riporta un consumo di circa **520 TWh al 2050 (1,7 volte** i consumi elettrici del 2023), mentre il PNIEC (Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima) di giugno 2024 prevede un consumo di poco superiore ai **583 TWh⁵⁹ al 2050 (1,9 volte** i consumi elettrici del 2023).
52. L'aumento previsto della domanda di elettricità per l'UE e l'Italia tra il 2023 e il 2050 può essere attribuito a **due principali fattori strutturali**. In primo luogo, vi è una crescente **penetrazione dell'elettricità nei consumi finali**, in particolare nel settore dei trasporti e nel settore residenziale. In secondo luogo, grazie alla diffusione dei processi di digitalizzazione, stiamo assistendo a un **aumento della necessità di capacità di**

⁵⁷ IEA, 2023.

⁵⁸ Fonte: “Il nuovo nucleare in Italia: perché, come, quando”, Edison, Ansaldo Nucleare, ENEA, Politecnico di Milano e NE, 2023.

⁵⁹ Nello scenario in cui l'energia nucleare contribuisce per l'11% della domanda elettrica.

calcolo, che sarà accelerato significativamente dai progressi di tecnologie quali l'**intelligenza artificiale** e dalla diffusione degli **High Performance Computer (HPC)** nonché dalle nascenti **tecnologie quantistiche**. Tutte tecnologie che richiedono un crescente numero di **data center con un elevato consumo elettrico**, amplificando quindi il fabbisogno energetico che il sistema elettrico deve soddisfare.

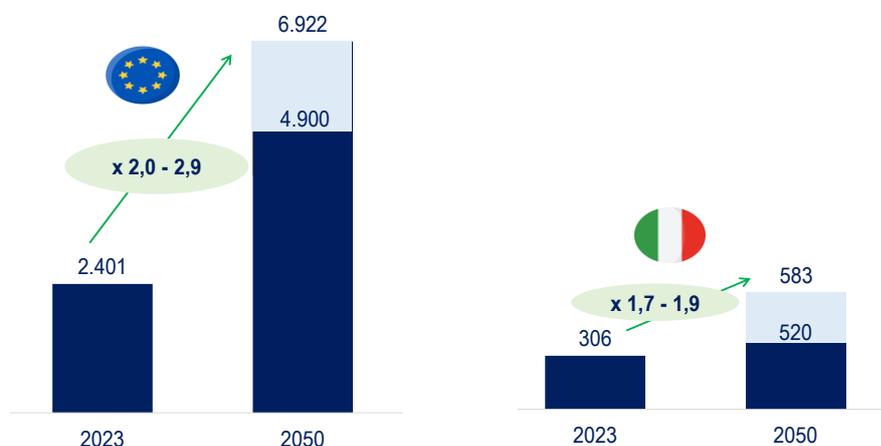


Figura 17. Consumi elettrici nell'Unione Europea e in Italia (in TWh), 2023 e 2050. Fonte: elaborazione TEHA Group su dati Commissione europea, Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, Terna e fonti varie, 2024.

53. Le dinamiche di elettrificazione sono visibili *in primis* nei settori dei trasporti e nel residenziale e le principali motivazioni alla base della crescita della penetrazione elettrica nei consumi finali nei prossimi anni sono da ricercarsi in un **maggiore utilizzo dei veicoli elettrici** e delle **pompe di calore** (funzionali all'elettrificazione dei sistemi di raffrescamento e riscaldamento del settore residenziale). Se fino ad oggi questi settori hanno fatto affidamento prevalentemente sui combustibili fossili (per il **99% nel settore dei trasporti e per il 95% nel settore residenziale**), negli ultimi anni si è iniziato a vedere un incremento del consumo elettrico in questi settori, con una transizione sempre più evidente verso soluzioni più sostenibili ed efficienti dal punto di vista energetico.
54. Nonostante l'Italia sia uno dei Paesi europei nei quali l'abbandono dell'automobile a combustione è più lento, si sta comunque registrando un **aumento significativo dell'adozione di veicoli elettrici**. Nel 2023, le auto elettriche e ibride *plug-in*⁶⁰ hanno raggiunto una quota di mercato pari all'**8,7%** rispetto al totale delle immatricolazioni (contro il 22,3% a livello UE), con un totale di 136.867 immatricolazioni (di cui 66.679 elettriche e 70.188 ibride *plug-in*). Cinque anni prima, nel 2018, le immatricolazioni di auto elettriche e ibride *plug-in* erano state appena 9.816.⁶¹ Questa tendenza è supportata da politiche governative volte a incentivare la mobilità sostenibile e dalla

⁶⁰ Le auto ibride *plug-in* vengono alimentate allacciandosi alla rete elettrica, a differenza delle *mild* e *full hybrid* le cui batterie sono alimentate dal motore termico e che quindi non contribuiscono alla crescita dei consumi elettrici.

⁶¹ Fonte: European Alternative Fuels Observatory, 2024.

crescente disponibilità di infrastrutture di ricarica⁶², che tuttavia non sono per ora risultate efficaci quanto in altri Paesi europei.

55. In generale, l'elettrificazione dei trasporti su gomma in Italia, spinta dalla necessità di arrivare a *net zero* in termini di emissioni entro il 2050, è **destinata ad aumentare significativamente nei prossimi decenni**. L'**incidenza del vettore elettrico in questo settore passerà dall'1% nel 2023 a quasi il 50% nel 2050**⁶³, contribuendo così alla crescita dei consumi elettrici nazionali. Già nel 2030, secondo il PNIEC, le auto elettriche e ibride *plug-in* circolanti in Italia saranno 6,6 milioni (contro le circa 462.000 di oggi⁶⁴).
56. Dall'altra parte, **anche nel settore residenziale i consumi elettrici sono destinati a diventare parte preponderante dei consumi finali**. Se oggi l'incidenza del vettore elettrico si attesta intorno al **5%**, nel 2050 esso arriverà al **66%**⁶⁵, con una accelerazione ancora più forte rispetto a quella che caratterizzerà il settore dei trasporti. Le **pompe di calore**, in particolare, contribuiranno significativamente a questo aumento, elettrificando i sistemi di raffrescamento e riscaldamento degli ambienti domestici. In Italia si prevede che saranno installate **10 milioni di pompe di calore aggiuntive entro il 2030**, con un incremento da 1,6 milioni nel 2020 a 11,6 milioni nel 2030.⁶⁶



Figura 18. Incidenza del vettore elettrico nei consumi finali dei settori del trasporto e residenziale (% sui consumi finali totali). Fonte: elaborazione TEHA Group su dati Italy for Climate e Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, 2024.

57. Per quanto riguarda l'aumento della capacità di calcolo – che rappresenta la seconda leva in grado di portare ad un forte aumento dei consumi elettrici sia a livello internazionale che italiano – come anticipato, sono molte le tecnologie emergenti che

⁶² Ad esempio, nel 2024 è stato erogato l'ecobonus per la sostituzione di automobili a benzina o diesel con auto elettriche per un valore complessivo di €1 miliardo.

⁶³ MASE (2022), National Long-Term Strategy.

⁶⁴ UNRAE, 2024.

⁶⁵ Elaborazione TEHA su dati Italy 4 Climate, 2024.

⁶⁶ "Filieri strategiche per la transizione energetica: roadmap industriale per Europa e Italia", TEHA, Enel e End Foundation, 2023.

contribuiranno ad accrescere significativamente i consumi elettrici in Italia entro il 2050. In tal senso, è esemplificativa la diffusione negli ultimi mesi di **ChatGPT**, ormai utilizzato anche come motore di ricerca in sostituzione di Google, ma il cui consumo elettrico per ogni singola ricerca è stimato essere di circa **dieci volte maggiore**⁶⁷.

58. Un altro esempio significativo è rappresentato dalla diffusione degli **High Performance Computer**, di cui ne è il miglior esempio in Italia il supercomputer Leonardo di Bologna. Questo computer è attualmente il quarto computer più potente al mondo ed è capace di effettuare 250 trilioni di operazioni al secondo, simboleggiando il vertice dell'innovazione nel calcolo ad alte prestazioni. Tuttavia, questa potenza di calcolo straordinaria ha un "costo" energetico significativo: **il consumo di elettricità del supercomputer è paragonabile a quello di una città come Modena**.
59. In questo portafoglio di tecnologie digitali, i **data center risultano cruciali, in quanto rappresentano le infrastrutture abilitanti per la digitalizzazione, contribuendo all'aumento della capacità di calcolo e quindi all'aumento dei consumi elettrici**. I *data center*, infatti, rappresentano il cuore pulsante di molte delle innovazioni moderne, poiché HPC e IA dipendono fortemente dalla loro capacità di elaborazione e archiviazione dati. **Già oggi sono presenti in Italia 99 data center** (per un totale di 430MW nel 2023, +52% sul 2020⁶⁸) con una prospettiva di rapido aumento nei prossimi anni. Secondo l'Osservatorio Data Center del Politecnico di Milano, infatti, gli investimenti in questa tecnologia nel solo triennio 2023-2025 potrebbero arrivare a **15 miliardi di Euro**⁶⁹.
60. I consumi dei *data center* in Italia ammontavano nel 2023 a 3,8TWh, pari a oltre l'1% dei consumi elettrici complessivi. Ai tassi di crescita attuali, è possibile stimare una crescita a 7,1TWh nel 2025 e 15,4TWh nel 2030. Se si concretizzeranno queste proiezioni, i data center arriveranno da soli a un consumo elettrico di 6,7 volte quello dell'intera industria farmaceutica nel 2022. Nella sola provincia di Milano - che ricopre un ruolo centrale nello sviluppo del settore in Italia - a fronte dei **14 data center già operativi oggi** è prevista l'apertura nei prossimi anni di **ulteriori 18 data center**.

⁶⁷ IEA, 2024.

⁶⁸ "Data center economy: l'Italia a un punto di svolta", Osservatorio Data Center del Politecnico di Milano, 2023.

⁶⁹ Ibid.

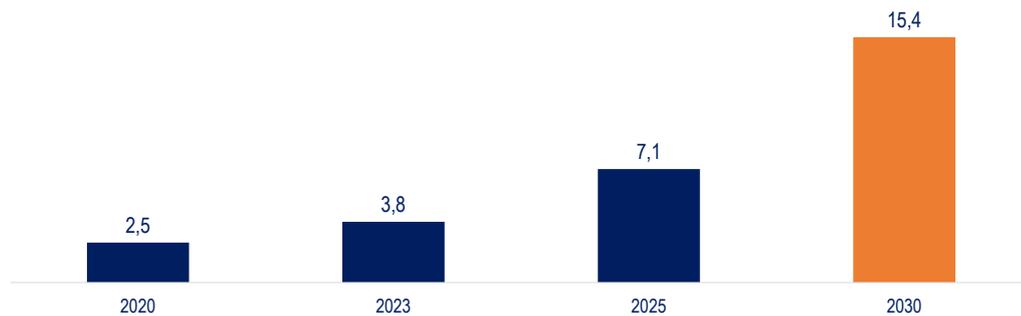


Figura 19. Consumo di elettricità dei data center in Italia (in TWh), 2020, 2023, 2025e, 2030e. Fonte: elaborazione TEHA Group su dati IEA e Politecnico di Milano, 2024.

61. In futuro, la diffusione di *data center hyperscaler* – ovvero centri di grandi dimensioni specializzati nella fornitura di enormi quantità di potenza di calcolo e capacità di storage – accentuerà ulteriormente questa dinamica.
62. È importante sottolineare come **queste tecnologie potrebbero cambiare in maniera significativa la struttura dei consumi elettrici nazionali: queste tecnologie richiedono, infatti, un fabbisogno energetico costante lungo tutto l’arco della giornata per poter funzionare**, rendendo difficile la loro alimentazione in assenza di fonti energetiche stabili e programmabili. Anche in virtù di queste considerazioni, aziende come Amazon stanno investendo in **data center alimentati da centrali nucleari**, al fine di garantire una **fornitura continua, affidabile e decarbonizzata di elettricità**, necessaria per sostenere l’elevata domanda energetica di queste infrastrutture critiche e per evitare *blackout*⁷⁰.
63. Recentemente, inoltre, l’ONU⁷¹ ha messo in luce il tema della **crescita dei consumi elettrici legata alla diffusione dei data center**. Secondo il rapporto, il consumo di elettricità dei *data center* di sole 13 società vale **460 TWh, più di quello di un Paese come la Francia**. Questo, sempre secondo il rapporto, comporterà **conseguenze ambientali** sempre più gravi legate all’inquinamento atmosferico, l’utilizzo di acqua e l’alta intensità di materie prime necessarie per la costruzione dei *data center*.
64. Nonostante i data center rappresentino per ora **l’1-1,5% del consumo globale di elettricità**, in paesi più piccoli con mercati in espansione il loro impatto può diventare significativamente più rilevante. Ad esempio, in Danimarca i *data center* hanno consumato circa 1,1 TWh di elettricità nel 2021, pari al 3% del consumo nazionale. Entro il 2030, si prevede che questo valore aumenterà a 8 TWh, equivalenti a circa il 13 per cento del consumo elettrico danese⁷². In Irlanda, il consumo elettrico dei *data center* è **più che quadruplicato tra il 2015 e il 2022, raggiungendo il 18% del consumo**

⁷⁰ Electrek, “Amazon just bought a 100% nuclear-powered data center” (5 marzo 2024).

⁷¹ ONU, Digital Economy Report, 2024.

⁷² Danish Energy Agency, 2023.

elettrico del Paese nel 2022. Secondo le proiezioni dell'operatore del sistema di trasmissione nazionale, questa quota potrebbe arrivare **fino al 28%** entro il 2031⁷³.

65. Tutte queste evidenze, lette congiuntamente, sottolineano come da un lato queste tecnologie offrano enormi potenzialità in termini di sviluppo economico e innovazione scientifica, e dall'altro richiedano una **pianificazione attenta e un approvvigionamento energetico adeguato** ad accompagnare la loro crescita, anche al fine di limitarne il più possibile l'impatto ambientale senza però frenarne lo sviluppo. **Garantire l'approvvigionamento costante di energia low-carbon, non intermittente e a prezzi competitivi** risulta essere quindi un elemento abilitante cruciale per sostenere lo sviluppo di un'industria digitale sostenibile e ridurre le emissioni rilasciate nell'ambiente, nonché per accompagnare l'elettrificazione degli usi finali e sostenere la crescita di consumi elettrici legati al ricorso a tecnologie digitali.
66. In questo quadro, **il nuovo nucleare si distingue come una soluzione chiave per le sfide che il settore energetico deve affrontare da qui al 2050**, essendo la **tecnologia di generazione elettrica a minore intensità carbonica** ed essendo in grado, al contempo, di **garantire una fornitura stabile e modulabile**. Grazie alla capacità di **load-following**, il nuovo nucleare è in grado di modulare la fornitura di energia alla rete elettrica, limitando il *curtailment* e la capacità di stoccaggio necessaria per la stabilità della rete. Operando il cosiddetto *load-following*, l'energia prodotta dal nuovo nucleare può essere reimpiegata ad esempio per la fornitura di calore e per alimentare sistemi di stoccaggio termico o impianti di produzione di idrogeno decarbonizzato.



Figura 20. Ruolo del nuovo nucleare in un contesto di forte crescita dei consumi elettrici (illustrativo). Fonte: elaborazione TEHA Group, 2024.

67. Il nuovo nucleare è dunque **una leva importante per soddisfare il crescente bisogno di fornitura di elettricità decarbonizzata** che si **complementa perfettamente allo sviluppo delle rinnovabili**. Durante le ore notturne o nei periodi di scarso irraggiamento solare e insufficiente disponibilità di vento, la produzione di energia rinnovabile può contare sulla generazione stabile del nucleare, per coprire la domanda.

⁷³ EirGrid, 2022.

In un **sistema energetico integrato**, il nucleare può fornire la **base stabile e modulabile**⁷⁴, mentre **le rinnovabili possono soddisfare i picchi di domanda, creando un mix energetico efficiente e a basse emissioni di carbonio**.

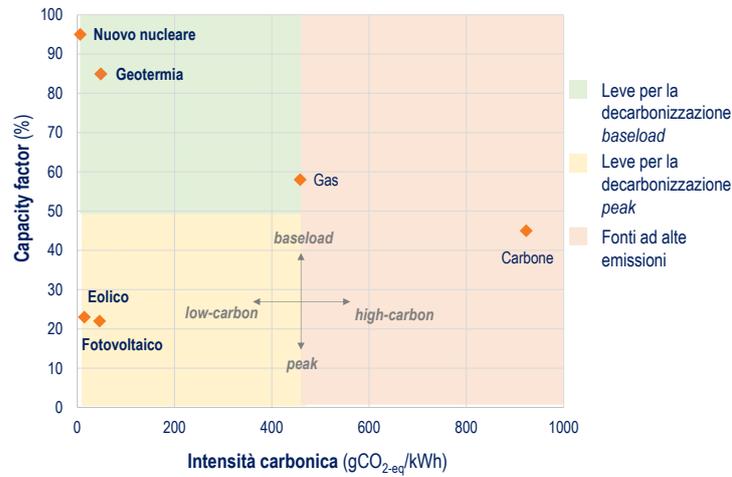


Figura 21. Principali fonti energetiche per capacity factor (%) e intensità carbonica (gCO₂-eq per kWh). NB: il capacity factor è il rapporto tra l'energia prodotta in un intervallo di tempo e quella che avrebbe potuto essere prodotta se l'impianto avesse funzionato, nello stesso intervallo, alla potenza nominale. Le emissioni GHG sul ciclo vita delle rinnovabili, quali geotermia, fotovoltaico ed eolico, fanno riferimento alle emissioni causate dalla loro fabbricazione, costruzione e funzionamento. In particolare, nel caso della geotermia, le centrali rilasciano piccole quantità di CO₂, ossidi di azoto e particolato. Questi gas si trovano naturalmente nei bacini geotermici e si possono riversare in superficie e nell'atmosfera durante l'operatività della centrale. Fonte: elaborazione TEHA Group su dati Eurostat e UNECE, 2024.

⁷⁴ Il nuovo nucleare viene infatti proposto anche in contesti caratterizzati da un'elevata penetrazione delle fonti rinnovabili. In tali scenari, l'eccesso di produzione netta in determinati periodi, sia giornalieri che stagionali, anziché causare *curtailment* o richiedere una notevole capacità di stoccaggio, potrebbe essere gestito modulando la potenza nucleare immessa in rete tramite la cosiddetta cogenerazione a inseguimento del carico, o utilizzando sistemi di stoccaggio termico e impianti per la produzione di idrogeno, considerabile a sua volta come un sistema di stoccaggio chimico. Attualmente, scenari di modulazione come quello descritto sono oggetto di studio attraverso simulatori e ottimizzatori che modellano il sistema e simulano la domanda.

CAPITOLO 2

I BENEFICI SISTEMICI DEL NUOVO NUCLEARE PER IL SISTEMA-PAESE, I CITTADINI E LE IMPRESE

68. Se il primo capitolo di questo Rapporto Strategico si è concentrato sull'innovazione tecnologica, le strategie di sviluppo in atto nei principali Paesi del mondo e sul contributo che il nuovo nucleare può avere nel soddisfare una crescente domanda di energia elettrica, il secondo capitolo mira a fornire una **valutazione dettagliata**, qualitativa e quantitativa, dei **benefici potenzialmente attivabili dal nuovo nucleare**.
69. Nello specifico, il Capitolo si propone di analizzare i benefici del nuovo nucleare per il **Sistema Paese nel suo complesso**, per l'**industria**, con un *focus* specifico sulle industrie energivore, e per i **cittadini e territori**. Più nello specifico verranno analizzati:
- i benefici del nuovo nucleare per il **sistema-Paese**, qualificando come la tecnologia possa efficacemente contribuire a sostenere i percorsi di **decarbonizzazione**, attraverso la produzione di energia elettrica stabile e programmabile decarbonizzata, perseguendo in contemporanea un incremento della **sicurezza energetica** (declinata nelle 3 dimensioni quali tecnologia, materie prime critiche e combustibile) e della **competitività** nazionale. Quest'ultima dimensione, in particolare, si focalizzerà sui valori in essere e sul potenziale di sviluppo delle **filiere produttive** abilitate dal nuovo nucleare quantificandone i potenziali **benefici economici e occupazionali** per il Paese;
 - i benefici del nuovo nucleare per l'**industria energivora**, identificata come ambito strategico in cui le nuove tecnologie nucleari possono contribuire a sostenere i percorsi di decarbonizzazione industriali, garantendo la competitività delle **imprese**, abilitando contemporaneamente la riduzione **dei costi energetici** e la **produzione di energia termica e idrogeno** utilizzati nei processi industriali dei settori *hard-to-abate*;
 - i benefici del nuovo nucleare per i **cittadini** e i **territori**, mettendo in luce gli **impatti diretti** sullo sviluppo locale e valorizzando gli **elementi caratterizzanti** degli impianti di **taglia ridotta** a beneficio di una **maggiore accettabilità sociale** (es. minore consumo del suolo, impatto paesaggistico limitato, integrazione con i distretti produttivi, sviluppo di competenze diffuse nel Paese, ecc.).

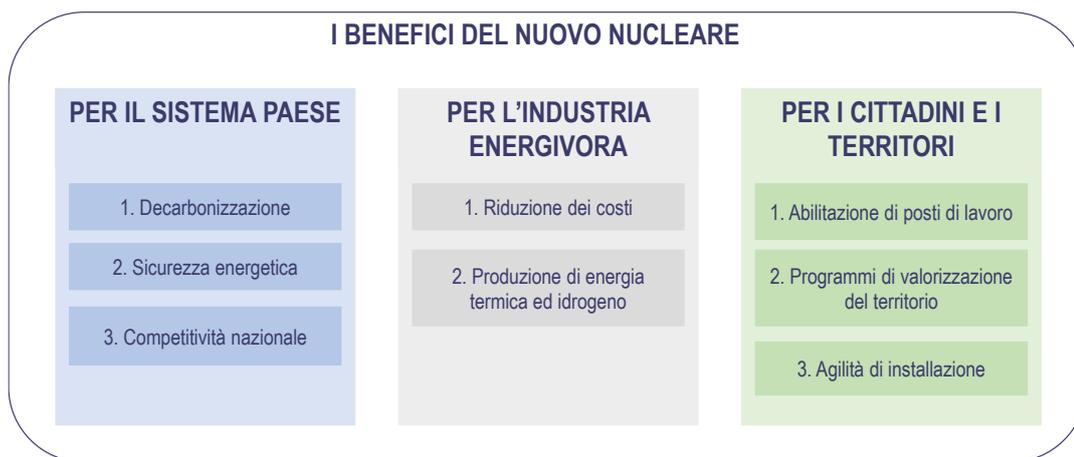


Figura 22. I benefici sistemici che il nuovo nucleare può abilitare (illustrativo). Fonte: TEHA Group, 2024.

70. L'identificazione e valorizzazione dei benefici abilitati dal nucleare di piccola taglia per l'Italia è oggi ancora più **rilevante** alla luce dello “**scenario nucleare**” – che prevede un ruolo sia per le tecnologie da fissione del nuovo nucleare nel breve termine che per la fusione nucleare nell'orizzonte post 2050 – inserito all'interno della **versione definitiva del Piano Nazionale integrato Energia e Clima (PNIEC)** inviato dal Governo italiano alla Commissione europea il **30 Giugno 2024**⁷⁵. In particolare, l'**integrazione del nuovo nucleare** all'interno del *mix* energetico italiano, secondo il Piano italiano, permetterebbe di abilitare una serie di **benefici** connessi alla:

- **minimizzazione dei costi di sistema:** l'introduzione del nucleare nel mix energetico consente, infatti, di **ridurre i costi complessivi dell'intero sistema elettrico** (costo fisso di produzione di energia elettrica, costi dei sistemi di accumulo, costi di adeguamento dell'infrastruttura elettrica);
- **minimizzazione del ruolo delle fonti fossili:** nello scenario con il nucleare stimato dal Piano, la **produzione di elettricità da gas** e altre fonti fossili è infatti prevista **ridursi del 65,2%** al 2050, rispetto allo scenario senza nucleare, **passando da 11,5 TWh a 4 TWh**;
- **decarbonizzazione del settore industriale:** oltre alla decarbonizzazione della produzione elettrica il nuovo nucleare garantirebbe anche la **decarbonizzazione** dei settori **hard to abate**, considerando destinando **1,3 GW** di produzione in modalità cogenerativa sul totale dei 8 GW⁷⁶ previsti (**~16 TWh termici** all'anno di fornitura di calore al settore industriale).

⁷⁵ Lo scenario del PNIEC si lega ai lavori della Piattaforma Nazionale per un Nucleare Sostenibile, la quale si configura come un network strutturato il cui obiettivo è creare un punto di sintesi e convergenza nazionale sulle diverse iniziative, le esperienze, le criticità, le prospettive e le aspettative sul settore nucleare avanzato che presenta caratteri e aspetti innovativi come sostenibilità e contributo alla decarbonizzazione dei sistemi energetici e produttivi. Essa costituirà lo strumento di raccordo e coordinamento da parte del MASE per i diversi attori nazionali che, a vario titolo e livello, si occupano di energia nucleare, sicurezza e radioprotezione, rifiuti radioattivi.

⁷⁶ Per un maggiore approfondimento sullo scenario con nucleare si rimanda al Box 3.

Box 3. I principali punti dello scenario con nucleare studiato dal PNIEC

All'interno del PNIEC di giugno 2024, per determinare i benefici sistemici che il nuovo nucleare potrebbe abilitare a livello italiano, sono stati **messi a confronto 2 scenari**:

- scenario **senza nucleare**, in cui sono incluse tutte le tecnologie (comprese rinnovabili e gas/bioenergie con CCS), **senza** la possibilità di ricorrere al nucleare;

scenario **con nucleare**, in cui sono **incluse tutte le tecnologie** (comprese rinnovabili e gas/bioenergie con CCS), in cui è anche **possibile inserire una quota di generazione nucleare**. In particolare, secondo questo scenario, si arriverebbe ad una quota di capacità totale installata al 2050 da fonte nucleare di circa **8 GW**.



Figura 23. Capacità installata di nucleare in Italia (in GW), 2035 – 2050 – grafico di sinistra – e energy mix italiano negli scenari con nuovo nucleare in Italia (in TWh), 2050 – grafico di destra. Fonte: TEHA Group su dati PNIEC (2024), 2024.

Secondo il PNIEC, al **2050**, nello scenario "Con nucleare", la produzione da nucleare sarà in grado di coprire circa l'**11% (10,7%)** della richiesta di **energia elettrica**. Inoltre, il nucleare **riduce la necessità** di ricorrere sia alla **generazione a gas naturale con CCS**, che passa da **11,5 a 4 TWh**, sia alla **produzione da bioenergie con CCS**, che passa da **12,5 a 6 TWh**.

Inoltre, degli **8 GW** di capacità di generazione nucleare previsti al 2050, circa **1,3 GW** sono previsti funzionare in **modalità cogenerativa**, fornendo al settore industriale **calore** per un ammontare pari a **16 TWh termici**.

Occorre poi sottolineare che lo scenario "Con nucleare" riportato precedentemente, è uno scenario conservativo*, caratterizzato da uno sviluppo di impianti nucleari dell'ordine della metà del potenziale massimo installabile. Senza la limitazione sulla capacità nucleare alla metà del potenziale installabile, lo scenario "Con nucleare" arriverebbe a coprire circa il **22%** della **richiesta nazionale di energia elettrica** (circa **16 GW** di capacità nucleare al 2050).

In conclusione, sempre **secondo il PNIEC**, il nuovo nucleare potrà avere un **ruolo rilevante** anche nell'ambito dell'**aggiornamento** della "Strategia Italiana di lungo termine sulla riduzione delle emissioni di gas a effetto serra", al netto delle necessarie modifiche dell'ordinamento nazionale in materia.

(*) secondo il PNIEC lo scenario conservativo è finalizzato a mantenere un approccio maggiormente concreto all'utilizzo dell'energia nucleare in Italia.

Fonte: elaborazione TEHA Group su dati PNIEC edizione 2024, 2024.

2.1 I BENEFICI DEL NUOVO NUCLEARE PER IL SISTEMA-PAESE

71. Come rappresentato nella precedente Figura 22, il paragrafo 2.1 si propone di analizzare nel dettaglio i benefici sistemici che il nuovo nucleare può abilitare per il **sistema Paese** nel suo complesso. In particolare, verranno **approfonditi** i benefici alla:

- **decarbonizzazione**, contestualizzando la **rilevanza** del nuovo nucleare alla luce degli obiettivi di **riduzione delle emissioni** posti in essere dall'Europa, facendo **emergere** la minore intensità carbonica di questa tecnologia e i risparmi in termini di emissioni di **CO₂-eq** potenzialmente abilitati grazie alla sua introduzione nel *mix* energetico del Paese;
- **competitività**, analizzando il **valore socio-economico** sostenuto attualmente dalle imprese della filiera industriale legata al nucleare in Italia e quantificandone il relativo **potenziale futuro** attivabile grazie allo sviluppo del nuovo nucleare in Europa e in Italia;
- **sicurezza energetica**, fornendo una fotografia sullo stato attuale della **dipendenza energetica ed elettrica in Italia** e nei Paesi dell'Unione Europea e analizzando il ruolo strategico che il nuovo nucleare può avere rispetto al potenziamento della sicurezza energetica nelle dimensioni di **combustibile, materie prime critiche e tecnologia**.



Figura 24. I benefici sistemici che il nuovo nucleare può abilitare (illustrativo). Fonte: TEHA Group, 2024.

2.1.1 DECARBONIZZAZIONE

72. Negli ultimi 10 anni, la **decarbonizzazione** è stata al **centro** dell'agenda strategica delle **Istituzioni europee**, con i **cambiamenti geopolitici** in corso che hanno contribuito ad accelerare questo processo. Muovendo da queste considerazioni, la **visione strategica** europea per la transizione energetica al 2030 - prevista dal **programma Fit for 55**⁷⁷ - ha posto obiettivi ambiziosi, che si possono riassumere in: (i) crescita della **quota di rinnovabili** (FER) **sui consumi finali lordi**, che deve passare dal 20% del 2022 al **40%** al 2030. Tale valore è stato successivamente innalzato attraverso il Piano Repower EU⁷⁸ che fissa un obiettivo giuridicamente vincolante del **42,5%**, ma con l'ambizione di raggiungere il **45%**; (ii) un deciso potenziamento dell'**efficienza energetica**, che prevede una **riduzione dei consumi** del **-39%** entro il 2030 rispetto ai livelli del 2007; (iii) una significativa **riduzione delle emissioni** di gas a effetto serra (GHG), che entro il 2030 devono diminuire del **55%** rispetto ai livelli del **1990**.

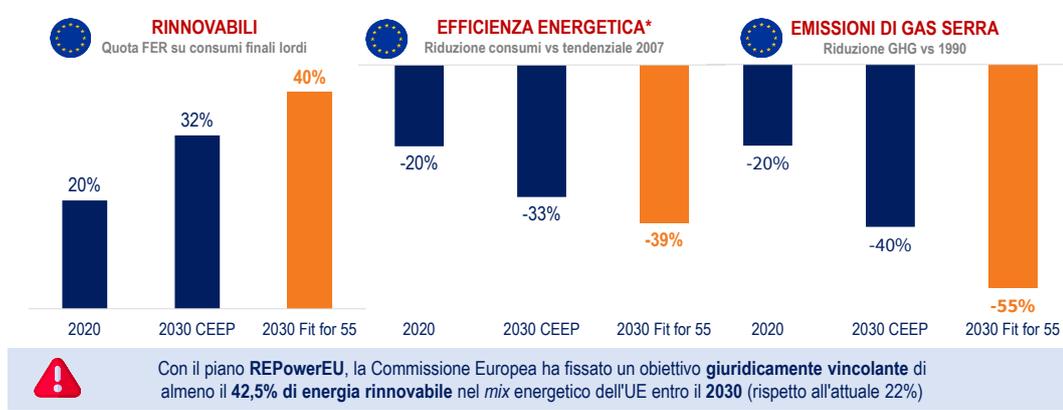


Figura 25. I target energetici definiti a livello Europeo (%), 2020 e 2030. N.B. CEEP = Clean Energy for all Europeans Package. (*) L'efficienza energetica è espressa in termini di consumo finale di energia. Fonte: elaborazione TEHA Group su dati Commissione Europea, 2024.

73. Oltre agli obiettivi di riduzione delle emissioni di **breve periodo** al 2030, l'Europa ha introdotto anche obiettivi di **lungo periodo**. Con la **EU Climate Law**⁷⁹, l'UE e i suoi Stati

⁷⁷ Il *Fit-for-55* è un pacchetto di riforme, adottato dalla Commissione europea il 14 luglio del 2021, che fa parte del piano europeo per contrastare il cambiamento climatico, il cosiddetto Green Deal. L'obiettivo finale del Green Deal è il raggiungimento della neutralità carbonica sul territorio europeo entro il 2050. A questo obiettivo se ne aggiunge uno intermedio, contenuto proprio nel Fit for 55: quello di una riduzione delle emissioni del 55% – da qui il nome del pacchetto – rispetto ai livelli del 1990, da conseguire entro il 2030. Occorre inoltre sottolineare che il Fit-for-55 si pone come un aggiornamento e potenziamento degli obiettivi sanciti dal “Clean Energy for all European packages” adottato nel 2019, che include misure mirate a decarbonizzare il sistema energetico dell'UE in linea con gli obiettivi del Green Deal tramite: un miglioramento sulle prestazioni energetiche degli edifici, un aumento degli obiettivi di installato FER, il miglioramento dell'efficienza energetica, una nuova regolamentazione sulla governance energetica e una proposta di riforma del mercato elettrico.

⁷⁸ Il Repower – EU, presentato dalla Commissione Europea il 18 maggio 2022, è un piano teso a ridurre rapidamente l'eccessiva dipendenza dell'UE dalle importazioni di gas, petrolio e carbone russi. Inoltre, in aggiunta al rafforzamento dell'autonomia strategica dell'UE nel settore energetico, REPowerEU è anche incentrato sul sostegno alla transizione verso l'energia pulita e sull'unione delle forze per un sistema energetico più resiliente.

⁷⁹ La EU Climate Law pubblicata ufficialmente il 9 luglio 2021, trasforma in legge gli obiettivi di riduzione delle emissioni di GHG al 2030 del -55% rispetto al 1990 e di neutralità climatica al 2050.

Membri si sono impegnati a fare dell'UE il primo **continente neutrale** dal punto di vista climatico entro il 2050. La **EU Climate Law**, oltre che a ribadire gli **obiettivi di breve termine** di **riduzione delle emissioni** nette di gas serra di almeno il **55%** entro il **2030** (rispetto al 1990), stabilisce anche un **obiettivo di lungo termine** al 2050 di azzeramento delle emissioni nette. Recentemente, a febbraio 2024, la Commissione europea ha anche introdotto una **raccomandazione** che prevede di ridurre del **90%** le **emissioni nette di gas serra** già entro il **2040** (rispetto al 1990). Seguendo questa raccomandazione, buona parte degli sforzi per raggiungere il net zero entro il 2050 dovranno essere fatti, soprattutto nella produzione di energia elettrica, proprio tra il **2030** e il **2040**.

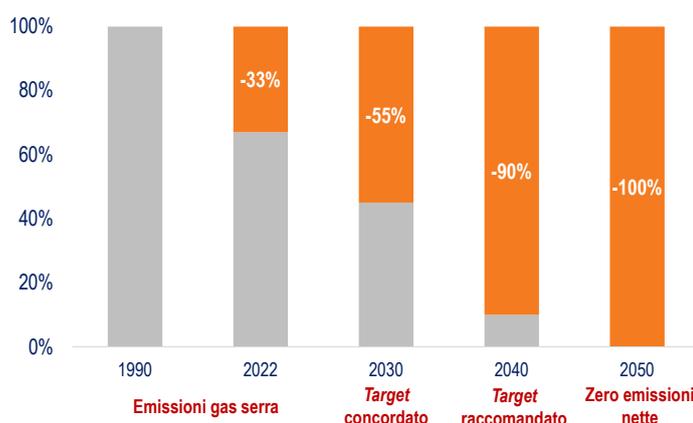


Figura 26. La tabella di marcia UE per la neutralità climatica (emissioni gas serra 1990 = 100, %), 1990-2050. Fonte: elaborazione TEHA Group su dati Commissione Europea, 2024.

74. Perseguire gli obiettivi di azzeramento delle emissioni nette implica anche una scelta sulle **tecnologie necessarie** a sostenere tali processi. In questo contesto si inserisce il **Net Zero Industry Act (NZIA)** – approvato in via definitiva dalle Istituzioni europee il 27 maggio 2024 – che identifica le tecnologie a zero emissioni **strategiche** ed **essenziali** a ridurre le **emissioni di gas a effetto serra** del **55%** entro il **2030** e del **100%** entro il **2050** (in linea con i target della EU Climate Law). L'obiettivo dell'NZIA è quello di migliorare la **capacità manifatturiera europea** per le tecnologie *net-zero* e le loro componenti chiave, **superando le barriere** che ostacolano oggi l'aumento della produzione in **Europa**. L'**obiettivo finale** è garantire che **almeno il 40%** del fabbisogno europeo di queste tecnologie sia prodotto **internamente**, anche tramite una **semplificazione dei tempi autorizzativi** e adeguati interventi pubblici, come programmi di **sostegno** che incentivano le famiglie e le imprese ad acquistare **prodotti tecnologici a zero emissioni nette**, o come i programmi a sostegno dell'installazione di pannelli fotovoltaici sui tetti delle abitazioni private. In questo quadro, dopo essere stati inizialmente esclusi dalla proposta della Commissione europea, l'energia **nucleare** e i **carburanti sostenibili alternativi** sono stati **inclusi nella versione finale** dell'atto legislativo.



Figura 27. Tecnologie incluse nel Net Zero Industry Act. Fonte: elaborazione TEHA Group su dati Commissione Europea, 2024.

Box 4. I principali criteri di selezione delle tecnologie incluse nel Net Zero Industry Act

Le tecnologie incluse all'interno del **Net Zero Industry Act** contribuiranno in modo significativo al percorso **verso zero emissioni nette** entro il **2050** e svolgeranno anche un **ruolo chiave** nel processo di autonomia strategica dell'Unione Europea, assicurando ai cittadini l'accesso a energia pulita, accessibile e sicura.

La selezione di tali tecnologie si basa su tre criteri principali:

- livello di **prontezza tecnologica**: per includere quelle tecnologie **commercialmente disponibili** e con un buon potenziale per una rapida scalabilità;
- **contributo alla decarbonizzazione**: per considerare quelle tecnologie a **zero emissioni nette** che si prevede contribuiranno significativamente all'impegno legale dell'UE di ridurre le **emissioni nette di gas serra** di almeno il **55%** entro il 2030, rispetto ai livelli del 1990;
- **riduzione della dipendenza energetica dell'UE**: per tenere conto delle tecnologie in grado di minimizzare la dipendenza dell'UE dalle importazioni per quanto riguarda la capacità di produzione di alcuni componenti o parti nella catena del valore delle tecnologie in questione.

Fonte: elaborazione TEHA Group su dati Commissione Europea, 2024.

75. L'inclusione del nucleare tra le tecnologie dello NZIA assume un ruolo ancora più significativo considerando l'effettivo contributo che tale tecnologia può portare ai processi di decarbonizzazione. Considerando tutto il **ciclo vita**, l'energia nucleare è in grado di **limitare** le emissioni a circa **5,8 gCO_{2-eq} per kWh prodotto**, un livello di emissioni di ben **79 volte minore** rispetto al **gas naturale (458,0 gCO_{2-eq} per kWh prodotto)**. Sebbene su scala inferiore, le analisi sul ciclo di vita confermano che il nucleare consentirebbe di **limitare le emissioni** anche rispetto alle rinnovabili. In modo particolare con riferimento al **fotovoltaico**, rispetto al quale permetterebbe una **riduzione di emissioni** pari a **39,7 gCO_{2-eq} per kWh** di elettricità prodotta, e rispetto all'**eolico**, che anche se in misura minore, permetterebbe una **riduzione di emissioni** pari a **8,9 gCO_{2-eq} per kWh**. Un maggiore ricorso all'utilizzo dell'**energia nucleare** nella

produzione elettrica potrebbe quindi garantire all'Italia una minore intensità carbonica generale, limitando le emissioni di CO₂ e contribuendo agli obiettivi di decarbonizzazione posti in essere dall'Europa.

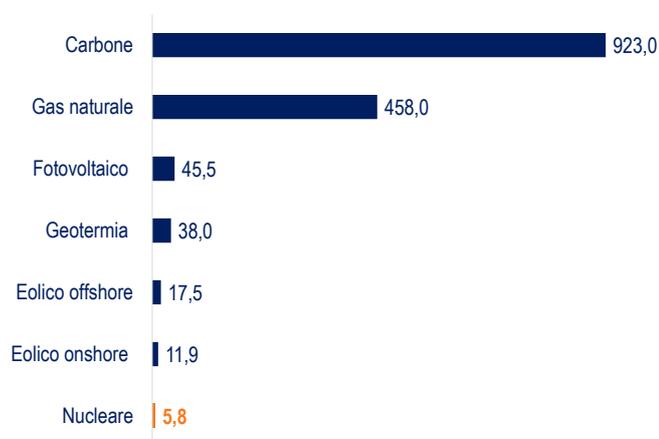


Figura 28. Media di emissioni GHG sul ciclo vita per fonte di energia elettrica (gCO₂-eq/kWh), 2022. Fonte: elaborazione TEHA Group su dati UNECE, 2024.

76. Inoltre, a differenza dei combustibili fossili come il carbone, il petrolio e il gas naturale, durante il funzionamento **gli impianti nucleari non producono alcun tipo di inquinante atmosferico** (materiale particolato (PM10), ossido di azoto (NOx), ozono (O₃) ecc.). Si stima che la sostituzione dei combustibili fossili con l'energia nucleare a partire dal 1970 abbia ridotto l'immissione di gas serra in atmosfera di circa **60 miliardi di tonnellate equivalenti di CO₂** e sia servito a prevenire **circa 1,84 milioni di morti** legate all'inquinamento atmosferico⁸⁰.
77. Inoltre, la **volatilità e la crescita del prezzo della CO₂**, mista alla **graduale riduzione delle quote gratuite** nel sistema ETS, obbligano molte industrie a decarbonizzare i consumi energetici. Il nucleare è una soluzione, anche in questo contesto fornisce una soluzione strategica **non producendo emissioni di CO₂ durante la fase operativa**. Un maggiore ricorso all'energia nucleare potrebbe, quindi, garantire all'Italia una **minore intensità carbonica nella generazione elettrica** – limitando le emissioni di CO₂ e contribuendo agli obiettivi di decarbonizzazione imposti a livello europeo – e, allo stesso tempo, si rivela una fonte di energia conveniente per contribuire alla decarbonizzazione dell'industria, garantendone la competitività.
78. Occorre comunque fare una precisazione. Le **emissioni GHG sul ciclo vita delle rinnovabili**, quali idroelettrico, geotermia, fotovoltaico ed eolico, fanno riferimento alle emissioni causate dalla loro fabbricazione, costruzione e funzionamento. Con riferimento alla fonte **geotermica**, invece, occorre sottolineare che le centrali geotermiche rilasciano **piccole quantità di CO₂**, ossidi di azoto e particolato. Questi gas si trovano naturalmente nei **bacini geotermici** e si possono riversare in superficie e

⁸⁰ Fonte: Nuclear for Climate.

nell'atmosfera durante l'**operatività** della centrale. Con riferimento al **fotovoltaico** e all'**eolico**, l'impronta carbonica che ne scaturisce fa riferimento alla **fase di produzione**, delle **celle solari**, prodotte per la maggior parte in **Cina** il cui energy mix è ancora per il **60,5%**⁸¹ basato sul carbone, e per le **componenti delle turbine**. Le emissioni generate durante le **fasi di produzione** che andranno a sommarsi alla **fase di trasporto**, verranno comunque in parte **ammortizzate** dalla **produzione di energia pulita** che ne deriverà nei periodi successivi.

79. Inoltre, è opportuno enfatizzare come, data la necessità di diminuire l'**incidenza delle fonti fossili** nel **mix di generazione**, le emissioni prodotte durante la fase di **costruzione** e **trasporto** delle varie tecnologie energetiche diminuiranno. In futuro, quindi, le emissioni più rilevanti saranno quelle generate durante la **fase operativa** delle tecnologie, facendo emergere maggiormente il **vantaggio** delle fonti di generazione **non fossili**.
80. Sulla base di queste considerazioni, e applicando i fattori emissivi sopra riportati al mix energetico previsto al 2050, è stato possibile stimare il **risparmio di emissioni di CO₂ abilitato** dall'inclusione dell'energia nucleare all'interno del **mix energetico** italiano. In questo contesto, secondo lo scenario sviluppato da Edison, Ansaldo Nucleare, Politecnico di Milano, Nomisma Energia e ENEA, al **2050** l'energia nucleare **potrà contribuire fino al 10% della domanda di energia elettrica**, consentendo quindi al nostro Paese di beneficiare della minore intensità carbonica associata a questa tecnologia. Per ottenere questo risultato, si è stimata l'installazione, in Italia, di circa **15-20 impianti** SMR/AMR dal **2035** al **2050**. Considerando una taglia media dell'impianto pari a **340 MW**, al **2050** sono previsti dai **5,1 GW** ai **6,8 GW** di capacità di nuovo nucleare, questo **permetterà** la generazione di circa **42 - 57 TWh**⁸² all'anno di copertura della domanda elettrica al 2050, corrispondente a circa il **10%** della **generazione elettrica nazionale**⁸³.

⁸¹ Fonte: EMBER, dato al 2023

⁸² Dato ottenuto ipotizzando 15-20 impianti da 340MW e un capacity factor pari al 95% rispetto a una domanda elettrica attesa al 2050 di 520TWh.

⁸³ Fonte: Edison, Ansaldo Nucleare, Politecnico di Milano, Nomisma Energia e ENEA, "Il nuovo nucleare in Italia: perché, come, quando", 2023.

Box 5. Il nuovo nucleare nel *mix* energetico italiano al 2050 secondo lo scenario Edison, Ansaldo Nucleare, Politecnico di Milano, Nomisma Energia e ENEA

Secondo lo scenario qui considerato, per poter **garantire** la **decarbonizzazione del sistema Paese** occorre necessariamente **aumentare lo sviluppo delle tecnologie *low carbon***, anche per far fronte all'aumento della domanda per elettrificazione dei consumi finali (attesa in **crescita del +70% al 2050** rispetto ad **oggi**).

In **questo contesto**, l'**introduzione** e la **produzione** di energia derivante da **reattori SMR/AMR, insieme alle rinnovabili**, può **contribuire** in modo significativo alla decarbonizzazione, in quanto questa tecnologia:

- può essere sfruttata sia per una **produzione decarbonizzata *baseload*** (24/7) sia in **modo flessibile** adattandosi al **profilo di produzione delle FER**;
- può contribuire fino al **10% della domanda elettrica nazionale** (considerando un ritmo di **1 impianto installato all'anno**, partendo **tra il 2030 e il 2035** si arriverebbe a circa **15-20 impianti al 2050**).

Fonte: elaborazione TEHA Group su dati Edison, Ansaldo Nucleare, Politecnico di Milano, Nomisma Energia ed ENEA, 2024.

81. È importante sottolineare che lo scenario considerato e pubblicato da Edison, Ansaldo Nucleare, Politecnico di Milano, Nomisma Energia ed ENEA, risulta **estremamente coerente** con quello pubblicato nel **PNIEC di fine giugno 2024**, che prevede una copertura del **10,7%** del nuovo nucleare rispetto alla domanda elettrica prevista al **2050**. Questo allineamento è **particolarmente significativo** perché mostra che le previsioni sull'incidenza del nucleare nel *mix* di produzione elettrica, da parte di due scenari differenti, sono di fatto molto **simili**. In sostanza, sia lo scenario presentato in questo Studio che quello pubblicato nel PNIEC convergono sulla stessa visione riguardo il possibile **contributo del nucleare al *mix* energetico futuro**. Questa convergenza facilita il **processo decisionale politico e industriale**, offrendo una **visione** chiara e **condivisa** dell'importanza del nucleare nel futuro *mix* energetico.

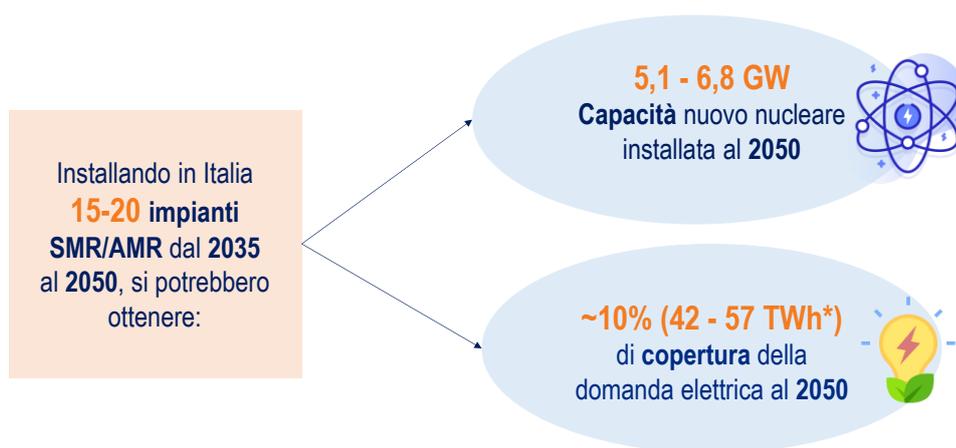


Figura 29. Contributo del nuovo nucleare al 2050 in Italia (infografica). (*) Dato ottenuto ipotizzando 15-20 impianti da 340MW e un *capacity factor* pari al 95% rispetto a una domanda elettrica attesa al 2050 di 520TWh. La stima risulta essere coerente con quella del PNIEC, che prevede un contributo dell'11% di nuovo nucleare rispetto alla domanda elettrica al 2050. Fonte: elaborazione TEHA Group su dati Edison, Ansaldo Nucleare, Politecnico di Milano, Nomisma Energia e ENEA, 2024.

82. In aggiunta a questi elementi, che riguardano solo la generazione elettrica, deve essere ricordato che, come sarà sviluppato estensivamente in seguito, il contributo alla decarbonizzazione del Paese offerto dal nucleare si estende anche ai **settori hard-to-abate**⁸⁴. Il nucleare è, infatti, l'**unica fonte energetica low carbon** in grado di produrre energia elettrica in modo programmabile e, specificatamente grazie al nuovo nucleare, anche **calore a medio-alta temperatura** ed **idrogeno**: se da un lato, anche la geotermia, il solare termico⁸⁵ e le bioenergie⁸⁶ sono in grado di generare calore, dall'altro lato, l'energia nucleare prodotta dai nuovi reattori SMR/AMR è l'unica in grado di produrre **calore a medio-alta temperatura** funzionale ad essere utilizzato anche a fini industriali⁸⁷.
83. Infine, come sarà meglio illustrato in seguito, il nuovo nucleare permette di produrre **elettricità stabile e programmabile ad un prezzo stabile nel tempo** e comparabile a quello di una rinnovabile con un sistema di accumulo, fornendo certezza sui costi dell'energia necessaria per la sicurezza della rete.

2.1.2 SICUREZZA STRATEGICA

84. L'**energia elettrica** è una risorsa fondamentale e **strategica** per alimentare un'ampia gamma di attività quotidiane e industriali. Dall'uso domestico, come l'illuminazione e il riscaldamento, alle infrastrutture critiche come ospedali, comunicazioni e trasporti, fino alla produzione industriale e ai servizi digitali: il **funzionamento di tutta la società verte sulla necessità di avere un approvvigionamento energetico stabile, affidabile e continuo**. L'energia è, quindi, un input fondamentale per l'economia; qualsiasi riduzione dell'offerta energetica **può portare ad un aumento dei prezzi**, con effetti a catena su tutti i settori produttivi e sui consumi delle famiglie.

⁸⁴ Per un maggiore approfondimento sui benefici del nucleare per la decarbonizzazione dei settori *hard to abate* si rimanda al capitolo 2.2. del presente Rapporto Strategico.

⁸⁵ Si fa qui riferimento al solare termico e agli impianti solari a concentrazione.

⁸⁶ Si fa qui riferimento alle caldaie alimentate a biomasse.

⁸⁷ Alcuni reattori di nuova generazione permetteranno la generazione di calore dai 300°C (con un reattore SMR) a più di >2.000°C (tramite l'idrogeno prodotto da SMR/AMR).

Box 6. Il caso Nord Stream 2 e la necessità di salvaguardia delle principali infrastrutture strategiche nazionali

I recenti **sviluppi geopolitici** hanno portato al centro del dibattito la **resilienza delle infrastrutture strategiche** per la sicurezza energetica. L'attentato del **26 settembre 2022** al gasdotto **Nord Stream 2**, principale infrastruttura di trasporto di **gas** russo verso la **Germania**, ne è un perfetto esempio. Secondo le Nazioni Unite, a causa dell'attentato sono andate **perse** tra le **75.000** e le **230.000** tonnellate di **metano**, malgrado le forniture fossero già state ridotte.

L'attentato ha avuto gravi ripercussioni sul **prezzo della materia prima**: il giorno successivo, il prezzo del gas sul **mercato TTF di Amsterdam** ha raggiunto i **200 €/MWh** (4,3 volte il prezzo del gas nel 2021, pari a 46 €/MWh).

Occorre quindi **potenziare ed attenzionare** sempre più la **resilienza delle infrastrutture energetiche** e la **diversificazione delle forniture**, al fine di garantire la **sicurezza energetica nazionale**.

Fonte: elaborazione TEHA Group su fonti varie, 2024.

85. In questo contesto, l'energia nucleare emerge come **una delle fonti energetiche più sicure e affidabili**. Stando agli ultimi dati disponibili, il tasso di dipendenza energetica⁸⁸ – che misura quanto un Paese dipende dall'estero per soddisfare il proprio fabbisogno energetico – risulta essere **più basso nei Paesi dell'UE che possono contare sull'energia nucleare** prodotta sul territorio nazionale. Infatti, se in questi ultimi il tasso di dipendenza energetica si è **attestato nel 2022 al 51,5%**, nei Paesi senza energia nucleare la **dipendenza energetica è stata pari al 71,7%**. Tra gli **ultimi 10 Paesi** per tasso di dipendenza energetica, ben **7** sono Paesi **produttori di energia nucleare**, di cui **tre** (Svezia, Romania e Bulgaria) occupano il vertice della classifica.

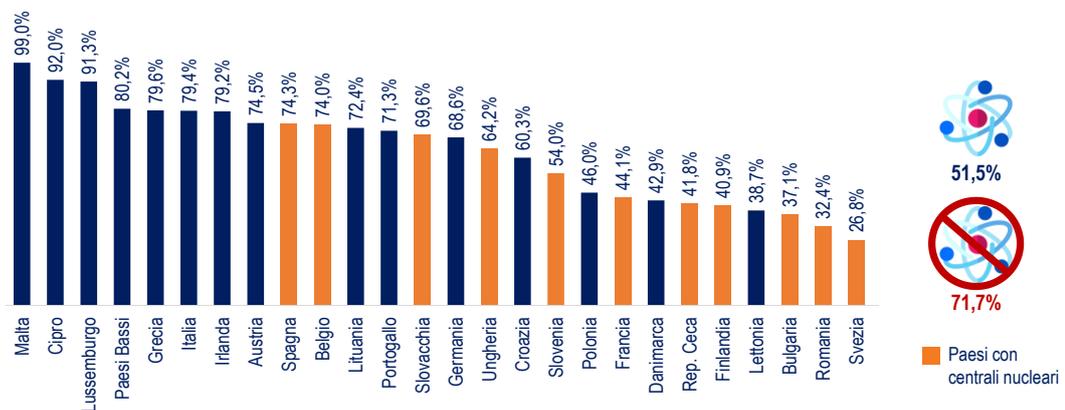


Figura 30. Indice di dipendenza energetica nei Paesi UE-27 (%), 2022. N.B. Sono considerati come Paesi con nucleare quelli il cui *energy mix* include almeno il 10% di energia nucleare. L'Estonia è stata esclusa in quanto *outlier*. Fonte: TEHA Group su dati Eurostat, 2024.

86. Un discorso analogo vale anche per quanto riguarda il **tasso di dipendenza elettrica**, calcolato come le importazioni nette di elettricità in rapporto ai consumi elettrici totali.

⁸⁸ Definito come le importazioni nette di energia divise per l'energia disponibile lorda.

Questo indice misura la capacità di un Paese di soddisfare i consumi elettrici nazionali con fonti proprie, una capacità **fortemente influenzata dalla disponibilità di fonti energetiche stabili e programmabili**, capaci di far fronte alla domanda nazionale di elettricità in ogni momento dell'anno. La correlazione con l'uso dell'energia nucleare appare **ancora più evidente rispetto all'esempio precedente**: dei primi 10 Paesi con il tasso di dipendenza elettrica più alto, solo due producono energia nucleare, mentre tra i 10 Paesi con il tasso di dipendenza più basso, ben nove hanno centrali nucleari. In media, il **tasso di dipendenza elettrica dei Paesi senza nucleare è pari al 15,1%**, mentre per i Paesi con nucleare è **pari a -4,4%**⁸⁹.

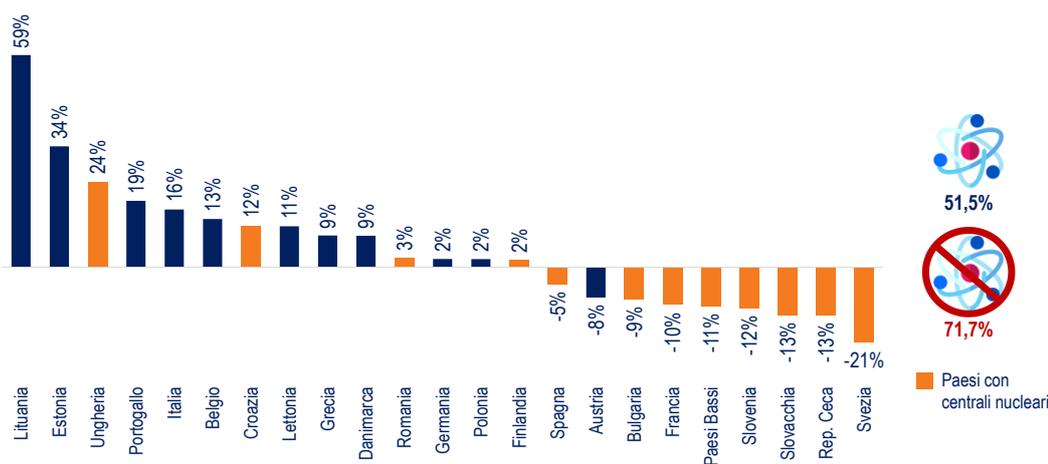


Figura 31. Indice di dipendenza elettrica nei Paesi UE-27, 2023. N.B. Dati non disponibili per Cipro, Irlanda, Lussemburgo e Malta. NB: L'Italia importa circa 20 TWh di elettricità (pari a circa i consumi elettrici del totale delle attività manifatturiere in Italia al 2022, ~21 TWh) prodotta da fonte nucleare ogni anno, pari a circa il 6% dei consumi elettrici totali del paese. Fonte: TEHA Group su dati Ember, EnAppSys e IEA, 2024.

87. Alla luce di queste premesse, l'analisi relativa al contributo del nuovo nucleare per la sicurezza strategica si delinea su tre dimensioni fondamentali: **l'approvvigionamento di combustibile**, le **materie prime critiche** necessarie per la realizzazione delle tecnologie/infrastrutture energetiche e il posizionamento nelle **catene del valore per la produzione** di queste tecnologie/infrastrutture energetiche sul territorio nazionale. La maggiore sicurezza strategica che il nucleare è in grado di garantire ai Paesi che lo adottano in termini di dipendenza energetica e dipendenza elettrica, come emerso dalle evidenze presentate in apertura di questo capitolo, è il **risultato dei vantaggi che questa tecnologia declina su ognuna di queste tre dimensioni**.

⁸⁹ Questo dato è influenzato anche dall'*export* di elettricità, che essendo molto consistente in termini di flussi dai Paesi con nucleare ai Paesi in cui tale fonte è assente – a causa della crescente instabilità degli *energy mix* dei Paesi senza nucleare – può portare anche a valori negativi.



Figura 32. Dimensioni della sicurezza strategica (illustrativo). Fonte: elaborazione TEHA Group, 2024.

Le tre dimensioni della sicurezza strategica: il combustibile

88. Negli ultimi anni, l'importanza della sicurezza strategica nell'approvvigionamento delle materie prime energetiche è **diventata sempre più evidente**. La crisi del gas del 2021-2022 e la guerra in Ucraina hanno imposto all'Unione Europea un cambio di paradigma sulle proprie politiche energetiche e una urgenza di **diversificare le fonti di approvvigionamento**, riducendo la dipendenza dal gas russo. Questo ripensamento è stato necessario per garantire una maggiore sicurezza energetica, ma ha comportato **costi elevati per cittadini, imprese e bilanci statali**, a causa dell'aumento significativo dei prezzi dell'elettricità, pari a un **+249% per i consumatori industriali** italiani tra il primo semestre 2021 e il secondo semestre 2022 e a un **+139% per le famiglie italiane** lungo lo stesso orizzonte temporale. Nell'Unione Europea gli aumenti sono stati molto elevati ma non quanto in Italia, pari a un **+147% per i consumatori industriali** e un **+138% per le famiglie**⁹⁰.
89. Questo aumento repentino dei prezzi ha avuto un forte **effetto destabilizzante** sulle economie europee, che hanno dovuto ricorrere a ingenti sussidi pubblici per ridurre l'impatto dell'aumento dei prezzi energetici sull'attività economica. In Italia, **nel biennio 2022-2023 lo Stato ha dovuto stanziare risorse pari al 3,9% del PIL** a favore di famiglie e imprese per contrastare il **caro-energia**⁹¹.

⁹⁰ Eurostat, 2024.

⁹¹ Ministero dell'Economia e delle Finanze, "Documento di Economia e Finanza", 2023.

Box 7. La crisi energetica e le misure adottate dagli stati per proteggere imprese e consumatori

L'aumento dei prezzi dell'energia all'ingrosso in Europa nel corso del 2022 ha indotto i governi a mettere in atto **misure per proteggere i consumatori** dall'impatto diretto dell'aumento dei prezzi.

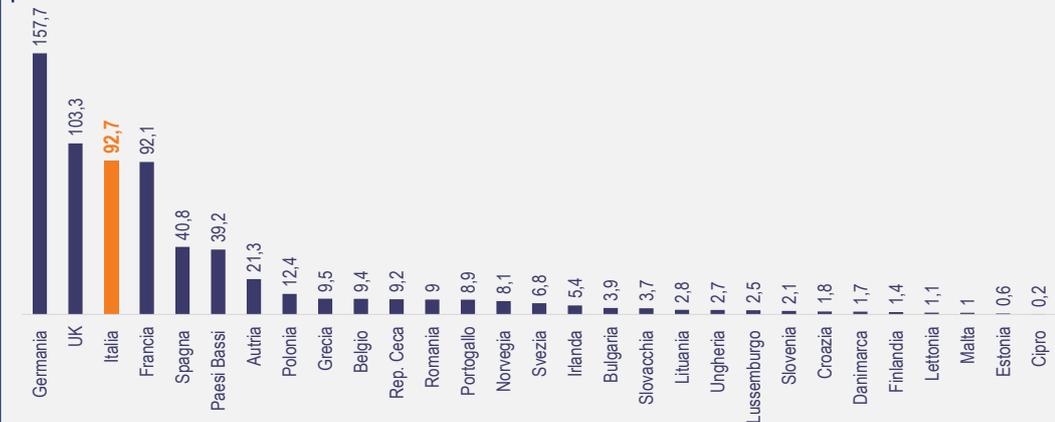


Figura 33. Fondi allocati dai Governi per proteggere le famiglie e le imprese dalla crisi energetica (valori in miliardi di Euro), settembre 2021 – gennaio 2023. Fonte: TEHA Group su dati Bruegel, 2024.

In particolare, **l'Italia** ha messo in atto una serie di **interventi** per contrastare i rincari causati dalla crisi energetica del gas e alleviare **l'impatto sui consumatori e sulle imprese**. Questi interventi hanno incluso **misure di riduzione delle bollette, abbassamento dell'IVA sul gas, e potenziamento del bonus sociale** per le famiglie in difficoltà, in particolare:

- nel **2021**, l'Italia ha stanziato circa **3 miliardi di Euro** per compensare **l'aumento dei prezzi dell'energia**, eliminando oneri di sistema dalle bollette elettriche e del gas e riducendo l'IVA sul gas al **5%**. Per le famiglie economicamente svantaggiate è stato rafforzato il **bonus sociale**, destinando **450 milioni di Euro**;
- nei primi mesi del **2022**, il governo ha proseguito con ulteriori stanziamenti. A gennaio, sono stati aggiunti **1,7 miliardi di Euro**, e nuove misure mirate alle imprese, come il **credito d'imposta per le aziende energivore**. A marzo, un nuovo pacchetto da **4,4 miliardi** di Euro ha esteso il bonus sociale a più famiglie e ridotto il prezzo della benzina. Ad aprile, sono stati approvati ulteriori **8 miliardi** di Euro di spesa extra per mantenere gli oneri di sistema a zero e la riduzione dell'IVA sul gas. Inoltre, il Governo ha introdotto la possibilità di **rateizzare le bollette** e ha aumentato le imposte sulle società energetiche che hanno beneficiato dell'aumento dei prezzi. A **maggio**, è stato poi presentato un pacchetto di misure da **14 miliardi di Euro** per supportare **famiglie e imprese** e promuovere le energie rinnovabili;
- verso la **metà del 2022**, il governo ha continuato con **nuovi decreti**, inclusi aiuti per **13 miliardi di Euro** per prorogare le misure precedenti e introdurre **nuove agevolazioni fiscali** per i trasporti e le imprese. A settembre, il Senato ha approvato un **pacchetto Aiuti-bis** del valore di **17 miliardi di Euro** per supportare ulteriormente le famiglie e le imprese;
- infine, nel **novembre 2022**, il governo ha approvato il decreto **Aiuti-quater**, stanziando **9,1 miliardi di Euro** per interventi nel mercato dell'energia, compresa la rielaborazione del **superbonus al 90%** e **l'estensione del credito d'imposta** per le imprese. La legge di bilancio 2023 ha incluso ulteriori misure per un valore di **35 miliardi di Euro**, destinando oltre **21 miliardi di Euro** a famiglie e imprese per affrontare i prezzi elevati dell'energia e introducendo un'imposta sugli **utili straordinari** delle società energetiche.

Fonte: elaborazione TEHA Group su dati Bruegel e fonti varie, 2024.

90. Sebbene la crisi del gas e il più ampio contesto geopolitico da cui è scaturita abbiano riguardato **tutte e tre le dimensioni della sicurezza strategica**, è per quanto riguarda la dimensione del combustibile che se ne possono trarre le evidenze e le lezioni più importanti. La crisi del gas ha reso evidente come la dipendenza da un combustibile concentrato nelle mani di **Paesi ad alto rischio geopolitico** possa portare a situazioni di crisi. È quindi necessario valutare due dimensioni: non solo quanti Paesi dispongono del combustibile necessario (più sono, più il rischio è diversificato), ma anche il **rischio geopolitico associato ai singoli Paesi produttori di questo combustibile**.
91. Per fornire degli elementi di valutazione rispetto alla **sicurezza strategica legata alle principali tipologie di combustibile** utilizzate oggi in Europa quali **uranio** (che copre il **24,6%** della **produzione elettrica**), **gas (14,7%)** e **carbone (12,8%)**, TEHA ha classificato i principali Paesi produttori e i principali Paesi detentori di riserve di questi combustibili **in base al rischio geopolitico ad essi associato**. Come variabile *proxy* del rischio geopolitico, è stato utilizzato il Fragile State Index (FSI), un indice composito che misura la solidità politica, economica e sociale di 179 Paesi⁹².
92. Analizzando la produzione di questi combustibili, **l'uranio si distingue come quello i cui Paesi produttori sono geopoliticamente più stabili** (rispetto a gas e carbone). Nel caso del gas, il **28,8%** della produzione è in mano a Paesi con rischio geopolitico basso o medio-basso mentre per quanto riguarda il carbone addirittura il **70% della produzione si trova in Paesi con rischio geopolitico medio-alto**. Il 28,8% di gas prodotto da Paesi relativamente stabili come gli Stati Uniti e il Canada, inoltre, è **difficilmente trasportabile** in Europa se non mediante la sua trasformazione in GNL⁹³. **Quasi un quarto della produzione mondiale di uranio (24,2%) è invece concentrata in Paesi a bassissimo rischio geopolitico** come il Canada e l'Australia, mentre un ulteriore **54,4%** è in mano a Paesi con rischio geopolitico medio, che però si sono rivelati in passato *partner* affidabili per il settore nucleare europeo, garantendo da decenni una fornitura stabile di combustibile.

⁹² Il FSI riporta per ogni Paese un punteggio da 0 (rischio geopolitico nullo) a 100 (rischio geopolitico estremamente elevato). TEHA ha diviso i Paesi in cinque fasce, da quella dei Paesi caratterizzati da rischio geopolitico molto ridotto (FSI ≤ 35) fino a quella dei Paesi caratterizzati da rischio geopolitico molto elevato (FSI > 80).

⁹³ Gas Naturale Liquefatto.

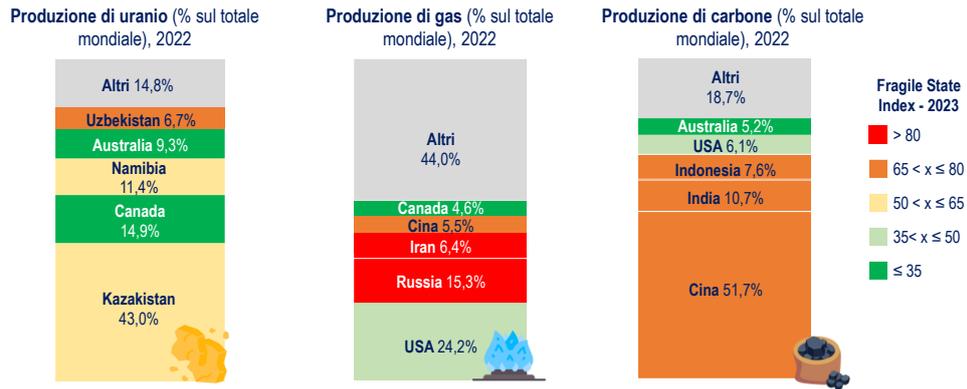


Figura 34. Principali Paesi in termini di produzione di uranio, gas e carbone (% della produzione mondiale) e rischio geopolitico ad essi associato (punteggio nel Fragile State Index), 2022. Fonte: TEHA Group su dati World Nuclear Association, Energy Institute, The Fund for Peace e USGS, 2024.

93. Passando invece alle **riserve di combustibili**, indice della potenziale produzione futura, il vantaggio a favore dell'uranio appare ancora più netto. **L'Australia e il Canada dispongono infatti di ingenti riserve, pari al 41% del totale mondiale.** Un ulteriore 22% si trova in Namibia e in Kazakistan. Particolarmente critico è invece il carbone, per il quale quasi il **40% delle riserve mondiali** sono in Paesi con un rischio geopolitico **medio - alto e alto.**

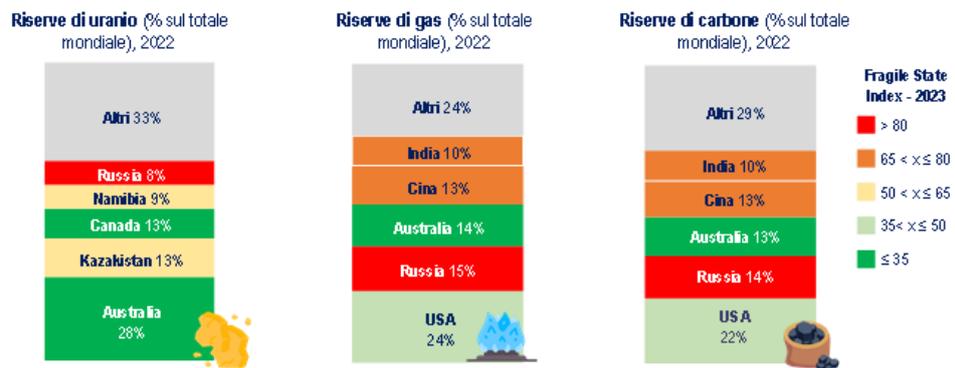


Figura 35. Principali Paesi in termini di riserve di uranio, gas e carbone (% della produzione mondiale) e rischio geopolitico ad essi associato (punteggio nel Fragile State Index), 2022. Fonte: TEHA Group su dati World Nuclear Association, Energy Institute, The Fund for Peace e USGS, 2024.

Box 8. La produzione e le riserve di uranio in Canada e Australia

Canada

In Canada è presente la **quarta più grande riserva di uranio al mondo**, che pone il Paese come il **secondo produttore mondiale** di risorse di uranio. Il **Saskatchewan** in particolare ospita la stragrande maggioranza delle miniere di uranio in Canada. Le miniere di **McArthur River** e **Cigar Lake** nella parte settentrionale della provincia sono due delle più grandi miniere di uranio del mondo, specialmente in termini di **produzione**. Nel **2022**, la miniera di **McArthur River** è stata in grado di produrre circa **498 milioni** di tonnellate di uranio, mentre la miniera di **Cigar Lake**, un ammontare pari a **8.170 milioni**, numeri che hanno portato le **vendite di uranio** del Saskatchewan dall'inizio del 2022 a **717 milioni di dollari**, in aumento di oltre il **120%** rispetto al **2021**. Queste miniere hanno inoltre una delle **migliori qualità di uranio al mondo**, con concentrazioni da **10 a 100 volte** superiori alla media globale. Il Canada non è solo uno dei principali produttori di uranio, ma è anche uno dei **migliori in termini di regolamentazione ambientale**. Tutte le miniere del Saskatchewan hanno la certificazione ambientale internazionale **ISO 14001**.

Australia

L'Australia vanta la scoperta del **28%** delle **riserve mondiali di uranio**. In totale, nel 2022 l'Australia ha prodotto **4.087 milioni** di tonnellate di uranio, posizionandosi al quarto posto tra i produttori mondiali dello stesso anno (**~8% della produzione globale**). Tra i vari giacimenti, spicca quello dell'**Olympic Dam**, nei pressi di **Adelaide**, considerato il **più grande deposito di uranio individuato** al momento. Nel 2022 il giacimento ha prodotto circa 3.317 milioni di tonnellate di uranio. Oltre all'**Olympic Dam**, tra gli altri siti di estrazione di uranio in Australia figurano: **Ranger** nel Parco Nazionale Kakadu nel Territorio del Nord e **Beverley** e **Four Mile** (che nel 2022 ha prodotto 1.503 tonnellate di Uranio) nell'Australia Meridionale. Ranger si trova all'interno del perimetro del Parco Nazionale Kakadu, inserito nella **lista del Patrimonio Mondiale dell'UNESCO** che ha portato la miniera nel 2022 a fermare la produzione di uranio. Il parco nazionale di Kakadu ha inoltre altri due ricchi giacimenti di uranio ancora da sviluppare: Jabiluka e Koongarra. Tuttavia, occorre sottolineare che il dibattito con le tribù indigene che storicamente hanno abitato l'area del parco naturale potrebbe limitare l'utilizzo dei siti in questione.

Fonte: elaborazione TEHA Group su fonti varie, 2024.

94. Come già anticipato, oltre alla stabilità geopolitica dei Paesi produttori, è fondamentale considerare le **infrastrutture necessarie** per il trasporto e lo stoccaggio dei combustibili. Il gas naturale, ad esempio, richiede una rete di gasdotti o la costruzione di impianti di liquefazione e rigassificazione per il trasporto come GNL, il che comporta costi elevati e tempi di realizzazione lunghi. Al contrario, **l'uranio può essere trasportato in modo relativamente semplice e sicuro**, riducendo i rischi logistici e i costi associati.

Box 9. Il trasporto di uranio e di materiale radioattivo

Quando si trasportano materiali radioattivi, è fondamentale garantire la **protezione** del personale addetto al trasporto e del pubblico lungo le rotte di trasporto dalle radiazioni. L'imballaggio di tali materiali prevede, quando necessario, **schermature** per ridurre **l'esposizione alle radiazioni**. Per alcuni materiali, come gli assemblaggi di combustibile di uranio fresco, i livelli di radiazione sono così bassi da non richiedere schermature. Tuttavia, altri materiali, come il **combustibile nucleare usato**, sono altamente radioattivi e necessitano di contenitori speciali con schermature integrali. Per minimizzare i rischi nella manipolazione di materiali altamente radioattivi, si utilizzano spesso contenitori a doppio scopo, adatti sia per lo stoccaggio che per il trasporto del combustibile nucleare usato.

La **sicurezza nel trasporto** di materiali nucleari si basa principalmente sulla **progettazione dell'imballaggio**, che deve essere adeguato a gestire eventuali **incidenti prevedibili**. La responsabilità principale per questo aspetto, così come per la formazione del personale addetto al trasporto, ricade sul **mittente**. Le condizioni a cui gli imballaggi sono sottoposti durante i **test** includono esposizione a **fuoco, impatti, immersione in acqua**, variazioni di **pressione, calore e freddo**. Prima della spedizione, i pacchi contenenti materiali radioattivi vengono **ispezionati** e, se necessario, **decontaminati**.

Fonte: elaborazione TEHA Group su dati World Nuclear Association, 2024.

95. In aggiunta a quanto detto sopra, è necessario fare alcune valutazioni aggiuntive, che sottolineano ulteriormente i **vantaggi** che il nucleare, e in particolare il nuovo nucleare, è in grado di **garantire**:
- **il nucleare, grazie all'elevata resa energetica, consente di creare riserve strategiche molto più facilmente che altre fonti energetiche.** Alcuni AMR sono inoltre proposti per operare fino a 30 anni senza ricarica. Questo significa che i Paesi possono ridurre la necessità di approvvigionamenti frequenti e **umentare la sicurezza strategica**;
 - **nel mondo vi sono ingenti riserve di uranio.** Secondo la IAEA e la Nuclear Energy Agency (NEA)⁹⁴, le **riserve di uranio accertate nel mondo sono sufficienti per 250 anni**, stando ai consumi attuali tipici dei reattori ad acqua. Questo dato si basa su risorse recuperabili identificate, che includono risorse ragionevolmente assicurate e risorse inferite, ovvero quelle risorse della cui esistenza si ha una ragionevole certezza e quelle la cui presenza può essere inferita sulla base delle evidenze disponibili. Considerando i requisiti annuali attuali di circa 60.000 tonnellate di uranio, le risorse identificate sono sufficienti per oltre 130 anni. L'intera base delle risorse convenzionali⁹⁵ potrebbe estendere questa disponibilità a circa 250 anni. Inoltre, con segnali di mercato appropriati, nuove risorse di uranio possono essere

⁹⁴ IAEA e NEA (2022), "Uranium Resources, Production and Demand (Red Book)".

⁹⁵ Nella definizione della IAEA, che divide le risorse disponibili sulla base del costo necessario per la loro estrazione, le risorse convenzionali totali includono tutte le categorie di costo delle risorse ragionevolmente assicurate, inferite, prognosticate e speculative, per un totale di oltre 15 milioni di tonnellate. Non comprendono le fonti secondarie o le risorse non convenzionali, ad esempio l'uranio da rocce fosfatiche o l'uranio nelle acque oceaniche.

prontamente identificate, sviluppate e sfruttate, aumentando ulteriormente la sicurezza dell'approvvigionamento;

- **in futuro, l'estrazione di uranio dal mare potrebbe diventare economicamente competitiva.** L'estrazione di uranio dal mare - già tecnologicamente possibile oggi, ma non economicamente conveniente fintanto che la produzione delle miniere tradizionali di uranio rimane su livelli elevati - aumenterà drasticamente il quantitativo di uranio disponibile per il settore. Gli oceani contengono una **quantità di uranio disciolto che è 1.000 volte superiore a tutte le riserve terrestri.** Recenti ricerche⁹⁶ hanno sviluppato materiali per l'estrazione elettrochimica che attraggono gli ioni di uranio dall'acqua di mare in modo più efficiente rispetto ai metodi esistenti. Questo potrebbe aprire gli **oceani come nuove fonti di combustibile nucleare,** aumentando esponenzialmente la disponibilità di uranio
- **il nuovo nucleare permette la diversificazione del combustibile.** La diversificazione del tipo di combustibile che potrà alimentare i reattori di quarta generazione, e quindi gli AMR, consentirà di ridurre ulteriormente la dipendenza energetica associata alle tecnologie nucleari. I reattori avanzati permetteranno l'uso di altri tipi di combustibili nucleari, come quelli basati su uranio ad alto dosaggio (HALEU)⁹⁷, che consentono di raggiungere alti tassi di combustione, o anche altre composizioni di combustibile come i cicli basati sull'uso del torio.
- utilizzare in modo più efficiente l'energia contenuta nell'uranio. Questa capacità di utilizzare una gamma più ampia di combustibili **ridurrà la dipendenza da un singolo tipo di combustibile** rafforzando così la sicurezza strategica. Inoltre, come approfondito nel Capitolo 1.2 di questo Rapporto, alcuni modelli di AMR potranno utilizzare i rifiuti delle centrali di III generazione come combustibile.

96. A fronte di evidenti benefici del nucleare in termini di sicurezza strategica del combustibile, è importante sottolineare anche **alcuni punti di attenzione** che persistono oggi nella filiera di **estrazione e arricchimento** dell'uranio. L'arricchimento dell'uranio è un processo fondamentale che **segue l'estrazione e precede l'utilizzo** nelle centrali nucleari⁹⁸. Tuttavia, le fasi di arricchimento dell'uranio sono ancora **parzialmente dipendenti dalle catene di fornitura russe**, soprattutto nei Paesi

⁹⁶ Dingyang C. (2023), "Self-Standing Porous Aromatic Framework Electrodes for Efficient Electrochemical Uranium Extraction".

⁹⁷ Uranio arricchito tra il 5% e il 20%. Una porzione rilevante degli SMR in via di sviluppo (>50%), secondo la NEA "SMR Dashboard 2.0", utilizza HALEU come combustibile.

⁹⁸ Questo processo consiste nell'aumentare la concentrazione dell'isotopo fissile uranio-235 (U-235) rispetto all'uranio naturale, che contiene solo circa lo 0,7% di U-235. L'arricchimento è essenziale per produrre il combustibile nucleare adatto a generare energia.

dell'Europa dell'est. Nel 2022, il **30%** dell'uranio utilizzato nell'Unione Europea era stato **arricchito in Russia**, con il restante distribuito tra **Paesi UE (62%) e altri (8%)**.

Box 10. L'aumento delle importazioni di uranio del Continente europeo e le prospettive al 2030

Nel **2023**, le **importazioni di combustibile nucleare** dei paesi dell'UE dalla Russia sono **aumentate significativamente** sia in termini **finanziari** che **fisici**. La spesa per il combustibile nucleare russo è passata da **280 milioni** di Euro nel **2022** a **686 milioni di Euro** nel **2023**, con un **aumento** delle quantità importate da **314 a 573 tonnellate**.

Queste importazioni riguardano **19 reattori VVER** di progettazione sovietica situati in **quattro Stati membri** dell'UE:

- **Repubblica Ceca**: due centrali nucleari (Dukovany e Temelin) con un incremento delle forniture da **90 a 199 tonnellate**;
- **Slovacchia**: centrali di **Mochovce** e **Bohunice**, con un aumento da **80 a 229 tonnellate**;
- **Bulgaria**: impianto di **Kozloduy**, con dati non specificati, ma stimate circa **50 tonnellate** annue;
- **Ungheria**: impianto di **Paks**, con **importazioni stabili** di circa **103 tonnellate**.

L'**aumento** delle importazioni è stato principalmente guidato dalla volontà di **accumulare scorte** in risposta alle **incertezze geopolitiche** e al rischio di future interruzioni dell'approvvigionamento. L'assenza di **sanzioni** sulle **forniture nucleari** dalla Russia ha facilitato questo aumento.

Questa dipendenza dalla Russia circa le forniture di combustibile è dovuta in primo luogo al monopolio di fatto associato alla qualifica finale del combustibile per reattori VVER, che non aveva finora attirato, se non in misura limitata, investimenti da parte dei fornitori occidentali. Peraltro, in particolare per l'arricchimento, ROSATOM ha anche attuato strategie di **riduzione dei prezzi** che hanno favorito la sua penetrazione nei mercati europei.

Con riferimento alle **prospettive future** entro il **2030**, il mercato del combustibile nucleare nell'UE è destinato a **cambiare significativamente**:

- **Repubblica Ceca**: prevede di ricevere le prime consegne di **combustibile occidentale** da **Westinghouse** e **Framatome** a partire dal 2024;
- **Slovacchia**: ha firmato un contratto con **Westinghouse** per la fornitura di combustibile, con **nuove consegne** previste entro il 2027-2028;
- **Finlandia**: prevede di convertire le sue unità Loviisa al combustibile occidentale dal 2027;
- **Ungheria**: non ha piani chiari per passare dal combustibile russo ad alternative occidentali.

Se i **contratti** per il cambiamento dei fornitori verranno rispettati, le **importazioni** di combustibile nucleare russo potrebbero **diminuire di almeno il 60%** rispetto ai livelli del **2022** entro la fine del decennio, riducendosi a circa **70-100 tonnellate annue**. Questo cambiamento riflette un passo verso la **riduzione della dipendenza dell'UE** dal combustibile nucleare russo, in risposta alle tensioni geopolitiche e alle necessità di sicurezza energetica.

Fonte: elaborazione TEHA Group su fonti varie, 2024.

97. Questa dipendenza dall'arricchimento russo mette in luce una vulnerabilità nel sistema energetico europeo che richiede un'adeguata attenzione. Tuttavia, essa **non implica necessariamente un problema intrinseco di sicurezza strategica**, poiché non è determinata dall'impossibilità dell'Unione Europea di approvvigionarsi di servizi di arricchimento altrove, bensì dal fatto che fino al 2022 **tale questione non era stata**

affrontata, in quanto prima della guerra in Ucraina non si era ancora sviluppata una forte consapevolezza rispetto all'importanza della sicurezza strategica.

98. In risposta a questa situazione, sono state avviate numerose iniziative per **aumentare l'autonomia nell'arricchimento dell'uranio**. Ad esempio, gli Stati Uniti, la Francia, il Giappone, il Canada e il Regno Unito hanno annunciato, nell'ambito della COP28, l'intenzione di **investire oltre 4 miliardi di Euro per potenziare la loro capacità di arricchimento**. Questi investimenti mirano a creare un sistema più resiliente e meno dipendente dalle forniture russe.

Le tre dimensioni della sicurezza strategica: le materie prime critiche

99. Oltre alle questioni relative all'approvvigionamento energetico, vi è una **crescente attenzione verso le materie prime critiche**⁹⁹ **necessarie** per le tecnologie e le infrastrutture energetiche. Queste materie prime sono, infatti, essenziali per la produzione di tecnologie rinnovabili, batterie e componenti elettronici avanzati. Tuttavia, la produzione di queste materie prime è spesso concentrata in un numero limitato di Paesi, il che espone a **rischi significativi di interruzione delle forniture**. La **concentrazione geografica delle risorse rende vulnerabili le catene di approvvigionamento** a tensioni geopolitiche, instabilità politiche ed economiche e altre perturbazioni. Di conseguenza, è imperativo adottare strategie adeguate a diversificare le fonti di approvvigionamento e creare riserve strategiche, al fine di mitigare i rischi associati.
100. Il **lancio del Critical Raw Materials Act da parte dell'UE** rappresenta una risposta a questa sfida, e si pone l'obiettivo di aumentare la capacità interna di estrazione, processamento e riciclo delle materie prime critiche entro il 2030. Questo atto stabilisce *target* ambiziosi: il **10% delle necessità annuali dell'UE per l'estrazione**, il **40% per il processamento** e il **25% per il riciclo**, riducendo la dipendenza da singoli Paesi terzi per **non più del 65% dei fabbisogni annuali** di ciascuna materia prima strategica in qualsiasi fase del processamento.

⁹⁹ Le materie prime critiche sono materiali di strategica importanza economica, la quale dipende dalla loro allocazione negli usi finali di tecnologie e applicazioni industriali. Sono inoltre caratterizzate da un elevato rischio di fornitura in termini di concentrazione della produzione e possibilità di approvvigionamento. Considerata l'importanza strategica di questi materiali per lo sviluppo economico degli Stati, la Commissione Europea censisce regolarmente una lista di materie prime critiche: la prima lista, stilata nel 2011, conteneva 14 materie prime critiche; l'aggiornamento al 2023 ne conta ben 34. Questi materiali sono ad oggi di estrema rilevanza per molteplici ecosistemi industriali, in particolar modo per l'industria ad alta intensità energetica, ma anche per tecnologie chiave per la politica energetica, economica, industriale e digitale, e la difesa. Non solo: le materie prime critiche sono essenziali alla produzione di tecnologie low-carbon, le quali sono utili a ridurre le emissioni di gas serra e a limitare il cambiamento climatico – obiettivo centrale dell'agenda politica dell'Unione Europea. Tra le materie prime critiche rientrano: Nickel, Arsenico, Tungsteno, Terre rare leggere e pesanti, Grafite, e Litio.

Box 11. La concentrazione delle materie prime critiche

Considerata l'importanza strategica dell'accesso di questi materiali chiave, negli ultimi anni si è assistito ad una “**corsa alle materie prime critiche**” da parte dei principali attori geopolitici: i Paesi si contendono il controllo della produzione, raffinazione e approvvigionamento di queste sostanze.

In questo scenario, la **Cina** gioca un ruolo chiave poiché detiene il **primato nella fornitura** di 33 materie prime critiche sulle 51 (se si considerano individualmente le materie comprese nelle macrocategorie dei metalli del gruppo del platino e delle terre rare). In dettaglio, la Cina fornisce a livello globale l'**85%** delle terre rare leggere e il **100%** delle terre rare pesanti. Altri Paesi importanti nella fornitura di materiali critici sono **Russia** ed alcuni stati dell'**Africa** per i materiali del gruppo del platino, **Stati Uniti** per il berillio e **Brasile** per il niobio.

Le politiche della Cina negli ultimi anni si sono dimostrate particolarmente attente al tema: il piano decennale “**Made in China 2025**” sancisce l'obiettivo di diventare prima potenza mondiale nelle tecnologie del futuro. Infatti, sin dal **13° Piano Quinquennale** (2016-2020), il Paese ha posto al centro della propria pianificazione la questione dei metalli strategici per queste tecnologie, puntando ad **accrescere la propria posizione di leadership e preservare le proprie riserve nazionali** in caso di forte domanda sui mercati. Questo obiettivo è raggiungibile per un Paese che vanta molteplici fattori competitivi, come la capacità estrattiva sul proprio territorio: la Cina possiede un **ricco sottosuolo di risorse** naturali, che la rende un importante produttore per diversi mercati.

La **Cina** inoltre può fare leva sugli **investimenti diretti esteri** che ha portato avanti in Paesi dotati di giacimenti minerari strategici. Ad esempio, ha investito in attività di estrazione, raffinazione e produzione del cobalto nella Repubblica Democratica del Congo (RDC – la quale è responsabile del 70% della sua estrazione a livello mondiale), di litio in Australia (la quale detiene il 53% dell'estrazione mondiale di questa materia), del rame in Perù (il quale detiene la quota del 10% della sua estrazione a livello mondiale).

In questo contesto, L'UE è attualmente **fortemente dipendente** da Paesi terzi relativamente all'approvvigionamento di materie prime critiche. Infatti, la quasi totalità di esse viene principalmente importata da paesi extra-UE. La **Cina**, in particolare, ha un ruolo predominante per **undici materie prime critiche** (barite, bismuto, gallio, germanio, grafite naturale, magnesio, scandio, tungsteno, vanadio, terre rare leggere e terre rare pesanti), mentre rilevante è anche il peso del **Sudafrica**, principale fonte di approvvigionamento di altre **sei materie prime critiche** per l'Unione Europea. Inoltre, si segnala come alcuni dei principali fornitori siano caratterizzati da **condizioni geopolitiche instabili**: è il caso della Repubblica Democratica del Congo (che fornisce il **63% del cobalto** e il **35% del tantalio** all'UE), ma anche della Russia, della Turchia, del Kazakistan, del Brasile e del Messico.

In generale, la dipendenza dell'Unione Europea da Paesi terzi, in particolare dalla Cina, **espone il Continente al rischio di interruzioni delle forniture**. Il rischio è elevato soprattutto per quelle materie prime critiche per cui l'Unione Europea sconta una dipendenza significativa, tra cui le terre rare.

Fonte: elaborazione TEHA Group su fonti varie, 2024.

101. In Italia, l'approvazione del Decreto-legge Materie Prime Critiche a giugno 2024 rappresenta un **passo significativo nella direzione dell'autonomia strategica nazionale**¹⁰⁰. Il decreto prevede l'avvio di un programma nazionale di **esplorazione** per

¹⁰⁰ È tuttavia importante sottolineare come sotto l'aspetto delle materie prime critiche è possibile ridurre la dipendenza dall'estero, ma non è possibile rendersi del tutto autonomi.

identificare possibili **siti minerari di materie prime critiche**. Questo sforzo mira a ridurre la dipendenza dall'importazione di queste risorse vitali e a garantire una maggiore **sicurezza** dell'approvvigionamento per le industrie italiane, rafforzando così l'intera catena del valore nazionale delle tecnologie energetiche avanzate. In questo contesto, l'ISPRA ha lanciato il **database GeMMA** (Geologico, Minerario, Museale e Ambientale), con l'obiettivo di **raccogliere** e armonizzare i **dati relativi a tutti i giacimenti minerari presenti in Italia**. La Banca dati, aggiornata nell'ambito del progetto PNRR GeoSciencesIR, rappresenta il **punto di partenza** per l'elaborazione del **programma minerario nazionale**, imposto dal Regolamento Ue Critical Raw Materials Act.

Box 12. Il Decreto Legge sulle materie prime critiche in Italia

Il **20 giugno 2024**, il Consiglio dei Ministri ha approvato il **decreto legge sulle materie prime critiche**, sostenuto dal Presidente del Consiglio Giorgia Meloni, dal Ministro delle imprese e del made in Italy Adolfo Urso e dal Ministro dell'ambiente e della sicurezza energetica Gilberto Pichetto Fratin. Questo decreto si propone di **adeguare l'ordinamento nazionale alle disposizioni del regolamento (UE) 2024/1252** e di garantire un approvvigionamento **sicuro e sostenibile** delle materie prime critiche.

Tra le **motivazioni** alla **base** del decreto rientrano:

- la necessità di **rafforzare le catene di approvvigionamento nazionali** di materie prime critiche e di sviluppare **nuovi progetti strategici** per assicurarne una fornitura stabile;
- la volontà di **semplificazione delle procedure** di autorizzazione per accelerare i progetti;
- la volontà di istituire un Programma di esplorazione nazionale per identificare e sfruttare le risorse disponibili.

Tra le **misure previste** dal decreto occorre evidenziare:

- in ottica di una **semplificazione delle procedure** di autorizzazione, lo Stato rilascerà i **titoli abilitativi** e autorizzativi e il **Ministero dell'ambiente e della sicurezza energetica** si occuperà delle **autorizzazioni** per l'estrazione e il riciclo delle materie prime critiche strategiche. Inoltre, il **MIMIT** (Ministero delle imprese e del made in Italy) gestirà le **autorizzazioni** per la trasformazione delle materie prime critiche strategiche e monitorerà le catene del valore attraverso un "Registro nazionale delle aziende e delle catene del valore strategiche";
- l'**introduzione** di un **nuovo sistema di royalties**: dal **5 al 7%**, ripartite tra Stato e Regioni, per le concessioni minerarie di progetti strategici, **superando la vecchia tariffa** di 16 euro per ettaro annuo stabilita nel 1927;
- l'istituzione di un **"Comitato tecnico permanente per le materie prime critiche e strategiche"**, presso il MIMIT;
- l'avvio di un Programma di esplorazione nazionale delle materie prime critiche da promuovere entro il 24 maggio 2025.

In conclusione, il **Decreto** rappresenta un **passo significativo** verso la **riduzione** della **dipendenza** dalle importazioni di materie prime critiche e il rafforzamento della sicurezza economica e ambientale dell'Italia

Fonte: elaborazione TEHA Group su dati Decreto Materie Prime Critiche, 2024.

102. Anche in questa dimensione, il nucleare emerge come una **tecnologia che garantisce un elevato livello di sicurezza strategica**. In termini di chilogrammi di materie prime

critiche necessarie per unità di elettricità prodotta, il nucleare è infatti tra le tecnologie che ne impiega di meno. Per **ogni gigawattora (GWh) di elettricità prodotta**, il solare richiede **207,8 kg** di materie prime critiche, principalmente rame e silicio. L'eolico necessita di **162,9 kg**, il carbone di **14,1 kg**, il **nucleare di 9,3 kg** e il gas di **3,9 kg**. Questi dati evidenziano come il nucleare, rispetto ad altre tecnologie energetiche che contribuiscono alla decarbonizzazione, richieda una quantità significativamente inferiore di materie prime critiche per la produzione di elettricità, **riducendo così la dipendenza dall'estero anche rispetto a questa dimensione**.

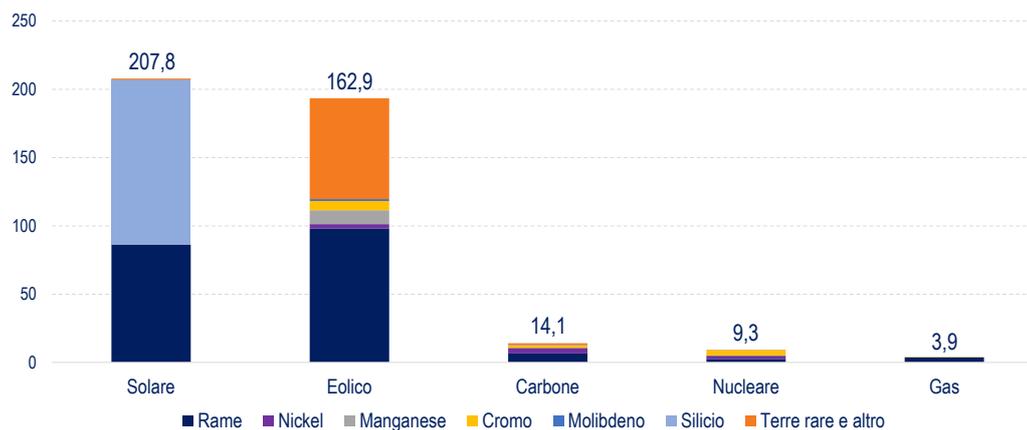


Figura 36. Materie prime critiche e strategiche necessarie per la costruzione delle infrastrutture energetiche per tipo di fonte energetica (kg per GWh), 2021. N.B. Rame e nickel non raggiungono la soglia di *supply risk* necessaria per essere classificate come materie prime critiche secondo il Critical Raw Materials Act della Commissione Europea, ma sono comunque incluse tra di esse in qualità di "materie prime strategiche". Fonte: TEHA Group su dati IEA e Eurostat, 2024.

103. Un altro aspetto cruciale nella valutazione della sicurezza strategica delle materie prime critiche è il **rischio di approvvigionamento** associato a ciascuna di esse. Alcune materie prime sono altamente concentrate in pochi Paesi, spesso caratterizzati da instabilità politica ed economica, il che **augmenta significativamente il loro rischio di approvvigionamento** (*supply risk*). In alcuni casi, queste risorse sono addirittura disponibili in un solo Paese, amplificando ulteriormente la vulnerabilità delle catene di fornitura.
104. La Commissione europea¹⁰¹ definisce il *supply risk* come il **rischio di interruzione dell'approvvigionamento dovuto alla concentrazione della materia prima in pochi Paesi e alla mancanza di sostituti validi e accessibili**. In questo contesto, è fondamentale considerare non solo la quantità di materie prime critiche necessarie per la produzione di tecnologie *low-carbon*, ma anche il livello di rischio associato ad esse.
105. Per quanto riguarda il settore nucleare, il **53,5% delle materie prime critiche necessarie presenta un *supply risk* basso**¹⁰², il **43,7% medio-basso** e solo il **2,9% medio-alto**. Questo profilo di rischio relativamente favorevole sottolinea ulteriormente

¹⁰¹ Commissione europea (2023), "Critical Raw Materials Act".

¹⁰² Fonte: Commissione europea "Study on the critical raw materials for the EU 2023".

l'affidabilità del nucleare come tecnologia energetica sicura. La bassa percentuale di materiali con un rischio medio-alto testimonia la **stabilità e la resilienza delle catene di approvvigionamento nucleari** rispetto ad altre tecnologie energetiche che dipendono maggiormente da materie prime critiche ad alto rischio.

106. In sintesi, l'energia nucleare **non solo richiede meno materie prime critiche** per unità di elettricità prodotta rispetto ad altre fonti energetiche, ma beneficia anche di un **profilo di rischio di approvvigionamento più favorevole**.

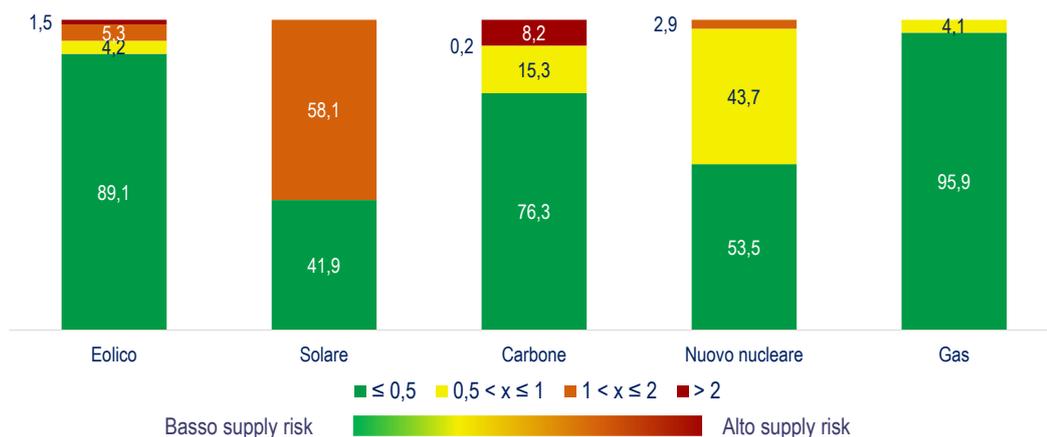


Figura 37. Supply risk delle materie prime critiche necessarie per fonte energetica (% del totale), 2021. Fonte: TEHA Group su dati Commissione Europea, 2024.

Le tre dimensioni della sicurezza strategica: la tecnologia

107. La **terza dimensione della sicurezza strategica riguarda la tecnologia**, un elemento indispensabile per la produzione, gestione e distribuzione dell'energia. La capacità manifatturiera tecnologica di un Paese influenza, infatti, direttamente la sicurezza strategica. Considerando che l'approvvigionamento energetico si sta spostando sempre più **da fonti energetiche che consumano materie prime nelle fasi operative** - come gas, carbone e petrolio - a **fonti che non consumano o consumano pochissime materie prime nella fase operativa** - come solare, eolico e nucleare - la sfida della sicurezza energetica futura sarà principalmente **incentrata sulla componente tecnologica**. Mentre le fonti tradizionali di energia richiedono un flusso costante di combustibili, le nuove tecnologie energetiche richiedono una maggiore attenzione alla produzione e manutenzione di infrastrutture tecnologiche avanzate.
108. I **Paesi che riusciranno a sviluppare e mantenere catene del valore nazionali per queste tecnologie godranno di una maggiore sicurezza strategica**, riducendo la dipendenza da forniture esterne. Al contrario, i Paesi che non riusciranno a sviluppare queste catene di fornitura interne resteranno dipendenti da altre nazioni, **esponendosi a rischi di approvvigionamento**.

109. Senza andare troppo lontano, basta guardare la **situazione europea**, ancora fortemente **dipendente da Paesi terzi** in termini di **forniture di materie prime critiche** utilizzate nella produzione delle principali tecnologie *green*. Come precedentemente evidenziato, in Asia si concentra infatti il **44%** dei principali fornitori di materie prime critiche per l'Europa (di cui il 73% solo dalla Cina). Inoltre, il **65%** della capacità **produttiva manifatturiera** delle **17 componenti** delle principali tecnologie green si concentra in **Cina**, specialmente con riferimento a **pannelli solari, veicoli elettrici ed eolico offshore**.

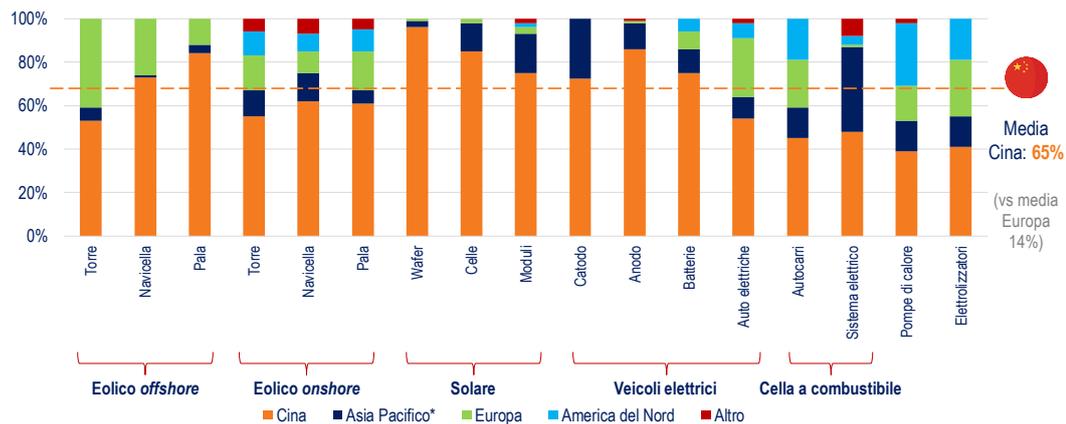


Figura 38. Quota di capacità manifatturiera nelle principali filiere industriali green per Regione/Paese (valori percentuali), 2022. (*) Cina esclusa. Fonte: elaborazione TEHA Group su dati Commissione Europea, 2024.

110. Uno dei modi per **valutare l'autonomia tecnologica** di un Paese nel settore energetico è rappresentato dal suo **livello di export**. L'*export* è, infatti, un indicatore che riflette la capacità di un Paese di produrre e fornire tecnologie avanzate non solo per il proprio fabbisogno interno, ma anche per mercati esteri. Se un Paese esporta una quantità significativa di tecnologia energetica, questo implica che **ha sul suo territorio catene del valore ben sviluppate e integrate, capaci di rispondere ai bisogni non solo nazionali ma anche esteri**.

111. La capacità di *export* è quindi indicativa del grado di autonomia tecnologica, che come anticipato rappresenta una delle tre dimensioni della sicurezza strategica. Prendendo come riferimento il quinquennio 2018 – 2022, **TEHA ha ricostruito le dinamiche di export nel settore nucleare a livello globale**. Dall'analisi, **l'Unione Europea** emerge come il primo esportatore al mondo, con **oltre 1,6 miliardi di Euro di valore esportati**, seguita da Stati Uniti (**1,5 miliardi di Euro**) e Russia (**1,4 miliardi di Euro**)¹⁰³.

¹⁰³ A differenza dell'export dei moduli fotovoltaici, dominato dalla Cina con un valore di 42,3 miliardi di Euro nel 2022 (fonte: Bloomberg NEF). Il dominio cinese nell'export della tecnologia fotovoltaica trova spiegazione nell'elevata capacità manifatturiera domestica: dal 2017 ad oggi sono stati costruiti quasi 172 GW/anno di capacità produttiva di moduli fotovoltaici a livello globale, di cui 134 GW (78%) in Cina. In confronto, l'Europa continua a registrare numeri molto più modesti, con un export di moduli fotovoltaici che nel 2022 si è attestato a soli 0,8 miliardi di Euro (fonte: Eurostat).

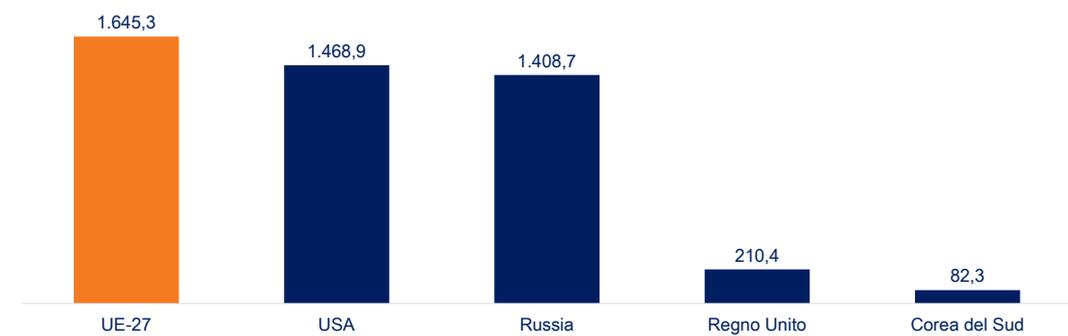


Figura 39. Export di tecnologia nucleare (in milioni di euro), 2018 – 2022. N.B. Per ottenere il valore di export di tecnologia nucleare sono stati utilizzati i seguenti codici dal Nuclear Trade Atlas: 840110 Reattori nucleari, 840120 Macchinari e parti di macchinari per la separazione isotopica, 840140 Parti di reattori nucleari. Fonte: TEHA Group su dati Nuclear Trade Atlas, 2024.

112. Questo risultato è ancora più significativo se si considera la scarsità di investimenti che si sono verificati in Europa nel settore nucleare dopo l'episodio di Fukushima nel 2011. In seguito, infatti, molti Paesi europei hanno deciso di **procedere con un phase-out** delle loro centrali nucleari, riducendo progressivamente l'incidenza del nucleare all'interno del loro *energy mix*. Più in generale, dal 2011 si è verificato un **significativo rallentamento degli investimenti nel settore**, e sono stati aperti solo due nuovi reattori da allora, uno in Francia e uno in Finlandia. Tale tendenza **avrebbe potuto limitare significativamente la crescita delle catene del valore del settore nucleare all'interno dell'Unione Europea**, compromettendo la capacità tecnologica e l'autonomia strategica del continente in questo ambito.
113. Tuttavia, i dati mostrano che, nonostante queste sfide, le catene del valore del settore nucleare nell'UE sono **tra le più consolidate al mondo**. L'UE non solo ha mantenuto la sua posizione sul mercato globale, ma ha anche rafforzato la sua capacità di *export*, dimostrando una resilienza notevole e una **competenza tecnologica avanzata**.
114. In futuro, queste **catene del valore si svilupperanno sempre più intorno al nuovo nucleare**. È quindi cruciale, anche dal punto di vista della sicurezza strategica, che le *supply chain* europee si rivolgano rapidamente verso questa nuova tecnologia, al fine di **catturare il first mover advantage**. Il primo Paese che riuscirà a commercializzare su larga scala un design di SMR prodotto in serie sarà in grado di guadagnare le quote di mercato maggiori e **consolidare il proprio vantaggio competitivo**, con benefici non solo in termini commerciali ed economici, ma anche dal punto di vista dell'autonomia tecnologica. In questo contesto, l'Unione Europea è al secondo posto a livello globale per numero di **modelli di SMR in fase di sviluppo (13)**, dietro solo agli Stati Uniti (con 19 modelli) e davanti a Russia (5), Cina (4) e Giappone (4). Questi numeri evidenziano la grande **opportunità strategica per l'UE** di diventare *leader* nel mercato globale del nuovo nucleare.
115. Tuttavia, nonostante l'elevato numero di SMR in via di sviluppo nell'UE, **la maggior parte di essi è ancora nella fase di design**. È quindi essenziale accelerare la messa a

terra di questi progetti per trasformare il potenziale tecnologico in capacità produttiva concreta. Solo attraverso **l'implementazione tempestiva e su larga scala** delle tecnologie SMR l'Unione Europea potrà catturare il *first mover advantage* e rafforzare ulteriormente la sua posizione nel mercato globale del nucleare.

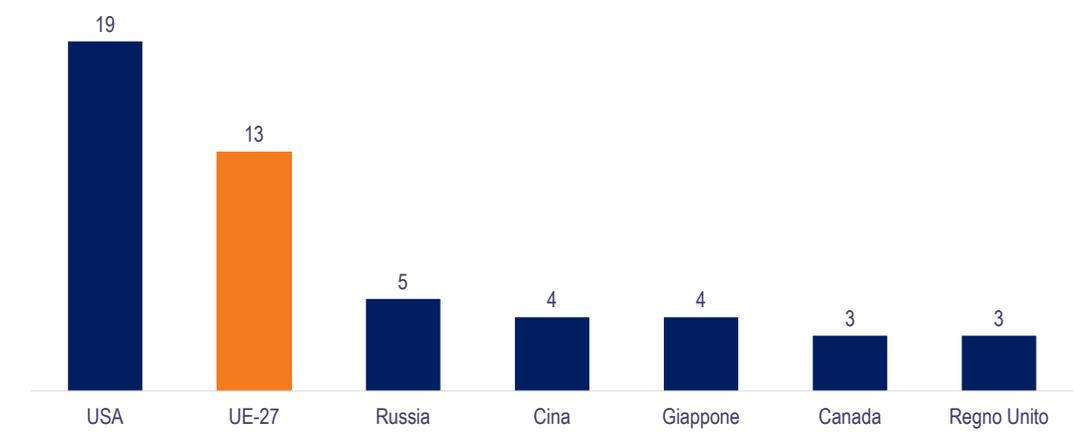


Figura 40. Progetti del nuovo nucleare (SMR e AMR) in via di sviluppo nei principali Paesi a livello globale (numero), 2024.
Fonte: TEHA Group NEA SMR Dashboard – Second Edition, 2024.

116. A questo proposito, **nel febbraio del 2024 è stata lanciata l'European Industrial Alliance on SMRs**, un'iniziativa fondamentale al cui lancio hanno partecipato più di **500 partecipanti**, nata in seno alla **Commissione europea** per accelerare la messa a terra dei progetti di **SMR** e tradurli in opportunità industriali concrete. Questa alleanza rappresenta una piattaforma europea di collaborazione tra vari *stakeholder*, incluse le aziende del settore, istituzioni finanziarie, ricercatori, centri di formazione, organizzazioni della società civile e decisori politici.
117. L'alleanza mira a **facilitare e accelerare lo sviluppo, la dimostrazione e la diffusione dei primi progetti SMR in Europa** entro i primi anni del prossimo decennio. Opera attraverso gruppi di lavoro specifici per migliorare le condizioni abilitanti per lo sviluppo, la dimostrazione e la diffusione degli SMR, incluso lo **sviluppo della catena del valore del settore nucleare in Europa**. Le sue attività mirano a supportare progetti specifici di SMR e accelerarne la diffusione sul mercato europeo. All'interno della European Industrial Alliance, **l'Italia è seconda per numero di soggetti partecipanti**, solo dietro alla Francia.
118. Per raggiungere questi obiettivi, l'alleanza svilupperà un **piano d'azione strategico e roadmap** tecnologiche per identificare le tecnologie SMR più promettenti, **supportare i progetti rafforzando la catena di approvvigionamento**, affrontare le barriere agli investimenti, coinvolgere potenziali utenti industriali, identificare esigenze di ricerca future, migliorare i contatti tra promotori e regolatori, promuovere il coinvolgimento pubblico, facilitare la creazione di un'Accademia delle Competenze Nucleari e cooperare con enti internazionali per espandere i progetti SMR sui mercati globali.

119. In conclusione, l'analisi delle tre dimensioni della sicurezza strategica - combustibile, materie prime critiche e tecnologia - **evidenzia il posizionamento favorevole dell'energia nucleare**. Il nucleare si distingue, infatti, per la diversificazione delle fonti di approvvigionamento del combustibile, il basso fabbisogno di materie prime critiche e una solida base tecnologica, con l'UE leader nell'export di tecnologie nucleari. La promozione e lo sviluppo dell'energia nucleare rappresenta quindi una **scelta strategica cruciale per garantire la sicurezza strategica italiana ed europea** in un contesto energetico globale in rapida evoluzione e caratterizzato da crescenti fragilità. In particolare, nel panorama europeo un ruolo cruciale potrà essere giocato dall'**Italia**, le cui forti **competenze** che negli anni sono state sviluppate all'**interno della filiera** del nucleare nel Paese¹⁰⁴, potranno **contribuire** in modo **attivo** alla **filiera nucleare europea**.
120. Questa scelta assume ancora maggiore rilevanza considerando i **benefici aggiuntivi del nuovo nucleare in termini di sicurezza strategica**. Gli SMR e gli AMR possono offrire vantaggi concreti in termini di riduzione della dipendenza dal combustibile e *leadership* tecnologica europea.

2.1.3 COMPETITIVITÀ DELLA SUPPLY CHAIN

121. Secondo la Nuclear Energy Agency (NEA), lo sviluppo della capacità e competitività manifatturiera rappresenta **uno dei fattori chiave per promuovere lo sviluppo del nuovo nucleare**. Pensare allo sviluppo del nuovo nucleare in Italia richiede, quindi, l'elaborazione di un esteso **piano industriale a medio-lungo termine** in grado di supportare il percorso di specializzazione della *supply chain*, anche all'interno della European Industrial Alliance sugli SMR, valorizzando una **filiera italiana leader a livello mondiale** con importanti esternalità per il sistema-Paese e lo sviluppo economico. Nonostante il mancato sviluppo dell'energia nucleare in Italia negli ultimi decenni, la filiera industriale italiana dimostra ancora oggi **competenze lungo quasi tutta la supply chain**, ad esclusione del settore di fornitura e arricchimento dell'uranio e di fabbricazione del combustibile.
122. Per analizzare il potenziale di sviluppo del nuovo nucleare per la filiera industriale italiana e i potenziali benefici attivabili per il sistema-Paese, lo Studio Strategico è partito dalla ricostruzione dell'attuale filiera italiana specializzata nel settore dell'energia nucleare, esaminando la suddivisione territoriale e le diverse aree di specializzazione. Sulla base delle competenze attuali della filiera, l'analisi ha successivamente quantificato il potenziale mercato attivabile per la filiera nucleare in Unione Europea e in Italia al 2050, quantificando infine i benefici socio-economici

¹⁰⁴ Che verranno approfondite nel Capitolo 2.1.3 del presente rapporto strategico

attivabili con il nuovo nucleare grazie all'analisi degli impatti diretti, indiretti e indotti generati dagli investimenti.

La filiera del nucleare in Italia oggi

123. L'analisi della filiera nazionale specializzata nel settore dell'energia nucleare mira a quantificare il valore economico associato alle aziende italiane che collaborano attivamente a livello internazionale nei progetti di sviluppo del nucleare, sia per la costruzione di nuove centrali sia nei progetti di ricerca internazionali (es. ITER per la fusione nucleare). L'analisi mira a fornire ulteriori elementi di valore e di posizionamento delle aziende della filiera italiana del nucleare, potenziando le analisi elaborate dall'Associazione Italiana Nucleare (AIN) e dal Politecnico di Milano che valorizzano le forti competenze e *know-how* nei settori della fissione e fusione nucleare. La seconda fase dell'analisi, infatti, stima il potenziale mercato attivabile dallo sviluppo del nuovo nucleare in Italia e in Unione Europea, con l'obiettivo di quantificare successivamente i benefici diretti, indiretti e indotti sul sistema-Paese.
124. L'attività di ricostruzione della filiera nucleare italiana è stata effettuata a partire da una **mappatura estesa delle aziende attive nel settore nucleare**, raccogliendo successivamente i dati di bilancio dal **database AIDA** per quantificare il valore economico complessivo generato da tali aziende in termini di fatturato, Valore Aggiunto, dipendenti e investimenti dal 2017 al 2022. I valori complessivi della filiera industriale di aziende attive nel nucleare ("**valore esteso**") riportano i dati di riferimento per il totale dei ricavi e dipendenti di quelle aziende. A partire da queste informazioni, attraverso l'analisi della letteratura e dei singoli bilanci delle aziende è stato derivato un "**valore core**" della filiera del nucleare che considera i soli valori economici e occupazionali sostenuti dal nucleare all'interno dell'impresa (es. i valori di riferimento di *business unit* specifiche laddove l'azienda abbia multiple specializzazioni).
125. Complessivamente, l'analisi ha individuato **70 aziende italiane** specializzate nel settore dell'energia nucleare, clusterizzate in **9 diversi macrosettori** al fine individuare le specializzazioni e distintività della filiera industriale. La mappatura delle aziende italiane evidenzia la forte specializzazione della filiera italiana nei diversi segmenti della supply chain di un progetto nucleare (Figura 42), da EPC/*General Contractor* e società di ingegneria alla produzione di grandi componenti, valvole e tubazioni.

Segmento	Presenza italiana
Fornitura combustibile	0 aziende
Grandi componenti	17 aziende
Società di ingegneria	13 aziende
Strumentazione	13 aziende
Materiali e forgiatura	11 aziende
Montaggio/installazione	5 aziende
EPC/General Contractor	4 aziende
Smaltimento	3 aziende
Valvole	2 aziende
Tubazioni e raccordi	2 aziende

Figura 41. Segmenti di specializzazione della filiera italiana nei settori della fissione e fusione nucleare (infografica). Fonte: elaborazione TEHA Group su dati Istat, Aida e fonti varie, 2024.

126. Complessivamente, l'intero valore economico ("valore esteso") generato nel 2022 dalle aziende italiane specializzate nella filiera nucleare raggiunge circa **4,1 miliardi di Euro**, con **1,3 miliardi di Valore Aggiunto** prodotto e circa **13.500 dipendenti**. Il forte dinamismo della filiera italiana è dimostrato anche dalla *performance* negli ultimi 5 anni, registrando una crescita del Valore Aggiunto del 29% a fronte di un aumento del fatturato del 18%.

127. Limitando l'analisi al "valore core" della filiera industriale riconducibile al solo settore dell'energia nucleare, il fatturato generato dalle aziende italiane nel 2022 si attesta a **457 milioni di Euro** e **161 milioni di Valore Aggiunto**, con **circa 2.800 occupati**¹⁰⁵.

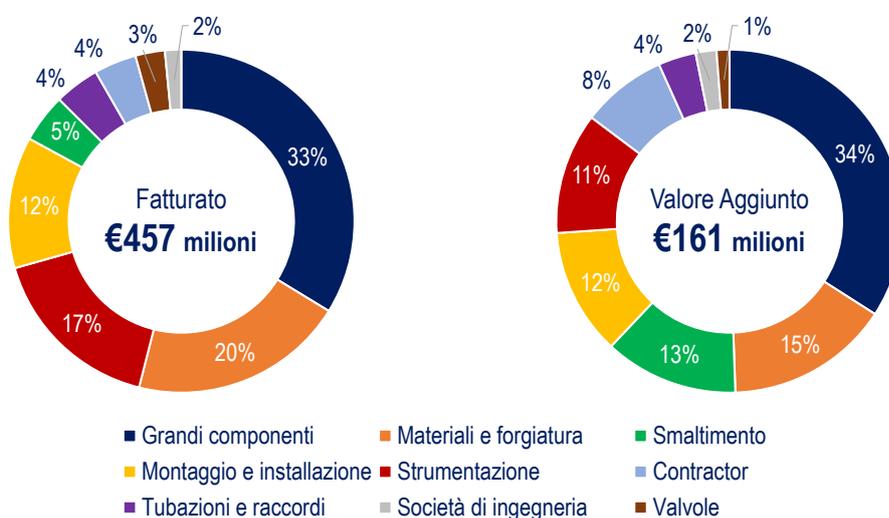


Figura 42. Suddivisione a livello settoriale del fatturato (grafico a sinistra) e del Valore Aggiunto (grafico a destra) della filiera italiana core del nucleare (%), 2022. Fonte: elaborazione TEHA Group su dati Istat, Aida e fonti varie, 2024.

¹⁰⁵ A questi valori si aggiungono inoltre anche le competenze di ENEL nella gestione di centrali nucleari all'estero, con un fatturato associato all'energia nucleare pari a 1,57 miliardi di Euro nel 2022.

128. Dall'analisi di dettaglio dei diversi settori di specializzazione, la filiera industriale italiana dimostra una **forte expertise nella produzione di grandi componenti e nella forgiatura**, che contribuiscono rispettivamente al 33,8% e 20,2% del fatturato (2022). Inoltre, più della metà delle aziende attive nella filiera industriale nucleare ha **dimensioni medio-grandi** e risulta localizzata soprattutto nel **nord-ovest del Paese**, con oltre il 60% delle imprese concentrate tra Lombardia, Liguria e Piemonte.

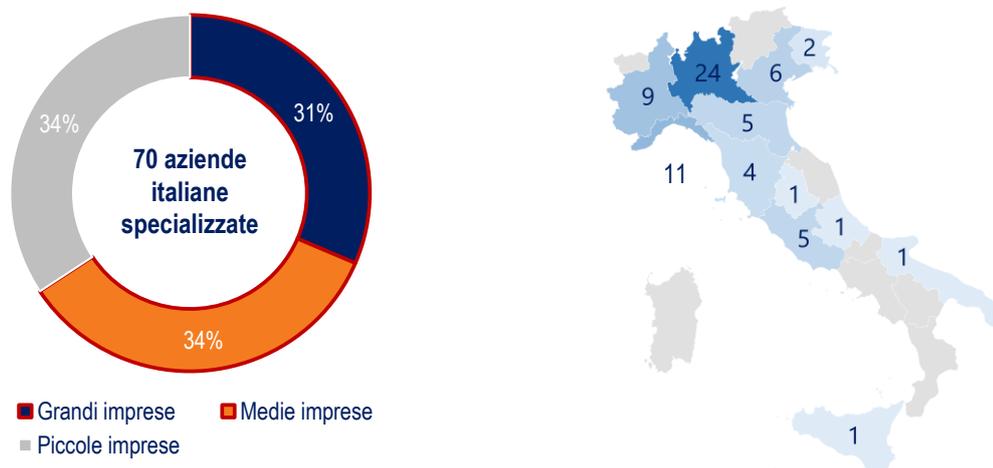


Figura 43. Suddivisione della filiera italiana del nucleare per classe dimensionale (grafico a sinistra, %) e tra le regioni italiane (grafico a destra, numero di imprese), 2022. Fonte: elaborazione TEHA Group su dati Istat, Aida e fonti varie, 2024.

Box 13: Il posizionamento competitivo della filiera italiana a livello globale

Nonostante l'immobilismo italiano nello sviluppo dell'energia nucleare negli ultimi decenni, l'Italia rappresenta un **unicum** a livello globale grazie ad una filiera altamente specializzata e in grado di collaborare attivamente a molti **progetti di ricerca internazionali** sull'energia nucleare. Ad oggi, infatti, la partecipazione ai progetti **ITER** e **Broader Approach** ha portato quasi **2 miliardi di commesse** alle imprese italiane coinvolte, rafforzando la *leadership* italiana nell'ambito della ricerca nucleare. Un risultato di rilievo tenendo conto che le commesse vengono assegnate con gare d'appalto su base concorrenziale, selezionando l'offerta migliore secondo i criteri tecnico-economici, le regole e i principi della contrattazione pubblica comunitaria.

Per fotografare la competitività industriale italiana a livello globale nel settore nucleare, lo Studio Strategico ha analizzato il *database Nuclear Trade Atlas*, elaborato dal Centre d'Études Prospectives et d'Informations Internationales (CEPII) sulla base delle informazioni raccolte dalla UN Statistical Division (UN Comtrade data). Pur non riflettendo con precisione la quota di export associata al settore nucleare, il *database* mira a illustrare una visione macroscopica dei flussi commerciali a livello globale di merci e prodotti legati al settore nucleare. Il *database* raccoglie i dati relativi al commercio internazionale nel settore dell'energia nucleare per **165 Paesi** nel periodo compreso tra il 2018 e il 2022.

In questo quadro, l'Italia si classifica 27° su 165 paesi per valore dell'export nel periodo compreso **tra il 2018 e il 2022**, con un valore totale delle esportazioni italiane di **140 milioni di Euro** nel periodo considerato. Escludendo la produzione del combustibile, l'Italia si posiziona come il **18°** paese al mondo per export a livello globale. Nel biennio 2021-22 le esportazioni della filiera italiana sono più che raddoppiate rispetto agli anni precedenti (**+106% vs. 2018-19**). Quasi la metà (**44,2%**) delle esportazioni della filiera nucleare italiana sono riconducibili al **settore componenti e strumentazione**. In particolare, la filiera italiana è specializzata nella produzione di **componenti in tungsteno**, che ha generato 52,5 milioni di Euro di esportazioni (37,5% del totale) tra il 2018 e il 2022.

Analizzando l'intero periodo, il **75% dell'export** della filiera italiana è **destinato ai paesi appartenenti all'Unione Europea**. A seguire troviamo **Regno Unito** e **Turchia**, con una quota rispettiva del 3,8% e del 3,3%. In particolare, nell'ultimo biennio (2021-22), la crescita delle esportazioni verso Regno Unito, Bulgaria e Belgio ha trainato la *performance* italiana. La competitività industriale della filiera italiana appare evidente anche dall'analisi dell'*export* di componenti nucleari, posizionandosi 15° a livello globale e 7° in UE-27 tra il 2018 e il 2022.

Fonte: elaborazione TEHA Group, 2024.

Il potenziale di sviluppo del nuovo nucleare per il sistema-Paese

129. Al fine di quantificare i benefici per il sistema-Paese associati allo sviluppo del nuovo nucleare, lo Studio Strategico ha sviluppato un'analisi proprietaria *ad hoc* per stimare il **potenziale di sviluppo del nuovo nucleare** per la filiera industriale italiana secondo gli **scenari previsti dall'Unione Europea al 2050** e lo **scenario italiano** elaborato nello Studio (escluso dallo scenario UE), che considera la realizzazione di 20 impianti SMR al 2050 (pari a 6,8 GW di potenza elettrica), in grado di soddisfare il 10% dei consumi

elettrici italiani¹⁰⁶. L'analisi si è concentrata solo sul mercato europeo considerata la rilevanza del **local content** e delle economie di scala nell'aggiudicazione di una commessa per lo sviluppo del nuovo nucleare.

130. L'indagine mira a quantificare i potenziali investimenti attivabili per ciascun segmento di specializzazione della *supply chain* di un progetto SMR, per calcolare successivamente il mercato potenziale per la filiera industriale italiana secondo uno scenario *as-is* e uno scenario potenziale, **se le aziende italiane si specializzassero in altri segmenti della supply chain**. Per calcolare il costo di costruzione del nuovo nucleare in relazione ad un GW di potenza installata, l'analisi ha considerato un investimento totale pari a **6.500 Euro per kWe**, che include sia i **costi di capitale overnight** che i **costi finanziari**, prendendo come riferimento un modello SMR prodotto in serie (NOAK, *nth-of-a-kind*).
131. Analizzando la ripartizione dei costi di capitale tra costi diretti e indiretti, è stato possibile calcolare la **quota di investimenti relativa a ciascun segmento di specializzazione della supply chain di un progetto SMR** (es. reattore e componenti, opere civili e infrastrutture, turbina e componenti, impianti elettrici, ecc.) per isolare e quantificare il rispettivo mercato potenziale associato allo sviluppo del nuovo nucleare a seconda delle diverse aree di specializzazione della filiera industriale italiana (si rimanda al Box 14 per la ripartizione degli investimenti per la costruzione di un SMR).
132. Incrociando i dati relativi alle competenze della filiera industriale italiana *as-is* con le micro-categorie relative a ciascun segmento della *supply chain* di un progetto di costruzione di un SMR, l'analisi ha mappato il potenziale mercato attivabile sulla base dell'attuale specializzazione della filiera italiana nel nucleare (**scenario as-is**). Nello scenario potenziale, invece, l'analisi ha valutato il mercato potenziale se le aziende italiane si specializzassero anche negli altri segmenti della *supply chain*, attualmente non presidiate dalla filiera industriale ma su cui l'Italia può vantare solide competenze e *know-how*, individuando anche le potenziali aree di specializzazione in futuro (**scenario potenziale**). Per ciascun segmento, la quota di mercato della filiera italiana nello scenario europeo è stata calcolata sulla base dei dati Prodcum e Nuclear Trade Atlas, utilizzando delle *proxy* dove non sono disponibili dati specifici relativi al singolo segmento. Nello scenario di sviluppo italiano del nuovo nucleare, l'analisi ha invece considerato una quota di mercato della filiera italiana pari al **70%** (in relazione ai segmenti di specializzazione della filiera italiana), valorizzando il **local content** nello sviluppo di un progetto SMR in Italia.

¹⁰⁶ Lo scenario di analisi relativo all'Italia fa riferimento allo scenario dello Studio elaborato da Edison, Ansaldo e ENEA.

Box 14. Ripartizione degli investimenti attivabili dallo sviluppo del nuovo nucleare

L'analisi del potenziale di sviluppo della filiera italiana ha considerato un costo complessivo per GW installato del nuovo nucleare pari a **€6,5 miliardi/GW**, elaborata sulla base dei dati raccolti da varie fonti, tra cui il report "Scaling Success. Navigating the future of SMR in competitive global low-carbon energy markets" elaborato da New Nuclear Watch Institute, la Czech SMR Roadmap e fonti varie. Il costo totale include sia i costi di costruzione (*overnight**) che i costi finanziari e gli altri costi del progetto (es. *owner's cost***), così ripartiti:

- **Costi di costruzione: 76,5%** (circa 5 miliardi di Euro/GW)
- **Costi finanziari: 15%**
- **Altri costi (es. *owner's cost*): 8,5%**

In letteratura economica, il costo "*overnight*" rappresenta una **stima del costo totale di un progetto infrastrutturale o energetico**, calcolato come se l'intero impianto fosse costruito in una notte (*overnight*), senza considerare i costi finanziari e gli *owner's cost*. Tale misura risulta ampiamente utilizzata come **strumento di comparazione** tra le diverse tecnologie energetiche, al fine di semplificare il confronto degli investimenti richiesti per la costruzione di un impianto di produzione di energia elettrica. Gli "*owner's cost*" si riferiscono a tutte le spese secondarie sostenute, inclusi costi di acquisizione terreni, permessi, tasse, assicurazioni, progettazione e gestione del progetto. Ipotizzando la costruzione di un SMR con una potenza di 340 MW, il costo complessivo per **singolo impianto** ammonterebbe a **2,2 miliardi di Euro**.

La stima degli investimenti potenzialmente attivabili tiene conto solo dei costi di capitale *overnight*, escludendo i costi finanziari e gli *owner cost* dall'analisi. La ripartizione dei costi di costruzione di un impianto SMR è riportata nella Figura 45. Le categorie attrezzature di fabbrica (12,5%), manodopera in loco (6,0%) e materiali da cantiere (2,5%) rientrano nelle ricadute indirette locali.

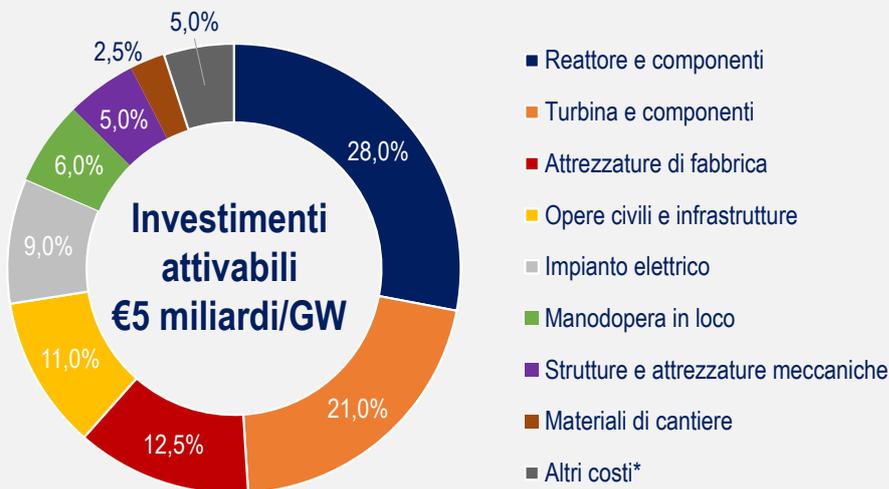


Figura 44. Ripartizione degli investimenti CAPEX relativi alla costruzione di un SMR tra le diverse area di specializzazione della supply chain (valori %), 2024. Fonte: elaborazione TEHA Group su dati dal report «Economics of nuclear power plants: bottom-up cost estimation model for Small Modular Reactors» (2021), 2024.

Fonte: elaborazione TEHA Group, 2024.

133. Secondo le stime elaborate da NuclearEurope (ex. FORATOM) e dall'Alleanza europea per l'energia nucleare¹⁰⁷, il nucleare può contribuire fino al **25% della produzione di energia elettrica in Unione Europea al 2050**, con una capacità installata complessiva di **150 GW**¹⁰⁸, ripartita tra il **nuovo nucleare** (40%, circa **60 GW** di potenza), la costruzione di nuove centrali di larga scala (37%, circa 55 GW) e le centrali nucleari esistenti (23%, circa 35 GW). Sulla base dello scenario ambizioso per lo sviluppo del nuovo nucleare, si prevede quindi che i reattori modulari (SMR e AMR) siano in grado di contribuire al **10%** della produzione di energia elettrica in Unione Europea al 2050. Tale scenario evidenzia una crescita sostenuta nei prossimi decenni, in grado di attivare fino a quasi **300 miliardi di Euro di investimenti** per la filiera industriale europea associati allo sviluppo del nuovo nucleare.
134. In questo contesto, l'adesione e il sostegno dell'Italia allo sviluppo europeo consentirebbero di valorizzare a pieno le capacità manifatturiere delle aziende italiane, candidando la filiera italiana ad un **ruolo centrale nella supply chain europea del nuovo nucleare**. L'industria italiana potrebbe infatti beneficiare della forte specializzazione nel settore reattori e componenti, che da sola contribuisce a circa un quarto dei CAPEX del nuovo nucleare, aprendo inoltre la strada a ulteriori opportunità di mercato come la produzione di turbine¹⁰⁹. Inoltre, data la necessità di pre-assemblare le diverse componenti in fabbrica per poi essere successivamente installate sul sito della centrale, la filiera italiana potrebbe ricoprire un ruolo di primo piano nello **sviluppo delle "piattaforme di assemblaggio"** per il nuovo nucleare, **beneficiando anche delle forti competenze delle aziende nazionali nei grandi cantieri e nella logistica**. La modularizzazione e standardizzazione del *design* del nuovo nucleare richiederà infatti impianti industriali in grado di assemblare le diverse componenti e verificarne la conformità alle certificazioni e *standard* di produzione delle centrali nucleari, prima di trasportare i moduli pre-assemblati direttamente al sito della nuova centrale.
135. Lo sviluppo del nuovo nucleare a livello europeo potrebbe attivare un **mercato potenziale di oltre 20 miliardi di Euro per le aziende italiane**, se la filiera si specializzasse anche negli altri segmenti della *supply chain* in cui l'Italia può valorizzare solide competenze e *know-how* (es. turbine e componenti). La Figura 46 evidenzia la ripartizione del mercato tra i diversi settori di specializzazione, presentando anche uno scenario più conservativo che abiliterebbe oltre 12,2 miliardi di Euro considerando le

¹⁰⁷ L'Alleanza europea per l'energia nucleare è stata istituita nel 2023 con l'obiettivo di promuovere il rafforzamento della cooperazione europea nel campo dell'energia nucleare e favorire regole di sicurezza uniformi in conformità con le migliori pratiche internazionali. L'Alleanza europea coinvolge 11 Stati membri, in aggiunta all'UE, tra cui Bulgaria, Croazia, Repubblica Ceca, Finlandia, Francia, Ungheria, Olanda, Polonia, Romania, Slovacchia e Slovenia.

¹⁰⁸ Lo scenario di NuclearEurope con 150 GW di energia nucleare in UE al 2050 non considera lo sviluppo dell'energia nucleare in Italia.

¹⁰⁹ L'Italia possiede forti competenze manifatturiere nel settore della produzione di turbine a vapore per le centrali energetiche, con una *market share* del 19,5% a livello europeo tra il 2019 e il 2022.

attuali aree di specializzazione della filiera italiana per la costruzione di una centrale nucleare.



Segmento della supply chain	Scenario as-is	Scenario potenziale
Opere civili e infrastrutture	€0,9 mld	€2,2 mld
Reattore e componenti	€4,2 mld	€6,1 mld
Turbina e componenti	€2,3 mld	€6,3 mld
Impianti elettrici	€2,7 mld	€4,0 mld
Strutture/attrezzature meccaniche	€1,5 mld	€1,7 mld
Altri settori*	€0,6 mld	€0,8 mld
Totale	€12,2 mld	€21,1 mld

Figura 45. Stima del mercato potenziale per la filiera industriale italiana secondo lo scenario ambizioso di sviluppo del nuovo nucleare in Unione Europea al 2050 (miliardi di Euro), 2024. (*) La categoria "Altri settori" considera le attrezzature per il trasporto e la logistica, i sistemi di servizio per gli impianti di aria, acqua e vapore, le attrezzature per le comunicazioni e altri costi secondari associati allo sviluppo del nuovo nucleare. Fonte: elaborazione TEHA Group, 2024.

136. Parallelamente, **se l'Italia attivasse un programma domestico di sviluppo del nuovo nucleare**, si potrebbe attivare un **ulteriore mercato che raggiunge i 33 miliardi di Euro** al 2050. In linea con quanto espresso nel capitolo 2.1., lo scenario di analisi considera di realizzare fino a **20 impianti al 2050**, pari a 6,8 GW di potenza in grado di soddisfare circa il **10% della domanda elettrica** prevista in Italia al 2050. Il primo impianto di nuovo nucleare in Italia potrebbe essere realizzato entro il 2035, con una potenza pari a 340 MW e in grado di generare circa 2,8 TWh di energia decarbonizzata all'anno. Tale scenario consentirebbe alla filiera italiana di specializzarsi nella *supply chain* dei reattori modulari e acquisire le **competenze ed economie di scala** per poter contribuire attivamente allo sviluppo del nuovo nucleare in Europa. Infatti, gli investimenti attivabili per la filiera italiana sarebbero maggiori se l'Italia investisse nel nuovo nucleare, **promuovendo maggiormente il local content** nella fase di sviluppo e costruzione e beneficiando anche delle ricadute indirette locali¹¹⁰. La valorizzazione del *local content* nei progetti del nuovo nucleare sarà un elemento fondamentale per sostenere la competitività della filiera italiana, valorizzare le competenze italiane nel settore nucleare e promuovere una maggiore accettabilità sociale a beneficio del territorio. L'analisi ha preso come riferimento il dato dei progetti di Hinkley Point C e Sizewell C dove si è raggiunto un livello di *local content* compreso tra 64% e 70% nella costruzione delle centrali nucleari.

137. Lo sviluppo del nuovo nucleare in Italia abiliterebbe dunque un **mercato potenziale** stimato in circa **25 miliardi di Euro per le aziende italiane**. Valorizzare il **local content**

¹¹⁰ Le ricadute indirette locali considerano la manodopera in loco e le commesse per i materiali da cantiere e gli strumenti e attrezzature di fabbrica.

sarà la leva fondamentale per favorire la competitività e la specializzazione dell'Italia nel nuovo nucleare, amplificando i potenziali benefici per il sistema-Paese. La Figura 47 evidenzia la ripartizione del mercato potenziale tra i diversi settori di specializzazione.

 Segmento della supply chain	Scenario as-is	Scenario potenziale
Opere civili e infrastrutture	€1,0 mld	€2,4 mld
Reattore e componenti	€4,6 mld	€6,6 mld
Turbina e componenti	€1,8 mld	€4,9 mld
Impianti elettrici	€1,4 mld	€2,1 mld
Strutture/attrezzature meccaniche	€1,1 mld	€1,2 mld
Altri settori*	€0,7 mld	€0,9 mld
Totale	€10,6 mld	€18,1 mld
Totale + Ricadute indirette locali	€17,6 mld	€25,2 mld

Figura 46. Stima del mercato potenziale per la filiera industriale italiana secondo lo scenario ambizioso di sviluppo del nuovo nucleare in Italia al 2050 (miliardi di Euro), 2024. (*) La categoria "Altri settori" considera le attrezzature per il trasporto e la logistica, i sistemi di servizio per gli impianti di aria, acqua e vapore, le attrezzature per le comunicazioni e altri costi secondari associati allo sviluppo del nuovo nucleare. Fonte: elaborazione TEHA Group, 2024.

138. In prospettiva al 2050, lo sviluppo del nuovo nucleare in Europa e in Italia può dunque abilitare un mercato complessivo per la filiera industriale italiana pari a circa **46 miliardi di Euro**. Dal valore di mercato, l'analisi ha successivamente stimato il **potenziale valore aggiunto per la filiera diretta** collegato allo sviluppo del nuovo nucleare, con l'obiettivo poi di quantificare gli impatti economici e occupazionali sul sistema-Paese. Complessivamente, considerando lo scenario potenziale, gli investimenti per il nuovo nucleare potrebbero generare un **valore aggiunto di quasi 15 miliardi di Euro** per la filiera diretta in Italia¹¹¹.
139. Investire nel nuovo nucleare e supportare la competitività della filiera italiana significherebbe abilitare un potenziale **impatto economico complessivo per il sistema-Paese di quasi 50 miliardi di Euro** (~ 2,5% del PIL italiano), usufruendo di circa **35 miliardi di Euro di benefici indiretti e indotti** grazie all'elevato moltiplicatore generato dagli investimenti nel settore dell'energia nucleare in Europa. Tali benefici considerano sia l'impatto degli investimenti derivante dall'attivazione delle filiere di fornitura e subfornitura per l'acquisto di beni e servizi legati ai progetti di sviluppo del nuovo nucleare (**benefici indiretti**), sia il valore economico indotto nel resto dell'economia dalla domanda di beni e servizi associata all'occupazione della filiera estesa nel territorio (**benefici indotti**).

¹¹¹ Il valore aggiunto generato dagli investimenti per lo sviluppo del nuovo nucleare è calcolato applicando l'attuale relazione tra fatturato e valore aggiunto delle imprese della filiera industriale italiana nel settore dell'energia nucleare.

140. Lo sviluppo del nuovo nucleare al 2050 consentirebbe infatti all'Italia di beneficiare di un **elevato moltiplicatore economico** in grado di **amplificare le ricadute economiche e occupazionali per il sistema-Paese**. Dal confronto con il moltiplicatore di altri settori energetici, il nucleare risulta la **tecnologia low-carbon con il moltiplicatore più elevato**. Sulla base delle stime e dei dati della Commissione europea e di NuclearEurope, il **moltiplicatore economico** risulta essere pari **3,4** misurando anche l'impatto indiretto e indotto generato dagli investimenti in Europa.
141. In altri termini, per ogni 100 Euro di investimento diretto nel settore dell'energia nucleare, se ne attivano quindi ulteriori 240 Euro nel resto dell'economia. Con un **moltiplicatore occupazionale** pari a **3,0**, invece, per ogni 100 occupati diretti abilitati nel settore dell'energia nucleare, si attivano ulteriori 200 unità di lavoro nell'economia. Il nuovo nucleare potrebbe dunque avere un ruolo strategico anche a livello occupazionale, abilitando circa **39.000 occupati diretti** per la filiera e oltre 78.000 nuovi posti di lavoro indiretti e indotti, con un impatto totale sul sistema-Paese di circa **117.000 nuovi posti di lavoro**.

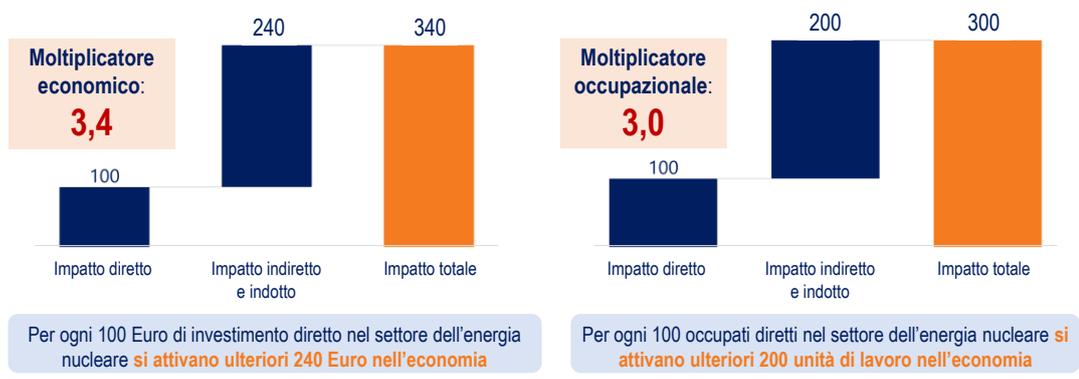


Figura 47. Moltiplicatore economico (grafico a sinistra, Euro) e occupazionale (grafico a destra, unità di lavoro) degli impatti diretti, indiretti e indotti generati dagli investimenti nel settore dell'energia nucleare in Europa, 2024. Fonte: elaborazione TEHA Group su dati Commissione europea e NuclearEurope, 2024.

2.2 I BENEFICI DEL NUOVO NUCLEARE PER L'INDUSTRIA

142. L'industria ha un **ruolo cruciale** nel processo di transizione energetica e decarbonizzazione. Basti pensare che essa è oggi **responsabile di oltre il 20% delle emissioni climalteranti in Italia ed in Europa**, dietro solamente ai settori dei trasporti e della produzione di energia. Similmente, l'industria rappresenta **più di un quinto dei consumi di energia finale** sia a livello italiano che europeo, al 3° posto dopo il settore dei trasporti e l'ambito residenziale.

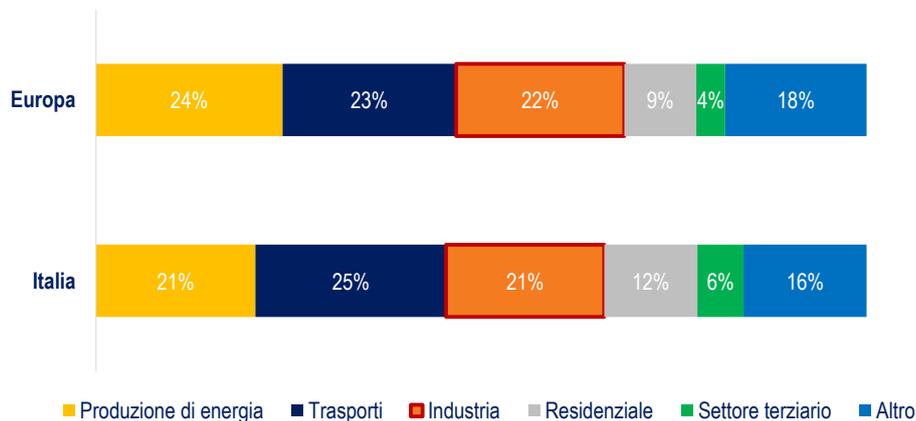


Figura 48. Emissioni di gas a effetto serra per settore in Italia e in Europa (valori percentuali), 2022. Fonte: elaborazione TEHA Group su dati Eurostat e European Environment Agency, 2024.

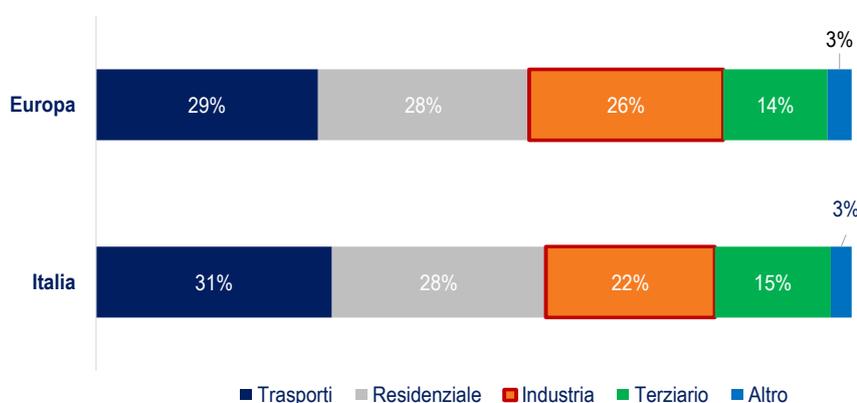


Figura 49. Consumi finali di energia per settore in Italia e in Europa (valori percentuali), 2022. Fonte: elaborazione TEHA Group su dati Eurostat, 2024.

143. Per comprendere i potenziali benefici del nuovo nucleare per l'industria italiana, lo Studio Strategico ha inizialmente analizzato l'**incidenza dei costi energetici sulla competitività dell'industria**, con un *focus* in particolare sui **settori energivori**¹¹², per poi approfondire il **possibile contributo del nuovo nucleare** per la decarbonizzazione dei processi industriali e per la fornitura di energia decarbonizzata, agendo in complementarietà allo sviluppo delle rinnovabili e assicurando una produzione stabile e modulabile fondamentale per garantire il fabbisogno energetico dei settori industriali. Per poter accelerare il processo di decarbonizzazione e raggiungere gli obiettivi *net zero* al 2050, una dimensione chiave riguarda infatti i settori manifatturieri a più alto consumo energetico. Si tratta della cosiddetta "**industria energivora**", che considera, convenzionalmente, i seguenti **settori produttivi**: cemento, fonderie e acciaio, raffinazione, industria alimentare, carta, vetro e ceramica e chimica. Come evidenziato dalla stessa Commissione Europea, infatti, all'interno dell'European Green

¹¹² L'industria energivora include i settori della siderurgia, minerali non metallici (vetro, cemento e ceramica), carta, chimica, estrazione e prodotti alimentari.

Deal si legge: “Le industrie ad alta intensità energetica, come quelle dell'acciaio, dei prodotti chimici e del cemento, sono indispensabili per l'economia europea, in quanto alimentano diverse catene del valore. Ma la loro decarbonizzazione e modernizzazione sono essenziali”.

L'industria energivora italiana e l'incidenza dei costi energetici sulla competitività industriale

144. Nel 2021 le imprese elettrivore italiane erano **3.757**, di cui **398** di grande dimensione (250+ addetti) e **3.359** di medio-piccola dimensione (0-249 addetti). Il valore aggiunto complessivo generato nel 2021 da tali imprese è stato pari a **44,8 miliardi di Euro**, riconducibile per il 55% alle grandi imprese (24,7 miliardi di Euro). Come evidenzia la Figura 51, i principali settori di attività economica per numero di imprese sono la fabbricazione di **articoli in gomma e materie plastiche** (22,8%), le **industrie alimentari** (13,2%) e la **metallurgia** (10,6%). Osservando il Valore Aggiunto totale generato dai settori elettrivori, le attività metallurgiche costituiscono il primo settore elettrivoro in Italia (16,8%), seguito da articoli in gomma e materie plastiche (12,8%) e dai minerali non metalliferi (12,8%), come ad esempio ceramica, cemento e vetro.

Settore di attività economica	Numero di imprese	Valore Aggiunto	% imprese	% Valore Aggiunto
Alimentari, bevande e tabacco	496	4.014	13,2%	9,0%
Tessile e abbigliamento	322	1.840	8,6%	4,1%
Legno e carta	251	3.367	6,7%	7,5%
Chimica e raffinazione	241	5.410	6,4%	12,1%
Farmaceutica	62	2.478	1,7%	5,5%
Articoli in gomma e materie plastiche	856	5.745	22,8%	12,8%
Minerali non metalliferi (es. vetro, cemento)	388	5.750	10,3%	12,8%
Attività metallurgiche	400	7.253	10,6%	16,2%
Prodotti in metallo	330	3.576	8,8%	8,0%
Computer e elettronica, incl. Macchinari	113	2.597	3,0%	5,8%
Mezzi di trasporto	49	1.053	1,3%	2,4%
Mobili e altre industrie	56	766	1,5%	1,7%
Altri settori (es. estrazione, fornitura di energia)	193	900	5,1%	2,0%
TOTALE	3.757	44.749	100,0%	100,0%

Figura 50. Numero di imprese e Valore Aggiunto (Milioni di Euro) dell'industria elettrivora in Italia per settore di attività economica, 2021. Fonte: elaborazione TEHA Group su dati Istat e ARERA, 2024.

145. A livello italiano, l'**industria energivora** (elettrivora e gasivora) nel 2022 rappresentava il **15%** delle emissioni GHG e il **16%** dei consumi energetici nazionali. I settori energivori sono responsabili di oltre il **70% delle emissioni di gas a effetto serra e dei consumi finali di energia dell'industria italiana**. A livello settoriale, **raffinazione, cemento, vetro e ceramica** sono i settori che fanno ricorso ad un maggiore quantitativo di energia, quantificabile in oltre il 42% dei consumi totali dell'industria energivora. Seguono **fonderie e acciaio** col 17%, il **settore chimico** col 17%, l'**industria della carta** al 13% e l'**industria alimentare** con l'11%.

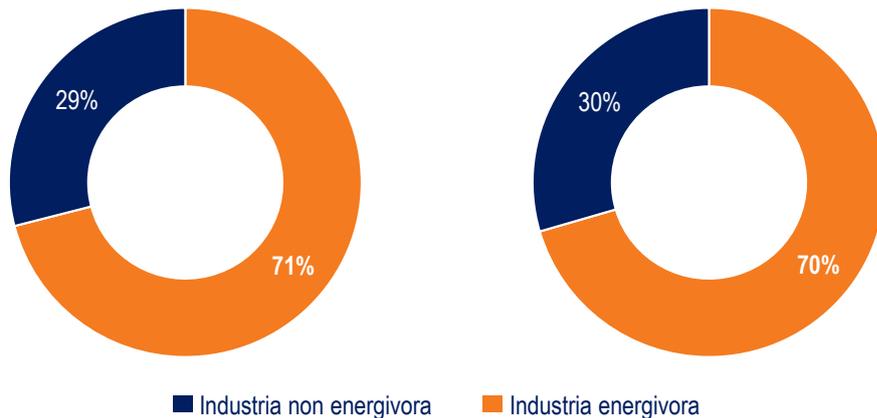


Figura 51. Peso dei settori energivori sulle emissioni di gas a effetto serra dell'industria (grafico a sinistra, valori percentuali) e sui consumi finali di energia dell'industria in Italia (grafico a destra, valori percentuali), 2022. Fonte: elaborazione TEHA Group su dati Eurostat ed European Environment Agency, 2024.

146. Alle elevate emissioni di questo tipo di industria contribuisce l'incidenza, ancora preponderante, dei **combustibili fossili nel mix energetico**. In Italia, l'energia fossile costituisce ancora il **95%** dei consumi totali di energia finale nell'industria energivora, con le rinnovabili conseguentemente appena sopra al 5%. Il **gas naturale** è, in particolare, dominante tra le fonti energetiche di questi settori, tanto da ricoprire in media il **37%** dei consumi energetici finali dell'industria energivora¹¹³. In alcuni comparti tale valore supera addirittura il 40%, come nel caso della carta (44%), della chimica (44%) e del cemento, vetro e ceramica (42%).

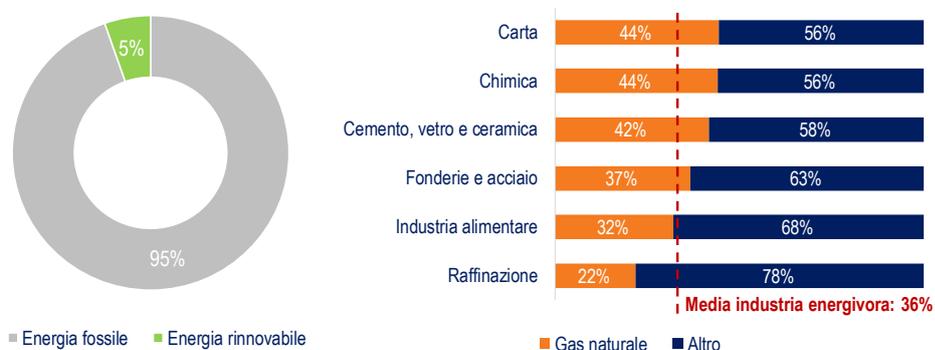


Figura 52. Consumi di energia finale per fuel nell'industria energivora italiana (valori percentuali) e incidenza del gas naturale nei consumi di energia finale per settore energivoro in Italia (valori percentuali), 2021. N.B. Cemento, vetro e ceramica sono stati considerati insieme per mancanza del dato disaggregato. Fonte: elaborazione TEHA Group su dati Eurostat e Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, 2024.

147. Alla luce di questi dati si comprende appieno la portata del conflitto russo-ucraino sulle imprese energivore italiane. I prezzi del gas naturale registrati sul Title Transfer Facility

¹¹³ Il dato fa riferimento all'uso diretto del gas naturale nei processi industriali. Vi è inoltre una quota importante di gas naturale utilizzato nella produzione di elettricità.

(TTF)¹¹⁴ sono infatti **aumentati in modo esponenziale**, fino a raggiungere **un picco di 235,2 Euro/MWh** a settembre 2022 (nel 2021, la media era stata di 47,7 Euro/MWh). L'incremento dei prezzi del gas si colloca in un contesto, quello italiano, che già in precedenza era **più penalizzante rispetto agli altri paesi europei**. Al netto delle tasse, infatti, il prezzo medio dell'elettricità per l'industria italiana nel 2019 era del **28% superiore rispetto alla media europea**, e più alto di quello delle industrie delle altre maggiori economie europee. Anche nel 2022, il costo dell'elettricità per l'industria italiana era più elevato della media europea di circa il **38%**. Nel primo semestre del 2022 l'Italia è stato il Paese con i prezzi più alti dell'elettricità per l'industria – dopo la Grecia (0,30 Euro/kWh) – con un valore pari a **0,25 Euro/kWh** (vs media europea 0,18 Euro/kWh).

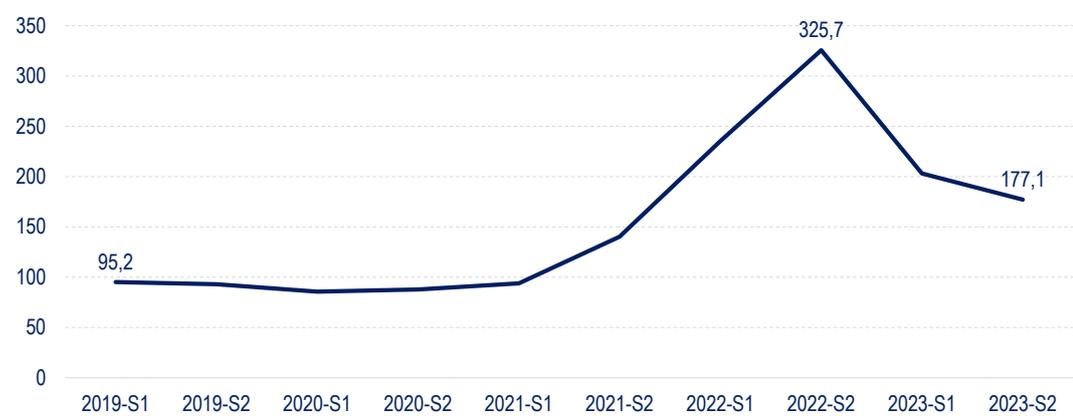


Figura 53. Prezzo dell'elettricità per i consumatori industriali in Italia (euro per MWh), 1° semestre 2019 – 2° semestre 2023. Fonte: TEHA Group su dati Eurostat, 2024.

148. La maggiore incidenza dei costi dell'energia sull'industria italiana risulta evidente dal confronto con la Francia, dove i costi energetici pesano per il 4,8% dei costi di produzione della manifattura nel 2022 rispetto all'8% dell'Italia. Tuttavia, l'impatto della crisi energetica **non è stato uniforme tra i vari settori industriali**. La **metallurgia** ha subito l'incremento più drammatico, con l'incidenza dei costi energetici sui costi di produzione che è aumentata **dall'11% al 26%** nel 2022 rispetto al biennio 2018-2019. Anche altri settori hanno registrato aumenti significativi: **l'industria chimica ha visto l'incidenza salire dal 14% al 20%**, il settore della gomma e plastica **dal 4% all'11%**, e l'industria cartaria **dal 4% al 10%**.¹¹⁵ Questi dati evidenziano come l'aumento dei costi energetici abbia eroso i margini operativi di questi settori chiave, specialmente in quelli maggiormente energivori, mettendo a rischio la loro competitività sul mercato internazionale.

¹¹⁴ Il Title Transfer Facility (TTF) è il mercato di riferimento europeo per il gas naturale. Situato nei Paesi Bassi, riunisce produttori nazionali e internazionali, società di stoccaggio, operatori di rete e società di distribuzione del gas.

¹¹⁵ Confindustria, 2023.

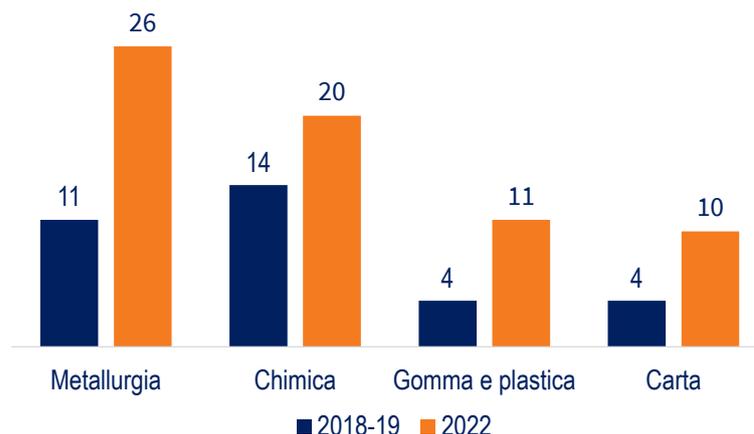


Figura 54. A sinistra: Incidenza dei costi dell’energia sui costi di produzione per la manifattura (%), media 2018-2019 e 2022. A destra: Incidenza dei costi dell’energia sui costi di produzione in selezionate industrie energivore italiane (%), media 2018-2019 e 2022. Fonte: TEHA Group su dati Confindustria dal report “L’impatto della corsa dei prezzi dell’energia sui costi di produzione: settori a confronto tra Italia, Francia e Germania”, 2024.

149. Considerata la **forte dipendenza dal gas naturale** e i prezzi elevati dell’energia elettrica, emerge per l’industria energivora italiana una forte necessità di **accelerare la transizione energetica**, non solo per raggiungere i *target* di decarbonizzazione ma anche per **preservare la propria competitività**. Infatti, il **prezzo della CO₂ nel sistema ETS** (Emission Trading System) **è cresciuto esponenzialmente negli ultimi anni**, aumentando di quasi **20 volte** tra marzo 2017 e marzo 2023 (da 4,7 a 93,0 €/tonn) per poi stabilizzarsi successivamente fino a raggiungere i €60/tonn a marzo 2024. In accordo con la normativa europea, le emissioni di CO₂ stanno diventando una voce di costo molto importante per le industrie europee a causa dell’aumento del costo delle quote ETS e della **progressiva diminuzione delle quote gratuite entro il 2030, fino ad arrivare al termine della concessione di tali quote al 2034**.
150. Il **sistema di scambio delle emissioni (ETS)** dell’UE funziona secondo il principio del “**cap-and-trade**”. Nell’ambito del sistema ETS europeo, i soggetti regolamentati acquistano o ricevono quote di emissioni che possono scambiare tra loro in base alle necessità. Alla fine di ogni anno, i soggetti regolati devono restituire un numero di quote sufficiente a coprire tutte le loro emissioni. L’ETS stabilisce un limite assoluto (o “**cap**”) alla quantità totale di determinati gas a effetto serra che possono essere emessi ogni anno dai settori economici interessati. Questo limite viene ridotto nel tempo, in modo che le emissioni totali diminuiscano, **aumentando le pressioni sull’industria energivora** europea per accelerare il percorso di decarbonizzazione nei prossimi anni.
151. Inoltre, dal 2026 entrerà in vigore il **Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM)** che integra il sistema ETS per prevenire un aumento delle importazioni di prodotti ad alta intensità di carbonio o la delocalizzazione della produzione in Paesi con politiche climatiche meno severe. Grazie a questo sistema, gli **importatori di materie prime e semilavorati extra-UE** soggetti al meccanismo CBAM dovranno acquistare certificati di

emissione al prezzo ETS per coprire le emissioni incorporate nei prodotti importati. In una prima fase, i settori coperti dal CBAM saranno siderurgia, cemento, fertilizzanti, alluminio, energia elettrica e produzione di idrogeno, ovvero i settori energivori con elevate emissioni di CO₂ e ad alto rischio di delocalizzazione. Con il tempo, si stima che **più del 50% delle emissioni dell'industria energivora saranno coperte dal CBAM.**

152. Negli ultimi anni, l'introduzione prevista del CBAM dal 2026 ha sollevato molte **perplexità tra gli operatori industriali.** In una lettera aperta di oltre 450 amministratori delegati di industrie energivore (che impiegano complessivamente circa 2,6 milioni di occupati) si afferma infatti: *“Le ultime proposte su ETS e CBAM indeboliscono le disposizioni sulla rilocalizzazione delle emissioni di carbonio, aumentano ulteriormente i costi normativi unilaterali e danneggiano la competitività delle industrie europee sui mercati dell'UE e internazionali”.* Vi è infatti il rischio che il venir meno delle quote gratuite nel sistema ETS e il rafforzamento degli obblighi normativi con il CBAM gravi notevolmente sulla competitività dell'industria italiana ed europea in quanto **l'applicazione del CBAM non è prevista per i prodotti finiti importati da paesi extra-UE,** che si prevede diventeranno ancora più competitivi sia nel mercato europeo che internazionale.
153. La disponibilità di energia stabile, economica e decarbonizzata diventa quindi un **fattore determinante per la capacità delle imprese** di mantenere la propria competitività sui mercati domestici e internazionali. In un contesto globale caratterizzato da crescente concorrenza e pressioni per la riduzione delle emissioni, la gestione delle risorse energetiche si configura dunque come una sfida **cruciale per il futuro dell'industria.** Con l'obiettivo di salvaguardare la competitività industriale, è fondamentale rendere disponibili e promuovere l'utilizzo di **fonti energetiche low-carbon e soluzioni tecnologiche per la decarbonizzazione** che consentano alle industrie soggette ai meccanismi ETS di attuare in maniera concreta e sostenibile investimenti in decarbonizzazione già nel breve termine.

Box 15. Il Decreto Energy Release per supportare la competitività delle imprese energivore

Lo scorso 23 luglio, il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica ha firmato il **Decreto Energy Release** che prevede **tariffe calmierate dell'energia elettrica per supportare le imprese energivore** che realizzano nuova capacità di generazione elettrica da fonti rinnovabili.

Il decreto stabilisce la cessione anticipata di energia elettrica a prezzi contenuti da parte del GSE alle imprese energivore, che potranno richiedere un'**anticipazione annua del 50%** dell'energia a prezzi competitivi per un massimale di **300.000 Euro** per ciascuna impresa nell'arco di **3 anni**.

La nuova capacità di generazione elettrica da fonti rinnovabili dovrà essere realizzata mediante:

- nuovi impianti fotovoltaici, eolici e idroelettrici di potenza minima pari a 200 kW ciascuno;
- interventi di potenziamento ovvero di rifacimento di impianti fotovoltaici, eolici e idroelettrici che consentono un incremento di potenza volto a raggiungere una soglia pari almeno a 200 kW.

Per accedere all'agevolazione sarà necessario stipulare con GSE un contratto per differenza a due vie **di durata triennale***, con l'impegno di realizzare – o a far realizzare da un soggetto terzo – nuova capacità di generazione da fonti rinnovabili **entro 40 mesi** dalla data di sottoscrizione del contratto di anticipazione. Il contratto prevede l'**obbligo di restituzione dell'energia elettrica anticipata dal GSE entro 20 anni** dall'entrata in esercizio della nuova capacità di generazione da fonti rinnovabili.

Il prezzo di riferimento del contratto messo a disposizione dei c.d. clienti finali prioritari è di **210 €/MWh**** e l'energia disponibile all'assegnazione stimata dal GSE è pari a **16.024.960 MWh l'anno**. I volumi oggetto del contratto non potranno superare il 3% del contingente totale disponibile e ogni impresa potrà richiedere un quantitativo di energia **fino al 30% del proprio prelievo annuo** (definito sulla base della media triennio precedente).

Il **consumo minimo** per la partecipazione è stabilito a **3,5 GWh/anno** per singola impresa. Le imprese con consumi inferiori potranno partecipare in forma aggregata, individuando un soggetto aggregatore che agisce quale controparte del contratto di anticipazione e restituzione.

Potranno accedere al beneficio, in via prioritaria:

- i **clienti finali industriali**, cioè i clienti finali le cui utenze si riferiscono a unità locali operanti nei settori di attività economica oggetto di calcolo della produzione industriale da parte dell'Istituto nazionale di statistica (ISTAT);
- **piccole e medie imprese**, come definite dalla raccomandazione n. 2003/361/CE della Commissione europea del 6 maggio 2003;
- **clienti finali energivori**, imprese a forte consumo di energia elettrica (di cui al decreto del Ministro dello sviluppo economico 21 dicembre 2017);
- **clienti finali localizzati in Sicilia e Sardegna** e che partecipano al servizio di interrompibilità elettrica di Terna.

La prima procedura è riservata ai clienti finali prioritari (anche in forma aggregata) e solo nel caso in cui non sia stato assegnato l'intero volume di energia elettrica disponibile, verrà svolta una nuova procedura destinata ai clienti finali non prioritari.

() Sulla base di una procedura svolta dal Gestore Mercati Energetici (GME) sulla propria piattaforma di negoziazione per individuare i soggetti aggiudicatari e il volume di energia elettrica in cessione a loro spettante. (**) Fermi restando possibili successivi adeguamenti ai sensi del Decreto Energy Release e dell'andamento dei prezzi di mercato.*

Fonte: elaborazione TEHA Group su dati MASE, GSE e fonti varie, 2024.

Il contributo del nuovo nucleare alla decarbonizzazione delle industrie energivore

154. Grazie alle sue emissioni vicine allo zero, il nucleare rappresenta un asset strategico per le industrie all'interno dell'ETS dell'Unione Europea. La graduale riduzione delle quote gratuite nel sistema ETS sta portando molte industrie a **dober decarbonizzare rapidamente i propri consumi energetici**. Inoltre, la volatilità e la crescita del prezzo della CO₂ (+149% nel luglio 2024 rispetto a luglio 2020) evidenziano la necessità di accelerare questo processo per non compromettere la competitività dell'industria italiana ed europea.
155. In questo contesto, il nucleare emerge come una **soluzione strategica**, non producendo emissioni di CO₂ durante la fase operativa e offrendo così alle industrie un **modo efficace per ridurre la propria impronta carbonica** e i costi associati alle quote di emissione.

Box 16. EDF, Edison, Federacciai, Ansaldo Energia e Ansaldo Nucleare hanno sottoscritto un Memorandum of Understanding per sfruttare l'energia nucleare nella filiera dell'acciaio italiana

EDF, Edison, Ansaldo Energia, Ansaldo Nucleare e Federacciai hanno **firmato un Memorandum of Understanding (MOU)** per utilizzare l'**energia nucleare** per migliorare la **competitività** e **decarbonizzare il settore siderurgico italiano**. Questo accordo mira a esplorare le opportunità di investimento in **nuovi reattori nucleari modulari (SMR)** in Italia nei prossimi dieci anni, utilizzando la tecnologia **SMR** di EDF e le **competenze ingegneristiche di Ansaldo Energia e Ansaldo Nucleare**. I **firmatari** si impegneranno anche a **valutare la fornitura a lungo termine di energia nucleare**, sfruttando in **via prioritaria** la capacità dell'**interconnector** tra **Italia e Francia**, contribuendo così alla decarbonizzazione della produzione siderurgica italiana. L'energia nucleare è vista come cruciale per raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione dell'Unione Europea entro il 2050, migliorando al contempo la competitività industriale.

I principali **benefici** dell'utilizzo del nucleare nelle acciaierie italiane riguardano:

- **riduzione delle emissioni e transizione energetica:** il nucleare offre infatti un'alternativa a **basse emissioni di carbonio** rispetto ai combustibili fossili, contribuendo alla **transizione** verso un'**industria siderurgica sostenibile**, in linea con gli obiettivi di decarbonizzazione;
- **energia sicura e stabile:** fornendo un approvvigionamento energetico **sicuro e costante**, fondamentale per un'industria ad **alta intensità energetica**;
- **competitività Industriale:** l'energia nucleare può **ridurre i costi complessivi** dell'energia, aumentando la **competitività delle acciaierie italiane** a livello globale;

Fonte: elaborazione TEHA Group su dati EDF e fonti varie, 2024.

156. Il **nuovo nucleare** viene proposto per massimizzare la flessibilità nel produrre non solo **elettricità**, ma anche **calore industriale decarbonizzato**. Gli **Small Modular Reactor (SMR)** e gli **Advanced Modular Reactor (AMR)** consentono la fornitura di **calore industriale** a media-**alta temperatura**, raggiungendo temperature fino a **950°C (AMR)** e **300°C (SMR)** che li rendono adatti a numerosi **processi industriali**. Ad esempio, l'industria **cartaria**, che necessita di temperature fino a **200°C**, può essere

completamente decarbonizzata grazie all'utilizzo del nuovo nucleare. Oltre all'industria cartaria, altre industrie possono beneficiare del calore diretto prodotto dai reattori nucleari avanzati. Anche l'industria **chimica**, che spesso necessita di **calore oltre i 500°** per attivare le **reazioni endotermiche**, può sfruttare queste tecnologie per migliorare la sostenibilità dei suoi processi. Il calore generato da questa tipologia di reattori può anche essere utilizzato per l'estrusione¹¹⁶ dell'alluminio, che può richiedere temperature fino agli 800°. Un altro esempio è l'**industria del cemento**, che è una delle più grandi **fonti di emissioni di CO₂** (**1 tonnellata di cemento** comporta l'emissione di **670 kg di CO₂**). Sebbene richieda temperature molto elevate, una combinazione di preriscaldamento tramite AMR e l'utilizzo di idrogeno prodotto da questi reattori può contribuire a **ridurre significativamente le emissioni**. Analogamente, l'industria del **vetro**, che richiede temperature elevate per la fusione del materiale, potrebbe beneficiare del calore dagli **AMR**. Per soddisfare i fabbisogni energetici relativi a processi con temperature più alte è poi possibile produrre idrogeno in modo più efficiente tramite elettrolizzatori ad alta temperatura alimentati dal calore e dall'elettricità prodotta da SMR e AMR, come meglio illustrato nel prossimo paragrafo.

157. In sintesi, il nuovo **nucleare rappresenta** una soluzione **versatile e sostenibile** per diverse industrie, offrendo opportunità significative per la **decarbonizzazione**. La possibilità di produrre calore industriale decarbonizzato non solo migliora la competitività delle industrie, ma contribuisce anche in maniera sostanziale al raggiungimento degli **obiettivi climatici globali**.

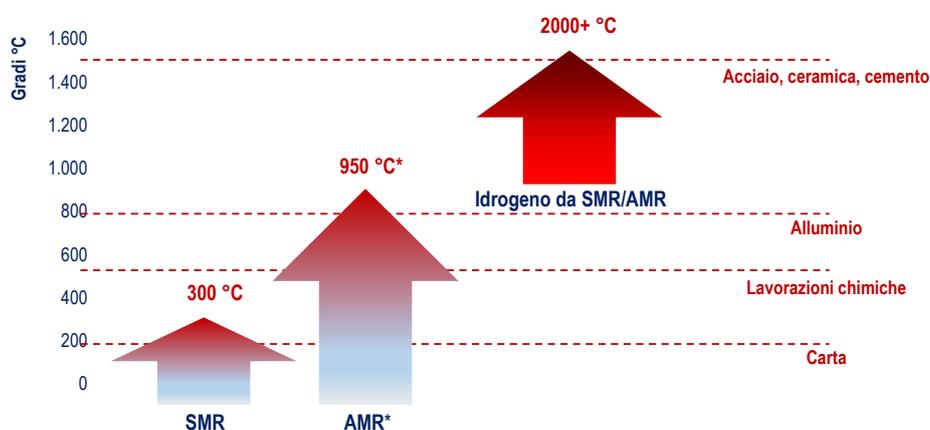


Figura 55. Temperatura per calore industriale del nuovo nucleare e temperatura richiesta per industria (illustrativo). Fonte: TEHA Group su dati NEA, DoE e fonti varie, 2024.

Produzione di idrogeno

158. Il nuovo nucleare offre infine **un'opportunità per la produzione efficiente di idrogeno**. Come fonte di **elettricità e calore programmabile** e a **basse emissioni**, il nucleare consente di alimentare su base continuativa gli **elettrolizzatori** con il vapore

¹¹⁶ Processo che consiste nello scaldare l'alluminio fino a renderlo "pastoso" per poi dargli la forma desiderata

ad alta temperatura che genera, producendo idrogeno con un'efficienza notevolmente superiore rispetto ad altre fonti energetiche. **L'efficienza di produzione dell'idrogeno tramite nucleare può raggiungere il 45%**, superando significativamente il **40,4%** ottenibile con le fonti termiche tradizionali e il **16,3%** del solare¹¹⁷.

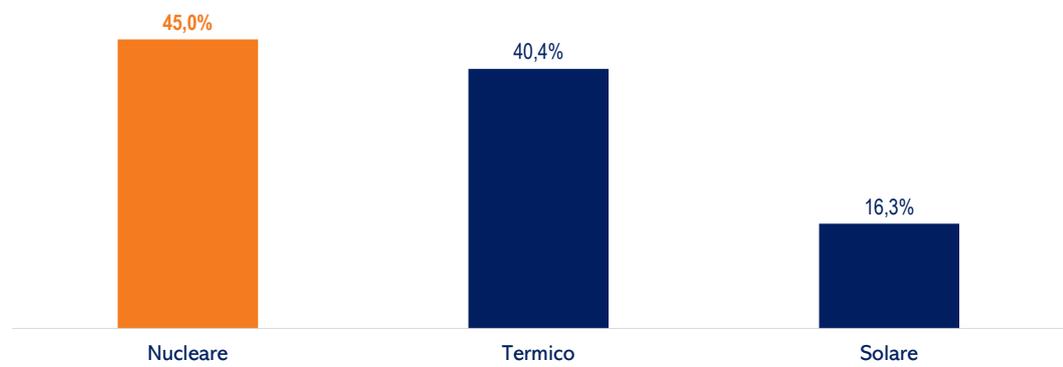


Figura 56. Efficienza della produzione di idrogeno per tipo di ciclo di produzione nel mondo, 2022. Fonte: TEHA Group su dati dal report Younas M et al. (2022) "An Overview of Hydrogen Production: Current Status, Potential, and Challenges", 2024.

159. L'idrogeno verde deriva dal processo di elettrolisi¹¹⁸ abilitato da energia elettrica. In particolare, per essere *green*, l'energia elettrica utilizzata deve provenire da **fonti energetiche rinnovabili** come l'energia **solare, eolica** o **idroelettrica**. Di conseguenza, gli Stati che hanno già oggi una capacità rinnovabile **molto sviluppata**, sono avvantaggiati nella potenziale **produzione di idrogeno**. La possibilità di utilizzare energia elettrica da **fonte nucleare** per la produzione di idrogeno **amplia** ulteriormente il **vantaggio di opzioni** per gli Stati che desiderano aumentare la loro produzione di idrogeno decarbonizzato, che potranno sfruttare l'energia nucleare come fonte **stabile** e a **basse emissioni** di carbonio per l'elettrolisi. In questo modo, l'integrazione del nucleare nel **mix energetico non solo diversifica** le fonti di energia, ma accelera anche il percorso verso una **produzione di idrogeno** più **sostenibile** ed **efficiente**.
160. Questa maggiore efficienza si traduce in una produzione di idrogeno più economica e sostenibile, aprendo anche nuove possibilità per l'industria. L'idrogeno "nucleare" – che a marzo del 2023 è stato ammesso nell'alveo delle fonti *low carbon* da parte della Commissione Europea - può essere impiegato in vari settori industriali. Ad esempio, può essere utilizzato nell'industria siderurgica per la produzione di acciaio verde, nel settore dei trasporti pesanti, o come input per l'industria chimica.

¹¹⁷ Younas M et al. (2022) "An Overview of Hydrogen Production: Current Status, Potential, and Challenges", 2024.

¹¹⁸ Processo che, mediante l'utilizzo di energia elettrica, separa una particella di acqua in 2 di idrogeno e 1 di ossigeno allo stato gassoso.

Il contributo del nuovo nucleare alla formazione di prezzi energetici competitivi

161. Come precedentemente analizzato, la competitività e l'economicità dei prezzi dell'energia è un fattore abilitante chiave per la competitività dell'intero sistema Paese e, in questo contesto, **il nuovo nucleare può rappresentarne una soluzione efficace, specialmente per le industrie energivore**. Questa tecnologia offre infatti la prospettiva di una produzione elettrica **stabile, prevedibile, e potenzialmente più economica** nel lungo termine, caratteristiche particolarmente rilevanti per l'industria, la quale – anche per poter far fronte a bisogni di programmazione economica di lungo periodo – necessita di poter fare affidamento su un approvvigionamento energetico affidabile, stabile e con costi competitivi. Merita dunque di essere debitamente sottolineato il ruolo del **nuovo nucleare in integrazione** con lo sviluppo delle **rinnovabili**, dimostrando come **l'inserimento di questa tecnologia** possa essere una risposta **efficace e competitiva**.
162. Le fonti energetiche rinnovabili, e in particolare le rinnovabili intermittenti (VRE¹¹⁹) come solare ed eolico, **rappresentano il futuro del sistema energetico italiano ed europeo** e garantiranno larga parte della produzione elettrica nazionale, arrivando probabilmente oltre l'**80%** considerate le caratteristiche specifiche dell'Italia¹²⁰. Tuttavia, come evidenziato nel capitolo 1.3, il nucleare rappresenta una tecnologia che **ben si sposa con le rinnovabili**, permettendo loro di esprimere il **massimo potenziale**.
163. Le fonti energetiche rinnovabili, in particolare il solare e l'eolico, **si distinguono per il loro costo estremamente competitivo**, specie a livelli di penetrazione nel mix energetico non elevati. Tuttavia, **all'aumentare della loro quota nel sistema elettrico, si osserva un incremento progressivo dei costi complessivi**. Questo fenomeno è attribuibile a diversi fattori interconnessi che emergono con la crescita della capacità rinnovabile installata.
164. In primo luogo, la natura intermittente delle fonti rinnovabili richiede – in assenza di una fonte energetica stabile e programmabile che le complementi - **l'implementazione di sistemi di accumulo**. Questi sistemi sono essenziali per garantire la **stabilità** della rete, assorbendo l'elettricità in eccesso prodotta durante i periodi di alta disponibilità e rilasciandola quando le risorse rinnovabili sono meno abbondanti. Questi accumuli devono peraltro essere sia di breve periodo che stagionali, con questi ultimi che rappresentano peraltro anche una notevole **sfida tecnologica**. Inoltre, la capacità di stoccaggio aumenta più che proporzionalmente rispetto alla penetrazione delle

¹¹⁹ Variable Renewable Energy.

¹²⁰ Se in alcuni Paesi, come ad esempio Norvegia e Islanda, le abbondanti risorse idroelettriche (e nel caso della seconda, anche geotermiche) permettono di soddisfare la domanda elettrica con l'utilizzo esclusivo di fonti rinnovabili programmabili e ad un prezzo molto contenuto, in altri Paesi questo potrebbe essere possibile solo a un costo più elevato a causa della necessità di stabilizzare una rete sprovvista di una adeguata produzione *baseload*. Nel caso italiano, il PNIEC stima una produzione rinnovabile nel 2050 pari all'89%.

rinnovabili. L'aumento della capacità di accumulo necessaria comporta un **incremento dei costi di sistema**.

165. Inoltre, per assicurare una copertura adeguata del carico elettrico, diventa necessario **sovradimensionare gli impianti di produzione elettrica**. Infatti, le rinnovabili, e in particolare il fotovoltaico, producono essenzialmente di giorno, con un contributo limitato nelle ore serali e notturne in cui il carico elettrico è comunque presente. Il sovradimensionamento permette di coprire non solo la domanda istantanea, ma permette anche di generare un *surplus* energetico da poter rilasciare, prevedendo sistemi di accumulo opportunamente dimensionati, durante i periodi di bassa produzione. Anche questo sovradimensionamento, che dovrà crescere **più che proporzionalmente al crescere della penetrazione delle FER**, contribuisce all'aumento dei costi di sistema.

166. L'integrazione di una quota crescente di rinnovabili richiede anche **investimenti nell'espansione delle infrastrutture di rete**, trattandosi di una fonte energetica decentralizzata e localizzata laddove ci sono fonti rinnovabili disponibili (ad esempio, in Italia nel Sud, che presenta maggiori livelli di irraggiamento e ventosità), a volte lontano dai centri di consumo (che in Italia sono concentrati al Nord). Un altro fattore rilevante è rappresentato dai **costi di bilanciamento**. All'aumentare della quota di rinnovabili, cresce la necessità di garantire servizi di rete per gestire le fluttuazioni nella produzione elettrica attivando risorse di flessibilità con costi aggiuntivi per il sistema e in ultima analisi per i clienti finali.

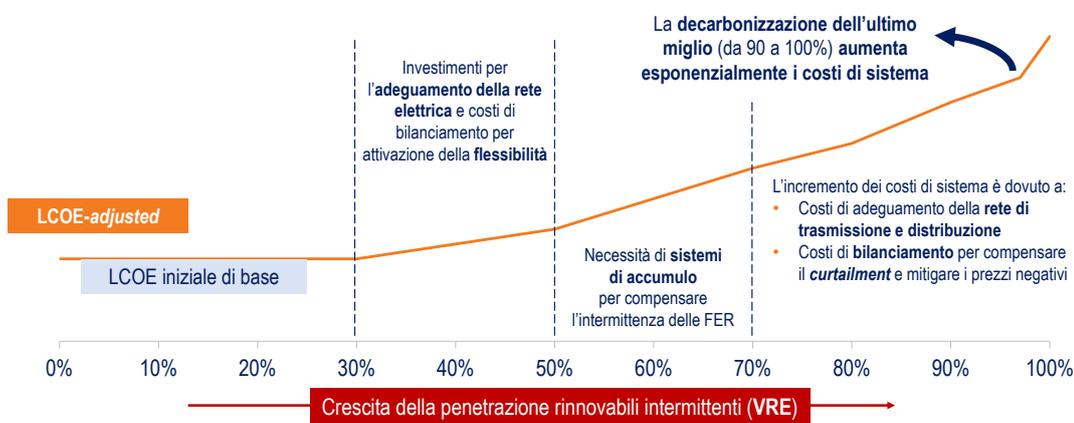


Figura 57. Analisi qualitativa dell'andamento del LCOE delle rinnovabili intermittenti in uno scenario di crescente penetrazione delle FER fino al 100% del mix elettrico. Fonte: elaborazione di TEHA Group su dati IEA, NREL, Lazard e fonti varie, 2024.

167. In questo contesto, **il nuovo nucleare emerge come la soluzione tecnologica ideale per supportare il ruolo fondamentale delle rinnovabili nella decarbonizzazione del mix energetico nazionale**. La generazione elettrica stabile e programmabile del nuovo nucleare, infatti, permette di superare o di ridurre i costi aggiuntivi descritti sopra, consentendo così alle rinnovabili di sprigionare il loro pieno potenziale. In particolare:

- la **programmabilità e la stabilità del nuovo nucleare** riduce significativamente la necessità di sistemi di accumulo su larga scala. Questa caratteristica permette alle rinnovabili di operare in modo più efficiente, sfruttando la loro produzione quando le condizioni sono ottimali, senza la necessità di dover coprire l'intera domanda energetica in ogni momento;
- il nucleare contribuisce anche a **ridurre i costi di adeguamento della rete**. La sua produzione costante e **localizzata vicino ai centri di consumo** diminuisce la necessità di estesi potenziamenti delle infrastrutture di trasmissione, spesso richiesti per gestire il *mismatch* tra area di produzione delle fonti rinnovabili (principalmente al Centro-Sud) e area di consumo elettrico (principalmente al Nord);
- la **stabilità e la programmabilità della produzione** riduce il sovrainvestimento degli impianti di produzione elettrica rinnovabile che sarebbe necessario per far fronte ai periodi di prolungata **intermittenza delle rinnovabili**.

168. L'integrazione del nucleare all'interno del mix energetico permetterebbe dunque di minimizzare i costi di sistema e amplificare i benefici della transizione energetica per imprese e cittadini, garantendo una produzione programmabile essenziale per la stabilità della rete e funzionale allo sviluppo delle rinnovabili. Secondo le stime del PNIEC italiano, lo scenario con nucleare garantirebbe infatti un **risparmio di circa 17 miliardi di Euro per raggiungere l'obiettivo Net Zero entro il 2050** rispetto allo scenario senza nucleare.

169. Tenendo conto dei costi di *storage*, **l'LCOE¹²¹ del nuovo nucleare risulta inferiore e comparabile a quello delle principali fonti rinnovabili e si attesta su un valore di circa €90-110/MWh¹²²**, garantendo inoltre un prezzo dell'energia più stabile e certo nel tempo. Senza i costi di *storage*, tuttavia, l'LCOE del solare e dell'eolico sarebbe inferiore a quello del nucleare. La **differenza tra il prezzo dell'elettricità prodotta** da fonte rinnovabile con e senza il costo aggiuntivo dello *storage* **misura quindi il potenziale beneficio che il nuovo nucleare può abilitare per le rinnovabili**, per il sistema elettrico in generale e **per l'industria**, che beneficerà di energia programmabile e decarbonizzata a prezzi stabili.

¹²¹ Il Levelized Cost of Electricity – LCOE (costo dell'elettricità livellato) è il valore attuale netto del costo unitario dell'energia elettrica nel corso della durata di un generatore che viene considerato come una proxy per il prezzo medio che il generatore deve ricevere in un mercato in pareggio per tutta la sua durata.

¹²² Fonte: elaborazione di TEHA su dati Energy&Strategy del Politecnico di Milano e Lazard, 2024.

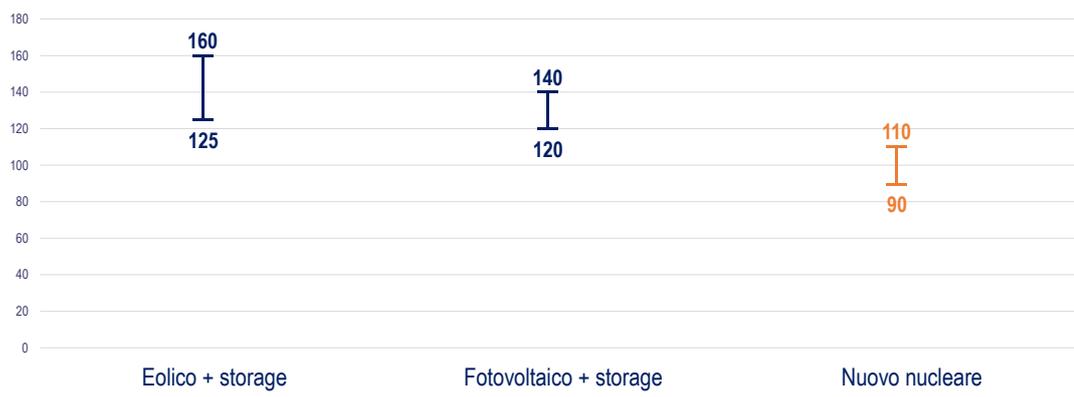


Figura 58. Confronto LCOE del nuovo nucleare e delle principali fonti energetiche rinnovabili con storage in Italia (Euro/MWh), 2023. N.B.: i dati relativi al fotovoltaico fanno riferimento ad un impianto utility-scale da 20 MW in Italia. Fonte: TEHA Group su dati Energy&Strategy, Lazard e fonti varie, 2024.

170. Il nuovo nucleare **abilita, infatti, una produzione di elettricità programmabile e decarbonizzata con prezzi più stabili**. Il prezzo dell'uranio **incide solo per il 14% sui costi operativi e per il 6% sul prezzo finale**: eventuali aumenti del combustibile si riflettono quindi solo marginalmente sui costi sostenuti da consumatori e industria. Per contro, l'incidenza del prezzo del gas su costi operativi e prezzo finale è **rispettivamente dell'87% e del 24%**. Questo è dovuto anche al fatto che la struttura di costo di queste tecnologie è profondamente diversa, essendo il nucleare *capital-intensive*, con costi fissi che incidono **per circa l'80% su quelli totali**. Inoltre, il **prezzo** del gas è esposto a **variazioni molto più significative** rispetto all'energia nucleare, per via della maggiore **instabilità** geopolitica dei **principali Paesi fornitori** di questa fonte (l'episodio dell'esplosione del prezzo del gas a seguito dell'invasione Russa dell'Ucraina ne è un chiaro esempio).

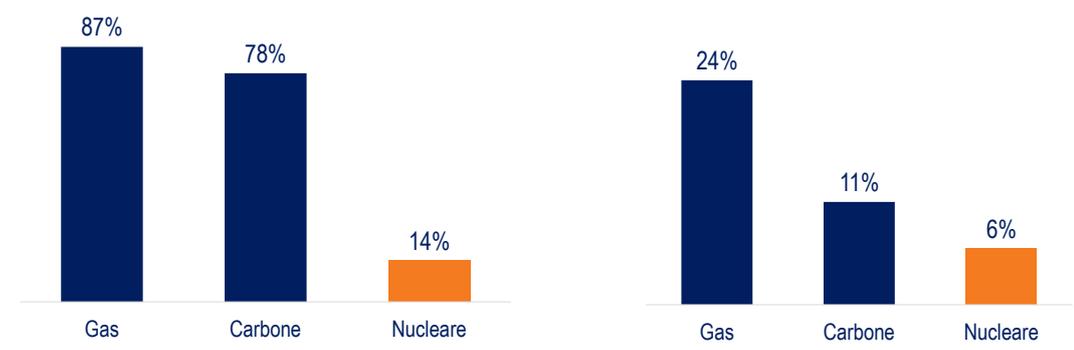


Figura 59. A sinistra: Incidenza del costo della materia prima sui costi operativi (%). A destra: Incidenza del costo della materia prima sui prezzi finali (%). Fonte: TEHA Group su dati CEA, IAEA e Lazard, 2024.

2.3 I BENEFICI DEL NUOVO NUCLEARE PER I TERRITORI E I CITTADINI

171. Uno dei temi cardine che muove il dibattito pubblico sull'uso dell'energia nucleare in Italia è legato all'accettabilità sociale della tecnologia da parte di cittadini e territori. Tuttavia, va considerato che il nucleare rappresenta uno **strumento di sviluppo locale** che porta con sé **numerosi benefici per i territori e i cittadini** che lo ospitano, che attengono sia alla **sfera economica** che **sociale**.



Figura 60. I benefici del nucleare "tradizionale" e del nuovo nucleare (illustrativo). (*) Per un approfondimento sul basso impatto ambientale del nucleare si rimanda al paragrafo 2.1.1. del presente capitolo. Fonte: TEHA Group, 2024.

Il nucleare abilita nuovi posti di lavoro

172. Le fasi per la gestione di un impianto nucleare includono attività di costruzione, operazioni di funzionamento e manutenzione, forniture e servizi di supporto, attività di ricerca e sviluppo e operazioni di smantellamento e gestione dei rifiuti. Tutte le fasi del ciclo di vita di una centrale nucleare possono portare **benefici all'economia** del territorio, in termini di **abilitazione di nuovi posti di lavoro** e **valorizzazione del tessuto imprenditoriale**.

173. In Francia, ad esempio, le attività dirette e indirette connesse al nucleare permettono di abilitare **circa 3 occupati ogni MW di capacità installata nucleare**. Tra le varie Regioni della Francia, la **filiera del nucleare abilita circa 184.080 posti di lavoro** diretti ed indiretti e anche le regioni senza impianti nucleari risentono dell'attività nucleare. Si stima che per un impianto SMR medio di 340 MW, si genererebbero oltre **1.000 occupati** (diretti e indiretti) sul territorio.

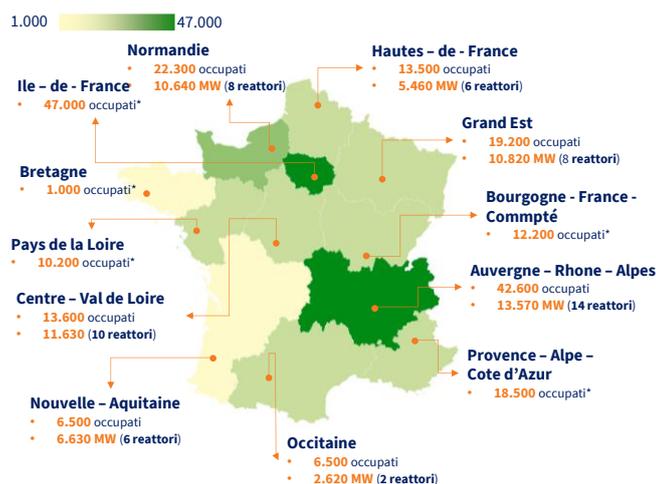


Figura 61. Ripartizione degli occupati diretti ed indiretti della filiera nucleare in Francia (valori assoluti), 2021. (*) Nella Regione non sono presenti reattori attivi ma attività connesse al nucleare (es. stabilimenti di medicina nucleare, stabilimenti per la formazione in ambito nucleare e stabilimenti per la produzione di materiale per reattori nucleari). Fonte: elaborazione di TEHA Group su dati Sfen, 2024.

174. Sulla base degli scenari previsti dall'Unione Europea al 2050 e dal potenziale scenario di sviluppo del nuovo nucleare in Italia (escluso dallo scenario UE), TEHA ha stimato il potenziale di sviluppo della filiera industriale nazionale nel settore dell'energia nucleare in termini occupazionali. Dall'analisi svolta è risultato che gli investimenti nel nucleare abilitano un **moltiplicatore occupazionale per l'economia italiana pari a 3,0**. Vale a dire che per ogni 100 occupati diretti abilitati nel settore dell'energia nucleare, si attivano ulteriori 200 unità di lavoro nell'economia.
175. In questo contesto, il nuovo nucleare potrebbe avere un ruolo strategico per i territori a livello occupazionale. Infatti, prevedendo investimenti di costruzione del nuovo nucleare – in Europa e in Italia – al 2050, si abiliterebbero circa **39.000 occupati diretti** per la filiera e oltre 78.000 nuovi posti di lavoro indiretti e indotti, con un impatto totale sul sistema-Paese di circa **117.000 nuovi posti di lavoro - x1,4** gli occupati del settore di fornitura di elettricità, gas e vapore.¹²³



Figura 62. Stima dell'impatto occupazionale totale al 2050 per il sistema-Paese attivabile grazie agli investimenti di costruzione del «nuovo nucleare» in Europa e in Italia (miliardi di Euro e numero di occupati), 2024. (*) Elaborazione su dati interni Edison-Ansaldo. Fonte: elaborazione TEHA Group, 2024.

¹²³ Per maggiori approfondimenti sulla stima dei posti di lavoro attivati dal settore dell'energia nucleare in Italia riferirsi al paragrafo 2.1.2 "Competitività della supply chain" del presente capitolo.

Il nucleare promuove lo sviluppo di programmi di valorizzazione del territorio

176. Lo sviluppo del nucleare in un territorio porta con sé una serie di benefici in termini di **valorizzazione per il territorio** stesso. Molti sono, infatti, i Paesi in Europa che hanno predisposto dei **programmi di sviluppo locale** – in termini di sistema infrastrutturale e progresso sociale – percorsi formativi, piani di monitoraggio su sicurezza e qualità della vita e sostegni finanziari in tutti quei territori interessati dal nucleare.
177. Francia, Belgio e Ungheria rappresentano tre casi di Paesi in Europa ad aver introdotto programmi *ad hoc* nei territori che ospitano centrali o depositi di rifiuti radioattivi:
- in **Francia**, a seguito del piano di rilancio dell'industria nucleare previsto dal piano Francia 2030, annunciato dal Governo francese nel 2022, il Ministero della Transizione energetica ha lanciato l'iniziativa **“Alliance des territoires du nucléaire” (Alleanza dei territori nucleari)**, che mira a creare una **rete di collaborazione tra tutti i territori francesi interessati dal nucleare** – perché già ospitano una centrale elettrica, ne ospiteranno una in futuro, o perché dispongono di infrastrutture o apparecchiature che fanno parte a vario titolo dell'ecosistema nucleare. Ad oggi, sono stati identificati circa **100 territori interessati**. Il programma ha l'obiettivo di favorire la condivisione di buone pratiche sulle diverse questioni legate al rilancio del nucleare nelle regioni francesi e, allo stesso tempo, mira a **creare percorsi di formazione superiore** rispondenti ai bisogni delle imprese, attuare una politica di **attrattività territoriale per nuovi dipendenti**, **adeguare il patrimonio abitativo e l'offerta di servizi per l'infanzia** e diffondere un'**offerta di mobilità** adattata allo sviluppo economico locale;
 - in **Belgio**, l'Agenzia belga per i rifiuti radioattivi (Ondraf/Niras) ha creato **partnership** con le **località che ospitano depositi di rifiuti nucleari** e promosso diverse iniziative volte a generare **valore aggiunto per la comunità**. In particolare, tra i progetti sviluppati, è stato avviato uno studio a lungo termine per **monitorare la salute a livello locale** e intraprendere **iniziative per migliorarla**; inoltre, è stato predisposto un **fondo locale** destinato a **sostenere progetti** che creino **opportunità sostenibili** per le comunità coinvolte e **migliorino la qualità della vita** nel breve, medio e lungo termine;
 - in **Ungheria**, la società per la gestione dei rifiuti radioattivi (PURAM) si impegna in una stretta collaborazione con le comunità che ospitano depositi di rifiuti radioattivi o centri di ricerca in questo campo. Tra le attività promosse, sono stati previsti **investimenti per migliorare la qualità della vita** (acquisto e manutenzione di alloggi comunali, lavori di ristrutturazione e costruzione stradale, acquisto di mezzi di trasporto), **finanziamenti** per attività di **comunicazione locale** (giornali, eventi informativi) ed **eventi formativi** annuali gratuiti e **lezioni di fisica** nelle scuole, sia in ambito scientifico che in relazione ai principi etici che guidano la gestione dei rifiuti radioattivi.

178. In Italia, invece, è stato istituito un fondo messo a disposizione dei territori che ospitano i siti di ex centrali nucleari e dal quale, nel 2022, sono state erogate risorse per un valore complessivo di **14,5 milioni di Euro**, di cui:

- il **50%** è stato destinato ai comuni nei cui territori è ubicato il sito;
- il **25%** ai comuni confinanti¹²⁴ con quello nel cui territorio è ubicato il sito;
- il restante **25%** alle province nei cui territori è ubicato il sito.

Box 17. L’impatto della presenza di energia nucleare nei territori: il caso del Comune di Trino

Il Comune di Trino ha una storia profondamente legata al nucleare da quando, nel 1961, sono iniziati i lavori di costruzione della Centrale nucleare “Enrico Fermi”, la prima struttura industriale nel settore nucleare in Italia.

L’impianto ospitato dal Comune di Trino – un PWR (Pressurized Water Reactor) con una potenza di produzione elettrica di 270 MW – è stato avviato a soli 3 anni dall’inizio dei lavori (nell’ottobre del 1964) e ha operato fino al 1987, quando ne è stata predisposta la chiusura a seguito dell’esito del *referendum* sul nucleare. Nel 1990 l’impianto è stato definitivamente disattivato e nel 1999 è stata avviata la fase di *decommissioning*.

La presenza del nucleare nel Comune di Trino, negli anni, **ha contribuito a generare ricchezza per il territorio**. Infatti, il Comune di Trino ha ricevuto fondi pari a 2,5 milioni di Euro l’anno, ovvero il 37% del totale delle spese comunali annue (che ammontano a 6,8 milioni di Euro).

Il territorio ha inoltre beneficiato di **ricadute occupazionali importanti** nel tempo. Quando la centrale era in funzione, il ciclo operativo durava dai 12 ai 18 mesi, periodo durante il quale la centrale contava circa 200 addetti. Al termine di ogni ciclo operativo, l’impianto veniva fermato temporaneamente (per circa 2 o 3 mesi) e partivano le attività di manutenzione e le operazioni di sostituzione degli elementi del nucleo. Nel periodo di fermo il numero di addetti superava le 1.000 persone, che venivano reclutate dal comune e dalle zone limitrofe. Ad oggi, la centrale di Trino è ancora motivo di occupazione per i circa 80 addetti che svolgono la funzione di mantenere in sicurezza l’impianto.

Fonte: elaborazione TEHA Group su fonti varie, 2024.

179. In generale, le **risorse finanziarie** vengono destinate alla **realizzazione di interventi mirati in campo ambientale** quali, ad esempio, la tutela delle risorse idriche, la bonifica dei siti inquinati e la gestione dei rifiuti, la conservazione e valorizzazione delle aree naturali protette e tutela della biodiversità, la difesa del mare e dell’ambiente costiero la prevenzione e protezione dall’inquinamento atmosferico, acustico ed elettromagnetico.

¹²⁴ Il contributo spettante ai comuni confinanti con quello nel cui territorio è ubicato il sito è calcolato in proporzione alla superficie e alla popolazione residente nel raggio di 10 chilometri dall’impianto.

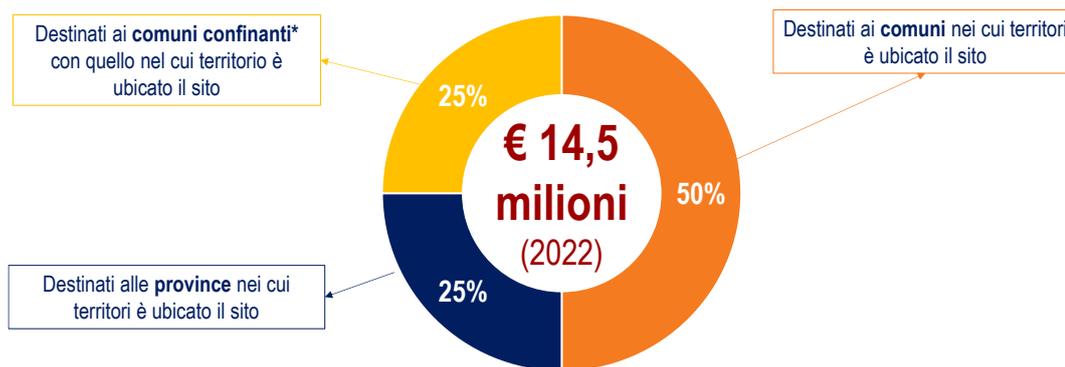


Figura 63. Ripartizione dei fondi erogati ai territori nei quali sono ubicati gli ex impianti nucleari (Euro), 2022. (*) Il contributo spettante ai comuni confinanti con quello nel cui territorio è ubicato il sito è calcolato in proporzione alla superficie e alla popolazione residente nel raggio di 10 chilometri dall'impianto. Fonte: elaborazione TEHA Group su dati MASE, 2024.

Il nuovo nucleare garantisce sicurezza rafforzata e agilità di installazione

180. In aggiunta agli impatti occupazionali e di valorizzazione territoriale derivanti dalla produzione di energia nucleare in un determinato territorio, **il nuovo nucleare garantisce sicurezza rafforzata e agilità di installazione**. Per quanto attiene all'aspetto sicurezza, infatti, gli impianti di piccola taglia (SMR) hanno **potenza del reattore inferiore** rispetto alle tecnologie tradizionali e una maggiore **quantità di refrigerante**, in grado di aumentare il **tempo a disposizione** degli operatori per poter intervenire in caso di necessità. Gli SMR sono, inoltre, dotati di soluzioni innovative per il **raffreddamento del nocciolo** in grado di limitare **gli interventi** da parte degli operatori in casi di emergenza. Inoltre, il **design semplificato** del reattore determina una minore necessità di componenti, **riducendo** quindi **le possibilità di guasto** delle parti più piccole.
181. Un ulteriore vantaggio delle nuove tecnologie riguarda la **gestione dei rifiuti nucleari**. I reattori di quarta generazione – tra cui gli AMR – prevedono l'utilizzo di diverse tipologie di combustibile, basati sui cicli uranio-plutonio ed uranio torio, nonché sul riutilizzo di **rifiuti nucleari recuperati**. La **diversificazione del tipo di combustibile** che potrà alimentare i reattori di quarta generazione consentirà di **ridurre ulteriormente la dipendenza energetica associata** alle tecnologie nucleari oltre a **chiudere il ciclo del combustibile**¹²⁵.
182. I rifiuti radioattivi ad alta attività a fine vita contengono una grande quantità di combustibile inutilizzato (uranio-238, uranio-235 e plutonio). La chiusura del ciclo del combustibile nei c.d. reattori veloci consente di bruciare (tramite fissione) i rifiuti

¹²⁵ Il ciclo chiuso del combustibile prevede il riprocessamento del combustibile esaurito e il riutilizzo del materiale fissile (uranio e plutonio) nella fabbricazione di nuovo combustibile.

nucleari prodotti ed estratti dai noccioli dei reattori **producendo nuova energia e riducendo i volumi di rifiuti che dovranno essere stoccati, oltre a ridurre di diversi ordini di grandezza i tempi di permanenza nei depositi, prima che ritornino al livello naturale di radioattività**. Mediante il ciclo chiuso del combustibile si riesce quindi a minimizzare la quantità di rifiuti radioattivi da stoccare a fine vita e a ridurre i loro livelli di radioattività.

Box 18. Il progetto PuMMA per lo studio della chiusura ciclo del combustibile

Il progetto **PuMMA (Plutonium Management for More Agility)**, cofinanziato dal programma di ricerca e formazione Euratom, si propone di valutare l'impatto dell'elevato contenuto di **plutonio** (circa il 40%) **sull'intero ciclo del combustibile nucleare dei reattori veloci**, sulla sicurezza e sulle prestazioni del reattore.

L'obiettivo del progetto è definire diverse opzioni per la gestione del plutonio nei reattori nucleari di IV generazione e di identificare scenari di integrazione della tecnologia con quelle attualmente in uso, per un **nucleare sempre più sostenibile**.

Lanciato nel 2020, la ricerca ha una durata di **48 mesi** e coinvolge **20 partner** provenienti da **12 Paesi europei**, tra cui **Enea per l'Italia**.

Tutti i reattori nucleari europei consumano uranio naturale (U) e producono plutonio (Pu), che può essere riciclato in combustibili MOX* per massimizzarne il potenziale energetico, **riducendo l'uso di risorse naturali e la radiotossicità dei rifiuti**. Mentre i reattori di II e III generazione consentono un solo ciclo di riutilizzo del combustibile esausto, **i reattori di IV generazione (AMR) possono supportare grandi quantità di plutonio e riciclarlo più volte**.

L'implementazione di reattori nucleari di IV generazione offre, quindi, la possibilità di aumentare significativamente la sostenibilità e le prestazioni dell'energia nucleare, consentendo il **riutilizzo dei combustibili usati (i rifiuti nucleari) e potenziando le prestazioni del combustibile**.

Per cogliere questa opportunità è necessario studiare ogni fase del ciclo del combustibile e l'impatto che si genera sugli impianti nucleari. Il progetto PuMMA mira, pertanto, a definire le possibili modalità di gestione del plutonio nei reattori di IV generazione e di studiarne l'impatto, anche in termini di sicurezza.

In questo progetto, il ruolo di ENEA consiste nell'implementare **attività di simulazione e modellistica** – oltre che sviluppo di analisi sperimentali – insieme ad altri 7 partner, per accrescere le conoscenze sul comportamento dei materiali utilizzati durante il funzionamento del reattore.

() Gli elementi di combustibile MOX sono composti da una miscela di ossido di uranio e ossido di plutonio.*

Fonte: elaborazione TEHA Group su dati PuMMA ed ENEA, 2024.

183. Inoltre, una caratteristica distintiva del nuovo nucleare – SMR e AMR – riguarda il loro *design* modulare, che ha il vantaggio di rendere possibile il **pre-assemblaggio dell'impianto in fabbrica**, limitando di fatto il **tempo di costruzione e il tempo di installazione** del reattore e riducendo l'impatto sul paesaggio legato a tali attività.
184. Infine, la taglia ridotta del nuovo nucleare rende possibile la collocazione dell'impianto in **spazi più piccoli, senza causare l'alterazione del paesaggio locale**. Il nuovo nucleare, infatti, presenta un **consumo di suolo 100 volte inferiore ad un impianto**

fotovoltaico utility-scale in termini di energia prodotta (0,04 m²/MWh_{anno} vs. 4,4 m²/MWh_{anno}). A confronto con un impianto CCGT, le dimensioni di un SMR risultano 2,4-5 volte superiori (2,4 nel caso di CCGT abbinato a CCS), con un consumo di suolo pari a 2 volte gli impianti CCGT in termini di energia prodotta (m²/MWh_{anno}).¹²⁶

185. Ulteriore vantaggio connesso al ridotto consumo di suolo delle nuove tecnologie nucleari riguarda la possibilità di ubicare facilmente gli impianti nei **siti** o nelle **vicinanze dei siti** delle **vecchie centrali in disuso** e all'interno dei **distretti industriali** (dove si concentra la domanda elettrica, limitando i vincoli della rete e riducendo il fabbisogno di nuove infrastrutture).

Box 19. I vantaggi degli impianti SMR in termini di tempi di realizzazione: le evidenze dalla letteratura scientifica

TEHA ha analizzato la letteratura scientifica rispetto ai benefici della modularità e la produzione in serie dei reattori nucleari, al fine di mapparne le implicazioni in termini di **riduzione dei tempi di costruzione**.

La riduzione dei tempi per gli SMR è determinata da una maggiore **modularità**, una **dimensione** più piccola, un **design** più semplice, la **fabbricazione in serie** dei componenti e la **standardizzazione**.

In particolare, la modularità consente che il lavoro e la fabbricazione, altrimenti eseguiti in loco, vengano **effettuati in fabbrica dove il processo di produzione standardizzato permette grandi margini di guadagno di tempo**.

Considerando un impianto SMR da 300 MW, la **modularizzazione massima efficace** – vale a dire la percentuale di componenti che possono essere trasferiti dalla fabbrica al luogo destinato all'impianto in moduli trasportabili su strada – è del **66%** (contro il solo 46% di un impianto di grandi dimensioni da 1.000 MW).

Considerando, quindi, il diverso livello di modularizzazione:

- per un impianto di grandi dimensioni (da 1.000 MW) la costruzione richiede circa 6,5 anni per essere completata, che si riduce a 5 anni se si applica la modularizzazione massima efficace del 46%;
- per un SMR (da 300 MW) i tempi di costruzione hanno una **media di 4,5 anni**. Se la modularità è applicata alla **quota massima di componenti** (66%), i tempi di costruzione previsti potrebbero **ridursi a 3,5-4 anni**.

Inoltre, nel caso degli SMR, i tempi sono **ulteriormente compressi grazie alle economie di learning**. Se per il FOAK (*first-of-a-kind*) si parla di 4,5 anni, **per il NOAK** (*nth-of-a-kind*) **i tempi scendono potenzialmente a 3,5 anni** (2,5 anni in meno rispetto ai 6 anni previsti per gli impianti di grandi dimensioni).

Fonte: elaborazione TEHA Group su fonti varie, 2024.

¹²⁶ L'analisi considera un impianto SMR da 340 MW con un'estensione totale di 12 ettari e circa 7.880 ore di funzionamento in un anno. Per un impianto fotovoltaico sono state considerate 1.800 ore di funzionamento ed un consumo di suolo di 0,8 ha per MW installato. Il confronto con le centrali a gas a ciclo combinato (CCGT) considera un impianto da 850 MW, un consumo di suolo di 6 ha e 3500 ore di funzionamento (stimate in prospettiva al 2035). Nel caso di un CCGT abbinato ad un sistema CCS, l'analisi ha considerato 7.000 ore di funzionamento e un'estensione dell'impianto di 11 ha. Fonte: dati interni Edison.

CAPITOLO 3

LE PROPOSTE DI *POLICY* PER LO SVILUPPO DEL NUOVO NUCLEARE IN ITALIA

188. I capitoli precedenti dello Studio hanno messo in luce gli sviluppi tecnologici legati al nuovo nucleare e i benefici attivabili grazie alla sua valorizzazione. Alla luce di queste considerazioni, emerge con chiarezza che promuovere lo sviluppo del nuovo nucleare in Italia richiede una **chiara visione industriale a medio-lungo termine**, in grado di **massimizzare i benefici per gli utenti finali e il sistema-Paese** e **valorizzare le competenze della filiera industriale e della ricerca** in Italia.

189. Il terzo capitolo del Rapporto Strategico passa in rassegna gli aspetti determinanti per favorire lo sviluppo del nuovo nucleare nel Paese. Nello specifico, il presente Capitolo si propone di analizzare:

- le principali **leve di sviluppo** - *supply chain* e competenze, modalità di finanziamento, *licensing* e *permitting* – in grado di **accelerare** il processo di implementazione del nuovo nucleare in Italia;
- i principali **fattori abilitanti** – *framework* regolatorio, gestione dei rifiuti nucleari e accettabilità sociale – che sono **necessari e decisivi** affinché il nuovo nucleare possa essere sviluppato in Italia.

Per promuovere lo sviluppo del nuovo nucleare in Italia e accelerare il percorso di decarbonizzazione è essenziale una **chiara visione industriale a medio-lungo termine**, in grado di **massimizzare i benefici e i risparmi per gli utenti finali e valorizzare le competenze della filiera industriale e della ricerca** in Italia



Figura 64. Gli ambiti di intervento per lo sviluppo del nuovo nucleare in Italia (illustrativo). Fonte: elaborazione di TEHA Group, 2024.

3.1 LE PRINCIPALI LEVE DI SVILUPPO PER IL SUCCESSO DEL NUOVO NUCLEARE

190. Al fine di massimizzare i benefici e le opportunità industriali del nuovo nucleare e promuovere il ruolo della filiera italiana, diventa essenziale elaborare una **chiara visione strategica di medio-lungo periodo** in grado di risolvere alcune criticità nello sviluppo del nuovo nucleare e sostenere la competitività industriale. L'inclusione del nuovo nucleare all'interno del PNIEC italiano rappresenta solo il primo passo verso lo

sviluppo dell'energia nucleare in Italia¹²⁷. Per concretizzare l'ipotesi scenariale prevista dal PNIEC, è fondamentale definire in questa fase un **piano di azione a livello politico e normativo**, coordinato a livello nazionale, senza il quale risulta difficile per gli attori della filiera italiana impegnarsi nella realizzazione di progettualità legate allo sviluppo del nuovo nucleare in Italia. In particolare, si evidenziano **tre leve principali di sviluppo** che l'Italia deve considerare se vuole giocare un ruolo da protagonista nella rinascita del nucleare in Europa: *supply chain* e competenze, modalità di finanziamento, *licensing* e *permitting*.

Supply chain e competenze

191. In un **contesto di forte competizione internazionale** che vede oggi Russia, Cina e Stati Uniti fare da capofila, il sostegno alla competitività della *supply chain* europea è fondamentale per accelerare lo sviluppo del nuovo nucleare in Europa e salvaguardare l'**indipendenza tecnologica** e la **sicurezza energetica**. La sotto-preparazione della filiera industriale europea, a causa del limitato sviluppo del nucleare negli ultimi decenni, è infatti una delle principali cause dei ritardi nella costruzione delle nuove centrali. A titolo esemplificativo, a gennaio 2024 l'autorità di regolazione francese (ASN) denunciava come la **conoscenza limitata da parte dei fornitori sui requisiti e protocolli tecnici** fosse uno dei principali ostacoli alla costruzione della centrale di Flamanville in Francia.

192. Soprattutto nel caso del nuovo nucleare, la competitività della *supply chain* è un fattore determinante per abilitare le economie di scala e massimizzare i benefici per la decarbonizzazione e il sistema-Paese. La **modularizzazione e semplificazione del design**, la **produzione industriale in serie** e la **standardizzazione a livello europeo** saranno i tre **driver economici chiave** per ridurre i costi e i tempi di *licensing* e di costruzione del nuovo nucleare, amplificando i benefici in termini di competitività dei prezzi energetici. Le **economie di scala** saranno infatti il fattore decisivo per lo sviluppo del nuovo nucleare dal modello dimostrativo alla **commercializzazione su larga scala** al fine di massimizzare i vantaggi economici e rendere più conveniente l'energia prodotta dal nuovo nucleare.

¹²⁷ Per un approfondimento del ruolo del nuovo nucleare previsto dal PNIEC italiano, si rimanda all'introduzione del capitolo 2 del presente Rapporto Strategico.



Figura 65. I 3 *driver* chiave per abilitare le economie di scala e ottimizzare i costi e tempi di costruzione del nuovo nucleare (illustrativo), 2024. Fonte: TEHA Group, 2024.

193. Il rafforzamento della competitività della filiera industriale del nucleare è influenzato anche dal **processo di specializzazione** richiesto per aderire alla *supply chain* di un progetto nucleare, che risulta **complesso e oneroso per le singole imprese**. Gli elevati livelli di sicurezza garantiti nella costruzione di una nuova centrale richiedono infatti un processo di omologazione della produzione a **protocolli e standard specifici** per il settore dell'energia nucleare. Per accelerare lo sviluppo di una tecnologia europea sarà dunque fondamentale il **sostegno nazionale e dell'Unione Europea** nel medio-lungo termine. Uno **sviluppo pianificato**, inserito in un quadro normativo stabile e armonizzato a livello europeo, è infatti un prerequisito per abilitare i benefici della produzione in serie, garantendo un **outlook stabile del mercato europeo** per il nuovo nucleare nei prossimi decenni tale da **consentire una pianificazione industriale** adeguata a sostenere la capacità produttiva e la competitività industriale della filiera europea. In particolare, il ruolo dei Governi europei sarà determinante per sostenere la competitività della filiera industriale in diversi modi, come ad esempio l'introduzione di incentivi e meccanismi di supporto agli investimenti per stimolare l'innovazione industriale o la predisposizione di un piano di sviluppo delle competenze con una visione estesa a tutte le figure professionali necessarie per un programma nucleare.
194. Il finanziamento e sostegno nazionale, supportato da una chiara visione strategica a medio-lungo termine, è infatti in grado di influenzare significativamente la competitività della *supply chain* e accelerare lo sviluppo del nuovo nucleare. In questo contesto, sarà determinante valorizzare la **cooperazione e le sinergie a livello europeo all'interno dell'Alleanza industriale europea degli SMR**, che coinvolge aziende, istituzioni e centri di ricerca di oltre 20 Paesi europei (Figura 68). L'iniziativa, avviata a marzo 2024, mira ad accelerare lo sviluppo di reattori modulari con **tecnologia europea** e promuovere un **Programma europeo comune sugli SMR**.



Figura 66. Paesi che partecipano all'Alleanza industriale europea sugli SMR (illustrativo), 2024. Fonte: TEHA Group, 2024.

195. Ad **aprile 2024**, anche **l'Italia ha aderito all'Alleanza industriale sugli SMR**, muovendo i primi passi per valorizzare il contributo della filiera italiana nello sviluppo del nuovo nucleare. Il ruolo centrale dell'Italia è evidenziato dall'**elevata adesione delle aziende italiane all'Alleanza Industriale Europea**, seconde per numero solo alla Francia. Come evidenziato nel capitolo 2.1.3 dello Studio, la filiera industriale italiana dimostra ancora oggi **competenze lungo quasi tutta la supply chain** del nucleare. L'Italia rappresenta infatti un **unicum** in questo settore: nonostante il mancato sviluppo del nucleare dalla fine degli anni '80, il Paese si posiziona 15° a livello globale e 7° in UE-27 per *export* di componenti nucleari tra il 2018 e il 2022. Inoltre, l'Italia dispone di un **sistema di ricerca all'avanguardia** con diversi centri di eccellenza, tra cui il Centro ENEA di Brasimone, e numerose facoltà di ingegneria nucleare presenti su tutta la penisola.
196. Come evidenzia la Figura 69, oggi l'Italia rappresenta infatti l'unico Paese a produrre volumi rilevanti di ricerca pur non avendo centrali nucleari attive¹²⁸. Inoltre, tra questi Paesi, la **ricerca italiana risulta essere tra le più influenti**, con una media delle citazioni per pubblicazione (5,7) seconda solo a quella del Regno Unito (7,6). Tuttavia, per accelerare lo sviluppo del nuovo nucleare in Italia, è necessario promuovere la **formazione delle competenze a tutti i livelli**, sia universitario che professionale, individuando le aree più carenti su cui intervenire per garantire competenze in numero adeguato. La pianificazione a medio-lungo termine e la necessità di coordinare lo sviluppo dell'intera *supply chain* e del capitale umano evidenzia l'importanza di un **approccio sistemico** che integri politiche industriali e di finanziamento, per cogliere i benefici sistemici del nuovo nucleare per il sistema-Paese, la filiera italiana e i cittadini.

¹²⁸ Il confronto non considera la Germania tra i Paesi senza nucleare dato che, nel periodo di riferimento (2021-2023), il Paese aveva ancora dei reattori nucleari operativi.

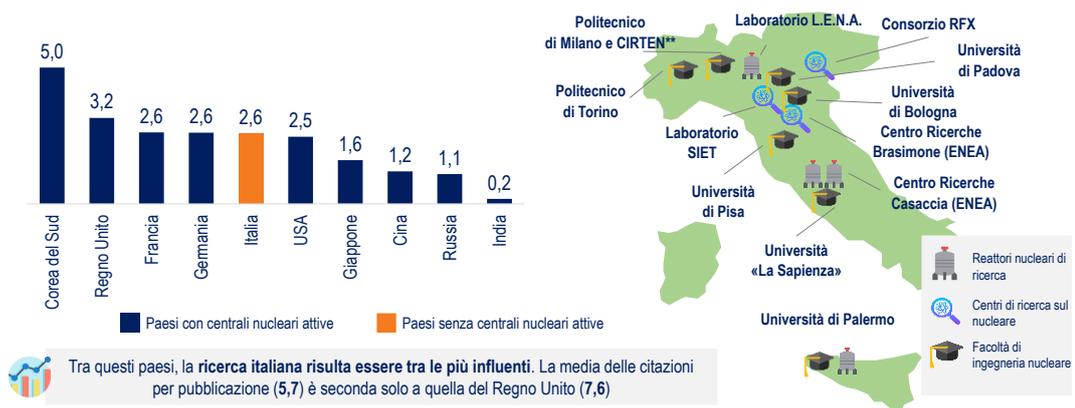


Figura 67. Pubblicazioni scientifiche in ingegneria nucleare per volume di ricerca sul tema tra il 2021 e il 2023 (grafico a sinistra, pubblicazioni per 100.000 abitanti) e principali centri di ricerca e facoltà di ingegneria nucleare in Italia (grafico a destra, illustrativo), 2024. Fonte: TEHA Group, 2024.

Le proposte di policy per lo sviluppo del nuovo nucleare in Italia: supply chain e competenze

197. Alla luce di quanto discusso nel presente paragrafo si propone di:

- elaborare un **piano industriale con una visione a medio-lungo periodo** (2030, 2040 e 2050) per sostenere lo sviluppo e la specializzazione della filiera industriale italiana attraverso la **partecipazione a programmi internazionali con gli altri Stati europei**. La centralità delle economie di scala per lo sviluppo del nuovo nucleare evidenzia infatti la necessità di promuovere un **unico mercato europeo**, in quanto i singoli mercati nazionali non consentirebbero livelli adeguati di domanda per supportare la produzione in serie e la competitività industriale a livello internazionale. Nella fase iniziale di pianificazione del programma nucleare italiano, un'analisi approfondita delle specializzazioni e competenze della filiera italiana è fondamentale per individuare le aree più strategiche in cui l'Italia può crescere e i **gap da colmare**, valorizzando le potenziali **sinergie** all'interno della filiera nucleare italiana;
- definire un **System Integrator nazionale** che coordini l'organizzazione della *supply chain* italiana. Il coordinamento della *supply chain* è infatti fondamentale per promuovere un disegno industriale condiviso che supporti il ruolo della filiera italiana come attore primario nella fornitura della componentistica e dell'assemblaggio dei moduli della prima serie di impianti del nuovo nucleare (FOAK, *First-of-a-kind*) e dei successivi in Europa;
- introdurre **meccanismi di supporto agli investimenti pubblici e privati** (es. defiscalizzazione e incentivi) per stimolare l'**innovazione industriale** e accrescere la capacità produttiva. Il finanziamento e sostegno statale per lo sviluppo di distretti industriali specializzati nel nucleare possono incoraggiare le aziende a investire maggiormente nel settore. Inoltre, le garanzie statali sui prestiti possono

ridurre sensibilmente il rischio per gli investitori privati, creando un ambiente più favorevole agli investimenti privati;

- **sostenere la ricerca e la formazione di capitale umano**, valorizzando le competenze avanzate della ricerca e delle Università italiane nella fissione e fusione nucleare e la cooperazione dell'Italia nei progetti di ricerca internazionali. Monitoraggio e pianificazione non devono focalizzarsi esclusivamente sull'alta formazione ma sostenere lo **sviluppo dell'intera filiera delle competenze**, a cominciare dalle scuole professionali, dove nascono figure come quella dei saldatori che possono rivelarsi critiche da reperire. Le sinergie tra la filiera industriale e i centri di ricerca possono essere valorizzate mettendo a disposizione strutture per la qualifica dei componenti presso i centri nazionali di R&S (es. ENEA, SIET) e presso le Università, elementi essenziali per la promozione dell'innovazione di prodotto e per la formazione di competenze specialistiche;
- fornire un **outlook stabile del mercato europeo** del nuovo nucleare a medio-lungo termine, supportato da un **quadro normativo chiaro e prevedibile**, per consentire una pianificazione industriale adeguata.

Modalità di finanziamento

198. Il finanziamento per lo sviluppo del nuovo nucleare è un altro elemento centrale da considerare in una strategia a medio-lungo termine. Essendo il nuovo nucleare una **tecnologia innovativa** e in fase di sviluppo, diventa infatti fondamentale introdurre adeguati **meccanismi di finanziamento e sostegno** per accelerare lo sviluppo di una tecnologia europea, creando un **ambiente favorevole agli investimenti privati** e supportando la competitività industriale della filiera europea.
199. Soprattutto nelle fasi iniziali, il sostegno e le sovvenzioni pubbliche sono fondamentali per accelerare lo sviluppo dei primi modelli dimostrativi e facilitare il passaggio alla fase di commercializzazione su larga scala. Sebbene il nuovo nucleare sia una tecnologia innovativa, le economie di scala garantite dalla modularità e la standardizzazione degli impianti che dovrà essere sviluppata a livello comunitario consentiranno infatti una **riduzione significativa dei costi** del nuovo nucleare¹²⁹.
200. In relazione alle diverse modalità di finanziamento, si delineano due modelli principali di potenziale intervento statale per ottimizzare i costi di sviluppo e valorizzare il ruolo potenziale del nuovo nucleare per la decarbonizzazione:
- **finanziamento pubblico**: il governo finanzia direttamente il progetto attraverso fondi pubblici e l'emissione di debito, garantendo tassi di interesse agevolati. I casi

¹²⁹ Per un maggiore approfondimento sulla competitività dei costi del nuovo nucleare per la decarbonizzazione si rimanda al capitolo 2.2. del presente Rapporto Strategico.

più esemplificativi sono quelli di Russia e Cina che finanziano in questo modo anche la costruzione di centrali nucleari in Paesi terzi;

- **finanziamento privato:** il progetto viene finanziato da società private attraverso capitale proprio (*equity*) e di debito a tassi di interesse più elevati. Anche in questo caso, il sostegno dello Stato può essere determinante attraverso accordi di partenariato pubblico-privato (PPP), garanzie statali sui prestiti e sistemi di incentivo sull'energia prodotta.

201. Parallelamente, un'altra area di intervento statale fondamentale per lo sviluppo del nuovo nucleare riguarda i **sussidi alla domanda**, garantendo meccanismi di sostegno ai prezzi di vendita dell'energia prodotta dal nuovo nucleare al fine di **ridurre la volatilità dei flussi di cassa futuri** e garantire la **sostenibilità finanziaria degli investimenti**. I costi di finanziamento di un progetto energetico e infrastrutturale sono infatti altamente dipendenti dalle aspettative dei flussi di ricavi futuri. In questo contesto, la **prevedibilità dei prezzi di vendita dell'elettricità a medio-lungo termine** è essenziale **per garantire l'accesso a finanziamenti agevolati** e proteggere gli investitori dalla volatilità dei prezzi del mercato elettrico, consentendo di ridurre ulteriormente i costi di costruzione.

202. Come per le fonti rinnovabili, i principali strumenti contrattuali a lungo termine impiegati a livello internazionale sono i **Power Purchasing Agreements (PPA)** e i **Contratti Bilaterali per Differenza (Cfd)**. Con l'obiettivo di garantire la competitività dei prezzi energetici del nuovo nucleare e favorire l'interesse degli investitori privati, queste due tipologie di contratto dovranno essere **utilizzate in parallelo**, e non l'una a discapito dell'altra.

- **Power Purchase Agreement (PPA):** contratti di acquisto di energia elettrica a lungo termine stipulati tra un produttore di energia rinnovabile e un'azienda. I contratti possono durare da 5 ad oltre 20 anni, durante i quali l'acquirente può contare generalmente su un **prezzo fisso pre-negoziato**. In questo modo è possibile ridurre i rischi legati alla volatilità del mercato elettrico e assicurare una fornitura di energia ad un prezzo fisso.
- **Contratti Bilaterali per Differenza (Contracts for Difference - Cfd):** contratti a lungo termine (intorno ai 15-20 anni) stipulati da enti pubblici e produttori, per la stabilizzazione entro certi limiti del prezzo di mercato dell'energia. Tali contratti vengono assegnati tramite aste competitive e si basano su una differenza tra il prezzo di mercato e un "prezzo di esercizio" concordato nella gara stessa.
- **Modelli di equity con diritto di acquisto dell'energia** generata dall'impianto per promuovere un ambiente favorevole agli investimenti privati, garantendo l'approvvigionamento a medio-lungo termine di energia decarbonizzata a prezzi competitivi. Ad esempio, nel caso della centrale Olkiluoto 3 in Finlandia, un consorzio di aziende elettrivore ha partecipato con il 25% di *equity* al

finanziamento del progetto a fronte di un successivo diritto ad acquistare l'energia prodotta al costo di produzione dell'impianto.

Le proposte di policy per lo sviluppo del nuovo nucleare in Italia: modalità di finanziamento

203. Alla luce di quanto discusso nel presente paragrafo si propone di:

- fornire un adeguato **sostegno pubblico allo sviluppo del nuovo nucleare in Italia**, diversificato tra impianti FITC (*first-in-the-country*) e NOAK (*nth-of-a-kind*), ispirandosi anche ai meccanismi messi in pratica in altri paesi europei, quali:
 - **gestione dei rischi del FITC** (rischio di *cost* e *time overrun*) attraverso un meccanismo di condivisione del rischio in fase di costruzione (es. remunerazione a RAB già in fase di costruzione)
 - **finanziamento ponte a tassi agevolati** nella fase di costruzione di una **prima serie di impianti del nuovo nucleare** (es. *government loan* fino al 50% dell'investimento da convertire in *equity* di terze parti e/o finanziamento da terze parti dopo l'avvio della centrale) abbinato al meccanismo di CfD che dia maggiore sicurezza sul ritorno degli investimenti a partire dall'entrata in funzione della centrale, per favorire gli investimenti privati nello sviluppo del nuovo nucleare in Italia e raggiungere un significativo contributo del nucleare alla generazione elettrica;
- promuovere l'utilizzo di **fondi comunitari europei** (sostenuti dagli Stati che aderiscono all'Alleanza UE per l'energia nucleare) per sostenere uno sviluppo comune del nuovo nucleare a livello europeo;
- garantire **meccanismi stabili dei prezzi di vendita dell'energia nucleare a medio-lungo termine**, agevolando strumenti come i *Power Purchase Agreements* (PPA) e i *Contracts for Difference* (CfD).

Licensing e permitting

204. I rallentamenti nelle procedure autorizzative rappresentano un ostacolo alla realizzazione di opere infrastrutturali rilevanti per il sistema-Paese e ne precludono la realizzazione in tempi rapidi. In questi termini, **il licensing e il permitting sono elementi critici da attenzionare per promuovere lo sviluppo del settore nucleare in Italia.**

205. Il *licensing*, o processo di autorizzazione, è un **insieme di procedure normative necessarie per garantire che gli impianti nucleari rispettino i requisiti di sicurezza, protezione ambientale e conformità tecnica.** Questo processo è cruciale perché assicura che le operazioni siano condotte in modo sicuro, minimizzando i rischi per la popolazione e l'ambiente. A tal fine, è fondamentale promuovere la cooperazione a livello europeo per definire un **pre-licensing congiunto e armonizzato tra le agenzie regolatrici nucleari dei diversi Stati europei.** Questo tipo di collaborazione

consentirebbe di armonizzare gli *standard* e le pratiche, promuovendo una maggiore **standardizzazione dei requisiti di sicurezza e prestazioni a livello continentale**, elemento centrale per abilitare le economie di serie e massimizzare i benefici del nuovo nucleare, sia in termini di tempo che in termini di costi, assicurando al contempo una maggiore prevedibilità per gli investitori.

206. A tal fine, l'adesione alle **Joint Early Reviews**¹³⁰ a livello europeo permetterebbe all'Italia di inserirsi e contribuire alla creazione di un *framework* europeo comune di *pre-licensing* finalizzato proprio a ridurre i tempi di realizzazione delle opere. In questo contesto, la creazione di una **Autorità di Sicurezza nazionale** è fondamentale per lo sviluppo del nuovo nucleare in Italia al fine di garantire il rispetto dei più elevati *standard* di sicurezza, conformarsi alle normative internazionali e assicurare un controllo rigoroso sulle operazioni, minimizzando i rischi per la popolazione e l'ambiente. Tale autorità funge da organismo indipendente, responsabile della regolamentazione, supervisione e gestione delle criticità legate all'energia nucleare.

207. Per quanto riguarda il *permitting*, a livello europeo un esempio virtuoso è offerto dal **Net Zero Industry Act (NZIA)**, il quale prevede la **semplificazione ed accelerazione dei tempi di autorizzazione** per i progetti energetici *low-carbon* e **stabilisce i tempi massimi per l'autorizzazione** dei progetti a seconda della tipologia e della loro portata. In particolare:

- il termine massimo previsto per il rilascio di un'autorizzazione per la costruzione o l'espansione di grandi progetti (**infrastrutture sopra 1 GW**) di produzione di tecnologie net zero è **di 18 mesi**;
- il termine massimo per il rilascio dei permessi autorizzativi per i progetti più piccoli (**infrastrutture sotto 1 GW**) – **che include anche il nuovo nucleare** – è di **12 mesi**.

208. Tali tempi sono ulteriormente ridotti per le opere considerate **strategiche**. Infatti, il Net Zero Industry Act propone di dare priorità ai **progetti strategici Net-Zero**, che includono le opere considerate essenziali per rafforzare la resilienza e la competitività dell'industria dell'UE e che permettono di raggiungere il *net zero* al 2050, tra le quali **dovrebbe ricadere anche il nuovo nucleare**.

209. A livello nazionale, anche in Italia recentemente si è assistito ad una **riduzione dei tempi autorizzativi** per le opere considerate di rilevanza strategica nazionale, come dimostrato dal caso del rigassificatore di Piombino.

¹³⁰ Le *Joint Early Reviews* (JER) sono revisioni congiunte tra regolatori e sviluppatori, effettuate nelle fasi iniziali dei progetti per identificare e risolvere precocemente potenziali problemi. Queste revisioni accelerano i tempi di approvazione grazie all'armonizzazione internazionale, che permette di allineare i requisiti normativi tra diversi Paesi, riducendo duplicazioni e facilitando l'adozione di *standard* comuni.

Box 20. Accelerazione del *permitting* nei progetti di rilevanza strategica nazionale: il caso del rigassificatore di Piombino

Con l'inizio dell'emergenza sul mercato del gas a seguito dello scoppio del conflitto russo-ucraino, il **gas naturale liquefatto** (GNL) è diventato una **risorsa strategica** per l'approvvigionamento energetico nazionale. Nel 2022, infatti, il gas importato sotto forma di GNL ha rappresentato il 18,8% del gas immesso nella rete nazionale e nel 2023 ha raggiunto circa il 25%.

Per far fronte alla crisi energetica generata dal conflitto in Ucraina, a giugno del 2022, Snam ha acquistato – per 330 milioni di Euro – la **nave rigassificatrice Golar Tundra** (di recente rinominata **Italis LNG**). Si tratta di un rigassificatore galleggiante o FSRU (Floating Storage and Regasification Unit) lungo 293 metri e largo 47, utilizzabile sia come metaniera adibita al trasporto di gas liquefatto, sia come impianto di rigassificazione da posizionare in un porto.

La nave può immagazzinare circa 170 mila metri cubi di gas liquefatto e ha una capacità di rigassificazione di 5 miliardi di metri cubi l'anno, una quantità pari a circa **un sesto dei volumi importati mediamente negli ultimi anni dalla Russia e all'8% del fabbisogno nazionale**.

Trattandosi di un'**opera di carattere strategico**, per velocizzare le pratiche burocratiche e garantire l'operatività della nave in tempi brevi, il Governo ha esentato dall'obbligo di procedere a una Valutazione di Impatto Ambientale (VIA) e ridotto i tempi delle procedure amministrative. In definitiva, riconoscendo al progetto **un'importanza strategica** per il sistema-Paese, l'installazione della nave rigassificatrice ha goduto di un **iter autorizzativo semplificato e accelerato** e un **forte snellimento burocratico** concludendosi in **tempi strettissimi – meno di due anni tra l'annuncio di Mario Draghi e l'arrivo a Piombino**.

Infatti:

- **a soli 4 mesi dall'acquisto della nave**, a ottobre 2022, il presidente della Toscana e commissario straordinario all'opera ha firmato l'autorizzazione a Snam per il posizionamento della nave Golar Tundra (ora Italis LNG) nel porto di Piombino;
- **già a luglio 2023, la nave è entrata ufficialmente in funzione nel porto di Piombino** con l'arrivo della prima nave metaniera e il primo carico di GNL;
- **in meno di 1 anno di operatività** la nave ha ricevuto 29 carichi di GNL, provenienti da cinque Paesi diversi, per un totale di 2,6 miliardi di metri cubi di gas immessi nella rete nazionale.

In questo contesto, vanno infine considerati gli impatti che si generano a fronte della realizzazione di un progetto strategico. *In primis*, con il memorandum approvato dalla Giunta regionale toscana, è stato previsto un **piano di compensazioni** per garantire uno **sconto di almeno il 50% in bolletta per tre anni** per i Comuni di Piombino, Campiglia Marittima, San Vincenzo e Suvereto. Inoltre, sono state predisposte **bonifiche delle falde inquinate** dal valore di 200 milioni di Euro, la realizzazione della **strada di collegamento** con il porto SS398 dal costo di 115 milioni di Euro e la **creazione di un parco delle energie rinnovabili da 100 milioni**.

Fonte: elaborazione TEHA Group su dati Snam e altre fonti, 2024.

Le proposte di policy per lo sviluppo del nuovo nucleare in Italia: licensing e permitting

210. Alla luce di quanto discusso nel presente paragrafo si propone di:

- inserire i progetti di centrali del nuovo nucleare tra le **opere prioritarie e strategiche** al fine di velocizzarne la messa a terra;
- adottare un **modello efficiente di partenariato pubblico-privato** per lo sviluppo del «nuovo nucleare» in quanto di interesse strategico nazionale prioritario;
- aderire alle **Joint Early Reviews** per contribuire alla creazione di un *framework* europeo comune di *licensing* al fine di ridurre i tempi di realizzazione delle opere.

211. A livello europeo, infine, si propone di:

- **considerare il nuovo nucleare come strategico ai fini della classificazione dello NZIA** in modo da beneficiare di un **percorso autorizzativo ad hoc e accelerato**, con tempi di autorizzazione massimi inferiori ai 12 mesi.
- favorire **percorsi di pre-licensing congiunto tra le agenzie regolatrici europee** al fine di aumentare l'armonizzazione regolatoria, la standardizzazione dei requisiti ed abilitare le economie di serie degli SMR.

3.2 I PRINCIPALI FATTORI ABILITANTI PER LO SVILUPPO DEL NUOVO NUCLEARE

212. Lo sviluppo in Italia nel settore dell'energia nucleare richiede un approccio integrato e l'implementazione di una serie di azioni – che tengano conto sia degli aspetti tecnici che di quelli sociali – che devono essere implementate nel breve-medio periodo. In particolare, i **fattori che abilitano la possibilità di rilanciare l'energia nucleare in Italia** si riferiscono a:

- definizione di un **framework regolatorio** solido e completo;
- sviluppo di soluzioni per la **gestione dei rifiuti radioattivi**;
- promozione e diffusione di una comunicazione efficiente e di una cultura informata per raccogliere consensi e **accettabilità sociale** sul tema.

Framework regolatorio

213. Il ritorno del nucleare in Italia rappresenta una sfida non solo tecnologica ed economica, ma anche normativa e legislativa. La creazione di un **quadro giuridico solido e completo** è un prerequisito essenziale per qualsiasi sviluppo nel settore dell'energia nucleare. Questo *framework* non solo garantisce la sicurezza e la trasparenza delle operazioni, ma pone anche le basi per una maggiore accettazione sociale di questa tecnologia.

214. L'implementazione di un programma nucleare richiede un'attenta considerazione del contesto storico, inclusi gli esiti dei precedenti *referendum*, necessita di una serie di passaggi legislativi e istituzionali ben definiti. Dalla costituzione di **organi regolatori specializzati** all'**adesione a trattati internazionali**, ogni elemento del quadro normativo gioca un ruolo cruciale nel determinare la fattibilità e il successo di un eventuale ritorno al nucleare.
215. L'Italia ha una **storia particolarmente complessa e travagliata** per quanto riguarda gli aspetti giuridici dell'energia nucleare, **segnata da due referendum abrogativi**¹³¹ che hanno avuto un impatto significativo sulla politica energetica del Paese. Il primo *referendum*, tenutosi nel **novembre 1987**, appena un anno e mezzo dopo l'incidente di Chernobyl, **portò all'abrogazione di norme che favorivano la costruzione di centrali nucleari sul territorio nazionale e non solo**. Il secondo, svoltosi nel **giugno 2011**, solo tre mesi dopo l'incidente di Fukushima, **abrogò le disposizioni legislative che avevano aperto la strada a un possibile ritorno al nucleare**. In entrambi i casi, la prossimità temporale con gravi incidenti nucleari ha influenzato fortemente l'opinione pubblica, creando un **clima di preoccupazione e scetticismo** che ha portato a decisioni con un impatto duraturo sulla politica energetica italiana.

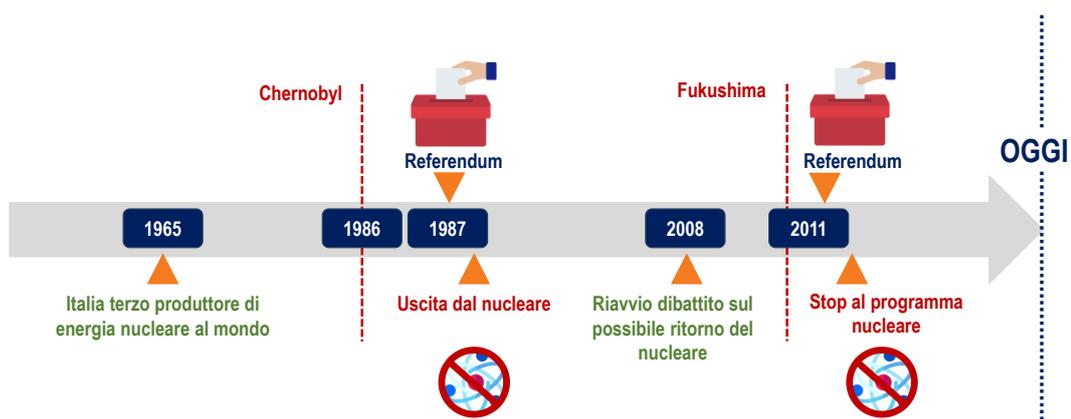


Figura 68. Timeline dell'esperienza italiana con l'energia nucleare (illustrativo). Fonte: TEHA Group su dati Governo italiano e fonti varie, 2024.

216. Dal punto di vista legale, **i risultati dei referendum del 1987 e del 2011 non precludono tuttavia in alcun modo lo sviluppo futuro del nucleare in Italia**. Trattandosi di *referendum* abrogativi, infatti, non costituiscono un impedimento ad attività future, ma si limitano ad abrogare decreti vigenti al momento del voto. Con la sentenza n.199 del 2012, la Corte Costituzionale ha, infatti, chiarito che **la reviviscenza della normativa** – ovvero la ripresa di vigore della situazione giuridica sospesa, in questo caso da un *referendum* – è possibile in caso di **mutamento delle "circostanze di fatto"** oppure in caso di **mutamento del "quadro politico"**.

¹³¹ Il referendum abrogativo, previsto dall'Art. 75 della Costituzione italiana, mira ad annullare in modo totale o parziale una legge ordinaria oppure un atto avente forza di legge (decreto legislativo o decreto-legge).

217. L'attuale cornice giuridica non presenta dunque alcun vincolo o impedimento all'avvio di un programma di ritorno al nucleare in Italia, e non è quindi necessario un **referendum per “ribaltare” gli esiti** di quelli tenutisi nel 1987 e nel 2011. Per procedere nello sviluppo del nuovo nucleare appare quindi “sufficiente” che venga seguito un normale *iter* legislativo. In altre parole, **l'attuale quadro giuridico è neutrale rispetto all'uso di energia nucleare sul territorio nazionale** e non presenta alcun vincolo rafforzativo o impedimento all'avvio di un programma di ripresa del nucleare in Italia.
218. Allo stesso tempo, è bene evidenziare come – per raggiungere l'obiettivo di avviare la cantierizzazione del primo SMR in Italia entro il 2030 – sia importante avviare immediatamente la **definizione di un quadro giuridico adeguato**. Riconoscendo l'urgenza di questa sfida, **il Governo italiano ha intrapreso le prime azioni concrete** dirette all'identificazione di modelli di *governance* e al quadro legislativo¹³². Si tratta di un percorso ambizioso, con durata indicata dallo stesso Governo come non inferiore ai **3-4 anni per la costruzione del framework giuridico necessario**.
219. Sulla base delle linee guida internazionali¹³³, i passaggi fondamentali che l'Italia dovrà seguire nei prossimi anni sono sostanzialmente tre: la **costituzione di una NEPIO** (*Nuclear Energy Programme Implementing Organization*), l'istituzione di **un'agenzia regolatoria** e la definizione del **quadro giuridico** dal punto di vista nazionale e internazionale. Questi tre elementi costituiscono la **base essenziale per un ritorno sicuro e regolamentato all'energia nucleare in Italia**, ponendo le fondamenta per un futuro energetico che includa questa tecnologia nel *mix* nazionale.

¹³² In affiancamento alla Piattaforma Nazionale per un Nucleare Sostenibile, il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica ha di recente costituito un gruppo di alto livello per ridisegnare l'ambito legislativo, normativo e di *governance* del sistema regolatorio italiano, per accogliere un eventuale programma di ripresa della produzione nucleare in Italia.

¹³³ IAEA, 2024.



Figura 69. Timeline di un eventuale ritorno all'energia nucleare rispetto ai passaggi normativo-legislativi necessari (illustrativo). Fonte: TEHA Group su dati Governo italiano e fonti varie, 2024.

220. La NEPIO si configura come una **cabina di regia per l'attuazione del programma di sviluppo delle infrastrutture per l'energia nucleare**. Può essere composta da esperti del settore indicati dal Governo e personale dei ministeri coinvolti. Ha il compito di **coordinare tutti i soggetti pubblici e privati** coinvolti nel programma – tra i quali gli operatori delle centrali, l'agenzia regolatrice e i ministeri competenti – al fine di garantirne una pianificazione e un'esecuzione coordinata. Si tratta, quindi, di un organo imprescindibile nelle prime fasi dell'avvio di un programma nucleare.

221. Secondo l'International Atomic Energy Agency (IAEA), i principali compiti della NEPIO sono i seguenti:

- **designazione di un ente regolatore indipendente** con autorità chiara, risorse umane e finanziarie adeguate;
- **assegnazione delle funzioni regolatorie** per la sicurezza, le salvaguardie, la creazione di regolamenti, l'autorizzazione e l'ispezione;
- definizione della **natura della relazione dell'ente regolatore** con le altre organizzazioni;
- definizione delle **responsabilità dei gestori** (licenziatari) delle centrali nucleari;
- implementazione degli **obblighi internazionali**, comprese le salvaguardie della IAEA;
- **coinvolgimento degli stakeholder** e comunicazione con il pubblico.

222. La designazione di un'**agenzia regolatrice** rientra quindi tra le responsabilità della NEPIO ed è un attore fondamentale per tutti i Paesi che scelgono di puntare sull'energia nucleare. L'agenzia regolatrice svolge un ruolo fondamentale nel **garantire la sicurezza, l'efficienza e la conformità alle normative del programma nucleare nazionale**. Per poter assolvere ai suoi compiti è essenziale che sia dotata di **risorse e competenze adeguate**, e altrettanto importante è garantirne l'**indipendenza**.

223. L'Italia dispone già di un organo specialistico preposto alla Sicurezza Nucleare, l'ISIN (Istituto Nazionale per la Sicurezza Nucleare), attualmente impegnato prevalentemente nella sorveglianza delle attività di smantellamento delle *facilities* nucleari e di stoccaggio dei rifiuti nucleari: è comunque necessario rivederne funzioni, organizzazione, *staffing*¹³⁴ e risorse economiche per renderlo adeguato alla gestione di un programma di costruzione ed esercizio di nuove centrali.



Figura 70. Schema di sintesi della possibile *governance* di un programma di ritorno al nucleare nelle fasi iniziali (illustrativo).
Fonte: elaborazione TEHA Group su fonti varie, 2024.

224. L'agenzia regolatrice svolge anche un ruolo fondamentale nella **supervisione** e nella **gestione** delle attività connesse al programma nucleare, con responsabilità che coprono l'intero ciclo di vita delle centrali. Innanzitutto, definisce i **requisiti per la localizzazione delle centrali nucleari**, assicurando che vengano rispettati rigorosi criteri di sicurezza e ambientali. Parallelamente, stabilisce i **parametri per l'approvazione dei progetti** e implementa un **processo di licenza trasparente e rigoroso**.

225. Un aspetto cruciale del suo mandato è la **regolamentazione dell'intero ciclo del materiale fissile**, dall'importazione all'utilizzo finale. Questo include la definizione di protocolli stringenti per la protezione del materiale durante tutte le fasi, dal trasporto allo stoccaggio, garantendo la massima sicurezza e prevenendo potenziali usi impropri.

226. La **preparazione alle emergenze** è un altro compito fondamentale dell'agenzia. Sviluppa, infatti, piani di risposta sia a livello locale che nazionale, garantendo una reazione rapida ed efficace in caso di incidenti. Inoltre, l'agenzia svolge un ruolo chiave nella **certificazione del personale**, assicurando che **solo operatori altamente qualificati lavorino nelle strutture nucleari**. Per mantenere un controllo costante e garantire il rispetto delle normative, è anche responsabile di condurre regolarmente ispezioni approfondite in tutte le fasi delle attività nucleari.

227. Un ultimo importante aspetto per l'adeguamento del *framework* giuridico italiano riguarda l'**adesione ai trattati internazionali in tema di nucleare civile**. Avviare un programma nucleare rappresenta una **responsabilità verso la popolazione, ma anche verso la comunità internazionale**. Secondo le linee guida della IAEA, è importante

¹³⁴ Per quanto riguarda l'organico, l'Italia può attingere anche dalle competenze di SOGIN (Società Gestione Impianti Nucleari).

aderire a 12 trattati internazionali sull'uso del materiale fissile. L'Italia aderisce già a molti di questi (**75%** del totale), tra cui la non proliferazione delle armi nucleari e altri aspetti della sicurezza nucleare. L'adesione anche ai rimanenti tre trattati segnalerebbe un impegno da parte del Paese a intraprendere con determinazione un percorso verso l'energia nucleare.

1. **Convention on Early Notification of a Nuclear Accident**
2. **Convention on Assistance in the Case of a Nuclear Accident or Radiological Emergency**
3. **Convention on Nuclear Safety**
4. **Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management**
5. **Convention on the Physical Protection of Nuclear Material and Amendment thereto**
6. **Vienna Convention on Civil Liability for Nuclear Damage**
7. **Protocol to Amend the Vienna Convention on Civil Liability for Nuclear Damage**
8. Convention on Supplementary Compensation for Nuclear Damage
9. **Joint Protocol Relating to the Application of the Vienna Convention and the Paris Convention**
10. **Comprehensive safeguards agreement — based on The Structure and Content of Agreements Between the Agency and States Required in Connection with the Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons**
11. Additional protocol — following the provisions of Model Protocol Additional to the Agreement(s) Between States(s) and the International Atomic Energy Agency for the Application of Safeguards
12. Revised Supplementary Agreement Concerning the Provision of Technical Assistance by the IAEA

Figura 71. Principali trattati internazionali sul nucleare civile. N.B. In rosso i trattati di cui l'Italia è già un paese aderente.
Fonte: TEHA Group su dati IAEA, 2024.

228. Nel quadro appena delineato, **negli ultimi due anni l'Italia ha compiuto passi significativi verso una riconsiderazione del ruolo dell'energia nucleare** nel suo *mix* energetico futuro. Questi sviluppi segnalano un cambiamento graduale nell'approccio del paese verso questa tecnologia:
- il 9 maggio 2023, una mozione parlamentare (**sostenuta anche da parte delle opposizioni**) ha impegnato il Governo a **favorire la diffusione della tecnologia nucleare**, con particolare attenzione al nuovo nucleare. Questo atto rappresenta un importante segnale politico di apertura verso il nuovo nucleare;
 - nello stesso anno, **il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE) ha istituito la Piattaforma Nazionale per un Nucleare Sostenibile**. Questa piattaforma funge da strumento di raccordo e coordinamento tra i diversi attori nazionali del settore nucleare, facilitando il dialogo e la collaborazione;
 - ad aprile 2024, in risposta alla mozione parlamentare dell'anno precedente, **il MASE ha aderito all'Alleanza Industriale Europea sugli SMR**. Questa mossa allinea l'Italia con gli sforzi europei nello sviluppo di tecnologie nucleari avanzate;
 - un passo avanti significativo è stato compiuto a giugno 2024 con la pubblicazione del **Piano Nazionale Integrato Energia e Clima (PNIEC), che per la prima volta include uno scenario con una quota di energia prodotta da fonte nucleare**. Questo rappresenta un cambiamento sostanziale nella pianificazione energetica nazionale.

229. Nonostante questi progressi incoraggianti, **sono necessari ulteriori sforzi per rendere la scelta sul nuovo nucleare ampiamente condivisa e supportata nel modo più trasversale possibile**. La costruzione di un consenso più ampio, che coinvolga diverse forze politiche e settori della società, sarà cruciale per garantire la stabilità e la continuità di qualsiasi futuro programma nucleare in Italia.

Le proposte di policy per lo sviluppo del nuovo nucleare in Italia: framework regolatorio

230. Alla luce di quanto discusso nel presente paragrafo si propone di:

- **istituire una NEPIO**, anche partendo dalla Piattaforma Nazionale per un Nucleare Sostenibile, con il compito di valutare lo stato delle infrastrutture di base necessarie per avviare un programma nucleare nazionale e fornire al Governo le indicazioni necessarie per il loro completo sviluppo e operatività;
- **costituire una agenzia regolatrice indipendente** dotata di finanziamenti e competenze adeguate;
- **partecipare attivamente alle Safety Reviews** avviate congiuntamente da Agenzie Regolatrici Europee su progetti SMR di potenziale interesse anche per l'Italia, in modo da beneficiare non solo dei risultati di tali riesami, ma anche di allineare le procedure di analisi e valutazione ai più moderni metodi
- nel lungo periodo, anche al fine di massimizzare l'armonizzazione regolatoria e creare un mercato europeo integrato del nucleare, promuovere **standard comuni europei e azioni di coordinamento** tra le autorità nazionali per l'adattamento delle diverse misure di intervento alle specifiche esigenze e circostanze di ciascun Paese membro (secondo i principi di sussidiarietà e proporzionalità).

Gestione dei rifiuti nucleari

231. Oggi, una delle **priorità** per i Paesi che impiegano – o hanno impiegato – la produzione di energia nucleare nel proprio *mix* energetico riguarda la **gestione dei rifiuti nucleari**. Tali rifiuti si differenziano per volume, livello di radioattività, tempo per il loro decadimento e modalità di stoccaggio e smaltimento¹³⁵. I rifiuti che si generano dalla produzione di energia nucleare si diversificano in base al loro contenuto di radioattività in rifiuti a bassa (LLW), media (ILW) e, alta (HLW) attività.
232. L'Italia ad oggi, conta **31.159 m³** di materiale radioattivo – per una radioattività complessiva pari a **36 milioni di GBq** – che, in mancanza di un deposito permanente, viene stoccato presso **20 depositi temporanei** distribuiti sul territorio nazionale. A seguito della Direttiva 2011/70/Euratom dell'Unione Europea¹³⁶, che ha imposto ai Paesi membri di attuare programmi nazionali per la gestione dei rifiuti radioattivi, **l'Italia è impegnata nell'individuazione del sito per il Deposito Nazionale**. A dicembre 2023 è stata pubblicata la Carta Nazionale delle Aree Idonee per l'individuazione del sito del **Deposito Unico Nazionale**¹³⁷, che:
- ospiterà 95.000 m³ di rifiuti prodotti ad oggi e nei prossimi 50 anni, di cui 78.000 m³ di rifiuti a bassa e molto bassa attività e **17.000 m³ rifiuti a media e alta attività radioattiva**;
 - servirà per lo **stoccaggio temporaneo**, a titolo provvisorio di lunga durata (massimo 350 anni), **dei rifiuti ad alta attività radioattiva (HLW)**.

¹³⁵ Per decadimento si intende il raggiungimento del livello di radioattività sotto le soglie della radioattività naturale. Lo stoccaggio è il mantenimento dei rifiuti per il loro recupero e isolamento dall'ambiente esterno in depositi temporanei. Lo smaltimento dei rifiuti avviene in Depositi permanenti quando non è più prevedibile alcun loro utilizzo.

¹³⁶ L'Euratom ha previsto che la sistemazione definitiva dei rifiuti radioattivi avvenga nello Stato membro in cui sono stati generati e che vengano, quindi, realizzati depositi permanenti *ad hoc*. Ad oggi, l'Europa conta 25 depositi permanenti – tra operativi e in fase di realizzazione – per i rifiuti radioattivi (sia per i rifiuti a bassa intensità che per i rifiuti a media e alta intensità).

¹³⁷ A dicembre 2023, la Carta Nazionale delle Aree Idonee (CNAI) ha individuato 51 siti in 6 regioni (21 nel Lazio, 10 in Basilicata, 8 in Sardegna, 5 in Piemonte e il resto in Sicilia e Puglia) per la localizzazione del Deposito Nazionale. A gennaio 2024, il Comune di Trino Vercellese (VC) ha presentato la propria autocandidatura per ospitare il Deposito Nazionale, ma, dietro pressione dei comitati cittadini, il Comune ha ritirato la propria autocandidatura a marzo 2024. A seguito del ritiro dell'autocandidatura del Comune di Trino, nessun altro comune italiano si è proposto. Si proseguirà quindi con una valutazione di impatto ambientale delle 51 aree individuate dalla CNAI che si prevede possa durare circa 1 anno e 6 mesi.

Box 21. I diversi tipi di rifiuti nucleari

Esistono 4 tipi di rifiuti nucleari che derivano dal ciclo di vita degli impianti nucleari, dai settori medicali e dall'industria. Questi vengono classificati sulla base della tipologia di attività radioattiva:

- **rifiuti a molto bassa attività (VLLW)**, che includono articoli che sono stati contaminati da materiale radioattivo (es. indumenti, attrezzature ecc.). Questi pesano il **53%** dei volumi globali* e presentano una radioattività <100 Bq/g**. Il loro tempo di decadimento si aggira intorno ai **20/30 anni**, vengono stoccati in **depositi temporanei, per poi essere smaltiti definitivamente in depositi permanenti di superficie**;
- **rifiuti a bassa attività (LLW)**, rientrano negli articoli contaminati da materiale radioattivo, il loro tempo di decadimento è anche in questo caso di circa **20/30 anni** e vengono trattati (stoccati e smaltiti) come i rifiuti VLLW; tuttavia, hanno un'incidenza minore sui volumi globali (**39%**) e una radioattività maggiore (ma comunque inferiore a 1 milione di Bq/g);
- **rifiuti a media attività (ILW)**, sono i rifiuti derivanti dallo smantellamento delle vecchie centrali nucleari. Pesano il **7,7%** sui volumi globali e hanno una radioattività compresa tra 1 milione e 1 miliardo di Bq/g. Il tempo per il loro decadimento è di circa **300 anni**, vanno **stoccati in depositi permanenti di superficie e smaltiti in depositi permanenti di superficie o depositi geologici** (in base alla tipologia);
- **rifiuti ad alta attività (HLW)**. Si tratta principalmente del combustibile per reattori esaurito e di residui derivanti dai cicli di riprocessamento. Nonostante l'incidenza sui volumi globali sia bassa (**0,13%**), questi rifiuti presentano una radioattività superiore a 1 miliardo di Bq/g e il loro decadimento richiede **centinaia di migliaia di anni**. Tali rifiuti necessitano di uno **stoccaggio in depositi permanenti di superficie – fino a 350 anni** – e di un **processo di smaltimento in depositi geologici profondi**.



Figura 72. Volumi totali delle diverse classi di rifiuti radioattivi in stoccaggio e smaltimento a livello globale (m³), ultimo anno disponibile. Fonte: TEHA Group su dati del Rapporto IAEA «Status and Trends in Spent Fuel and Radioactive Waste Management, 2022» e altre fonti, 2024.

Nota: Per **decadimento** si intende il raggiungimento del livello di radioattività sotto le soglie della radioattività naturale. Lo **stoccaggio** è il mantenimento dei rifiuti per il loro recupero e isolamento dall'ambiente esterno in depositi temporanei. Lo **smaltimento** dei rifiuti avviene in Depositi permanenti quando non è più prevedibile alcun loro utilizzo. Il **riprocessamento** è un processo che consente di trattare il combustibile irraggiato al fine del recupero delle materie fissili ancora al suo interno. (*) I dati relativi a volume, radioattività e peso dei rifiuti radioattivi a livello globale si riferiscono all'ultimo censimento disponibile. (**) Il Becquerel (Bq) è una grandezza che esprime il numero di decadimenti radioattivi (e quindi delle emissioni di radioattività) in un secondo rapportata ai grammi (g) di rifiuti.

Fonte: elaborazione TEHA Group su IAEA «Status and Trends in Spent Fuel and Radioactive Waste Management, 2022» e altre fonti, 2024.

233. Oltre al Deposito definitivo di superficie, ad oggi, nel Paese **manca una soluzione per lo smaltimento definitivo dei rifiuti ad alta attività**, per i quali diventa necessaria la realizzazione di un **Deposito geologico**. Inoltre, il **2025** è l'anno in cui è previsto il rientro in Italia del combustibile irraggiato, sotto forma di residui (**~83 m³**), che per mancanza di impianti di smaltimento permanenti sul territorio nazionale è stato inviato all'estero per il riprocessamento¹³⁸.
234. Si tratta del **99%** del combustibile nucleare irraggiato formato nel corso dell'esercizio delle 4 centrali nucleari italiane (che era pari a circa 1.864 tonnellate) che è stato inviato in **Belgio, Francia e Regno Unito**. Attualmente il 50% del combustibile inviato è ancora in gestione nella centrale francese La Hague e nella centrale inglese Sellafield – Dounreay.
235. Per gestire lo smaltimento in via definitiva dei rifiuti ad alta attività radioattiva, l'Italia sta perseguendo la c.d. **strategia «Dual Track»** per la creazione di **uno o più depositi geologici all'estero da condividere con altri Paesi UE** (possibilità riconosciuta dalla Direttiva europea Euratom). Infatti, il Paese è entrato a far parte – tramite l'ENEA – dell'**ERDO-WG**¹³⁹, un gruppo di lavoro istituito nel 2009 per studiare la fattibilità della creazione di un'Organizzazione Europea per lo Sviluppo di Depositi (ERDO) che attui uno o più **depositi geologici condivisi in Europa**.

¹³⁸ Il riprocessamento è un processo che consente di trattare il combustibile irraggiato al fine del recupero delle materie fissili ancora al suo interno.

¹³⁹ Ad oggi, l'ERDO Working group conta 8 membri ufficiali: Austria, Croazia, Danimarca, Italia, Norvegia, Paesi Bassi, Polonia e Slovenia.

Box 22. Lo stato di avanzamento dei Paesi – nel mondo e in Europa – per la realizzazione di Depositi Geologici Profondi

Ad oggi, nel mondo non esistono depositi geologici permanenti operativi per lo smaltimento dei rifiuti ad alta attività radioattiva, fatta eccezione per il **Waste Isolation Pilot Plant (WIPP)** in New Mexico (USA), che è però autorizzato a smaltire in modo sicuro e permanente i **rifiuti radioattivi militari** (i rifiuti transuranici rimasti dalla ricerca e dalla produzione di armi nucleari) e **non quelli civili**.

Nel contesto globale, tuttavia, molti sono i Paesi che sono in una fase avanzata per la realizzazione di depositi geologici profondi.



Figura 73. Progetti di depositi geologici profondi, per Paese e fase progettuale (illustrativo), 2024. Fonte: TEHA Group su fonti varie, 2024.

In Europa, Finlandia, Svezia e Francia sono i Paesi più avanzati nella realizzazione di un deposito geologico per i rifiuti ad alta attività. In particolare:

- la **Finlandia** sarà il **1° Paese al mondo** a dotarsi di un deposito permanente di rifiuti radioattivi (civili) a media e alta attività (**Onkalo**), che sarà **operativo dal 2025**. Si tratta di un deposito sotterraneo (450 metri sottoterra) che sarà in grado di stoccare 6.500 tonnellate di combustibile nucleare esaurito per 100.000 anni;
- la **Svezia** ha già **identificato il sito** per la realizzazione del proprio Deposito geologico per i rifiuti a media e alta attività (**Söderviken**). La costruzione partirà nel 2025 e il deposito inizierà l'attività nel **2035**;
- la **Francia** è già dotata di 2 depositi (La Manche e L'Aube) per lo stoccaggio di rifiuti a bassa attività e **ha scelto la localizzazione (Bure)** per il nuovo deposito geologico di profondità per i rifiuti a media e alta attività.

Fonte: elaborazione TEHA Group su fonti varie, 2024.

Le proposte di policy per lo sviluppo del nuovo nucleare in Italia: gestione dei rifiuti nucleari

236. Alla luce di quanto discusso nel presente paragrafo si propone di:

- individuare il sito e realizzare il **Deposito Unico Nazionale** per lo stoccaggio e lo smaltimento dei rifiuti radioattivi, attraverso:
 - la realizzazione di un **Tavolo di lavoro con gli attori dei territori di siti selezionati** (i cittadini) e **gli stakeholder interessati** (Istituzioni, comunità,

esperti del settore, associazioni ambientaliste ecc.) per sviluppare il consenso alla costruzione del Deposito Unico Nazionale;

- la creazione di **programmi e modalità di valorizzazione del territorio**, che contribuiscano in modo attivo al benessere sociale ed economico della comunità e del territorio ospitante il futuro Deposito e i territori adiacenti;
 - la definizione di **incentivi e misure di valorizzazione** per il territorio ospitante il futuro Deposito e i territori adiacenti;
- sviluppare la cooperazione internazionale per la creazione di un **deposito geologico europeo**, favorendo la condivisione di *know-how* e la promozione di finanziamenti congiunti per progetti di ricerca sulla gestione dei rifiuti ad alta attività radioattiva.

Accettabilità sociale

237. In Italia, il dibattito pubblico sull'implementazione dell'energia nucleare come parte del *mix* energetico nazionale porta con sé spesso paure e incertezze dei cittadini legate al livello di sicurezza e alla percezione di rischio connessa alla realizzazione di un impianto sul proprio territorio. L'accettabilità sociale dello sviluppo nucleare potrebbe verosimilmente trovare resistenze che si manifestino attraverso la c.d. **sindrome NIMBY** (*Not in My Backyard*) diffusa tra la popolazione anche con riferimento ad altri interventi di tipo infrastrutturale.

238. La sindrome NIMBY è un atteggiamento di rifiuto di chi si oppone ai progetti di sviluppo infrastrutturali (es. impianti energetici, di gestione del ciclo dei rifiuti, di mobilità, ecc.) temendo il verificarsi di eventi negativi per il territorio e i cittadini e **sottovalutando i benefici dell'infrastruttura stessa**. In particolare, la vicinanza ad impianti nucleari può essere percepita come un rischio ma, già oggi, nel raggio di 200 km dall'Italia – tra Francia, Svizzera e Slovenia – **sono attive 10 centrali nucleari**, per un totale di 20 reattori.



Figura 74. Centrali nucleari attive nei territori confinanti con l'Italia (illustrativo), 2024. Fonte: TEHA Group, 2024.

239. Per combattere la sindrome NIMBY andrebbe quindi spostata l'attenzione sui benefici attivabili per i territori (e quindi i cittadini) che accettano di ospitare un impianto

nucleare¹⁴⁰. In tal senso, uno dei benefici più strettamente connesso all'utilizzo di impianti di piccola taglia attiene alla **riduzione dell'impatto paesaggistico**. Gli impianti nucleari di **nuova generazione** (SMR/AMR), infatti, dispongono di un *design* modulare di **piccola taglia** (per definizione) che impatta meno sul paesaggio rispetto alle ciminiere delle vecchie centrali, a partire da quelle a carbone ancora oggi presenti sul territorio nazionale.

Le proposte di policy per lo sviluppo del nuovo nucleare in Italia: accettabilità sociale

240. Alla luce di quanto discusso nel presente paragrafo si propone di:

- **sviluppare la cultura del consenso informato** attraverso un **programma di comunicazione per tutta la popolazione** (ad esempio con l'organizzazione di eventi informativi gratuiti) sugli impatti e i benefici per i territori che derivano dalla costruzione di impianti nucleari e le **differenze esistenti tra nuovo nucleare e nucleare della generazione precedente**;
- promuovere l'**inclusione degli attori dei territori interessati** sui progetti nucleari, anche attraverso la creazione di consorzi dedicati, e sviluppare un dialogo aperto e continuo per ottimizzare le scelte dei siti e gli interventi collegati a rendere tali progettualità parte di un progetto complessivo di sviluppo territoriale;
- creare **campagne informative sulle caratteristiche del nuovo nucleare, sui benefici attivabili a livello di sistema e territoriale, sui meccanismi di sicurezza e il rischio quasi nullo legato al nuovo nucleare e sul possibile riutilizzo di siti dismessi** e la relativa complementarità con distretti industriali e produttivi;
- investire in **programmi di educazione e formazione nelle scuole** per aumentare la conoscenza sulle tecnologie nucleari e sulle discontinuità tecnologiche che la diffusione del nuovo nucleare sta introducendo.

¹⁴⁰ Per maggiori approfondimenti si rimanda al Capitolo 2.3 del Rapporto.

PRINCIPALE BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

- Agenzia Internazionale dell’Energia (IEA), “Italy 2023 – Energy Policy Review”, 2023
- Agenzia Internazionale dell’Energia (IEA), “World Energy Outlook 2023”, 2023
- Agenzia Internazionale dell’Energia (IEA), “World Energy Outlook 2022”, 2022
- Agenzia Internazionale dell’Energia (IEA), “Net Zero by 2050, a Roadmap for the Global Energy Sector”, 2021
- Agenzia Internazionale dell’Energia (IEA), “Nuclear Power and Secure Energy Transitions From today’s challenges to tomorrow’s clean energy systems”, 2022
- Agenzia Internazionale dell’Energia (IEA), “Nuclear Power and Secure Energy Transitions”, 2020
- Agenzia Internazionale dell’Energia (IEA), “Terms for Describing Advanced Nuclear Power Plants”, 2023
- Agenzia Internazionale dell’Energia (IEA), “Global Status and Development of Nuclear Power Programmes, International Energy Authority”, 2023
- Agenzia Internazionale dell’Energia (IEA), “Nuclear Technology Review 2021”, 2021
- AGI, “Sull’energia nucleare l’Italia fa più ricerca (e migliore) di Stati Uniti e Cina”, 2022
- Andra, “Radioactive Waste Management in France”, 2023
- ANSA, “La ricerca italiana sul nucleare è ai primi posti in Europa”, 2022
- ASN, STUK, SUJB, “Nuward SMR Joint Early Review. Pilot Phase Closure Report”, 2023
- Associazione Italiana Nucleare, “Position paper per una consapevole e articolata riconsiderazione dell’opzione nucleare in Italia”, 2023
- Asuega A. et al., “Techno-economic analysis of advanced small modular nuclear reactors”, 2023
- Bank of America Global Research, “The nuclear necessity”, 2023
- Black., G. et al., “Prospects for Nuclear Microreactors: A Review of the Technology, Economics, and Regulatory Considerations”, 2022
- Caciuffo, R. et al., “Generation-IV nuclear reactor systems”, 2019
- Comitato scientifico per la salute, l’ambiente e i rischi emergenti della Commissione Europea, “SCHEER review of the JRC report on Technical assessment of nuclear energy

- with respect to the ‘do no significant harm’ criteria of Regulation (EU) 2020/852 (‘Taxonomy Regulation’), 2021
- Commissione europea, “Directive of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings”, 2024
 - Commissione europea, “Executive Summary: JRC Strategy for its nuclear activities”, 2023
 - Commissione europea, “‘Fit for 55’: delivering the EU’s 2030 Climate Target on the way to climate neutrality”, 2021
 - Commissione europea, “Next Generation EU”, 2020
 - Commissione europea, “REpowerEU Plan”, 2022
 - Commissione europea, “The European Green Deal”, 2019
 - Commissione per l’industria, la ricerca e l’energia del Parlamento europeo, “Report on Small Modular Reactors”, 2023
 - DataCenter Knowledge, “White House backs nuclear energy for data centers”, 2024
 - Deposito Nazionale, “Che cos’è il Deposito Nazionale”, 2024
 - Deposito Nazionale, “Quanti centri italiani producono o detengono rifiuti radioattivi?”, 2022
 - Dodaro A. (ENEA), “Sul nucleare l’Italia non ricomincia da zero”, 2023
 - EDF, “Hinkley-Point C. Socio-economic Impact Report 2024”, 2024
 - EDF, “Hinkley-Point C. Infrastructure Requirements for New Nuclear”, 2019
 - EDF, “Human Capacity Building: together to develop skills”, 2023
 - EDF, “The Supply Chain for a Nuclear New Build Project”, 2023
 - Edison, Ansaldo Nucleare, ENEA, Politecnico di Milano, Nomisma Energia, “Il nuovo nucleare in italia: perché, come, quando”, 2024
 - Edison, “Evoluzione dello Scenario Energetico Italiano”, 2023
 - ENEA, “Analisi delle necessità formative per il programma nucleare italiano”, 2011
 - ENEA, “Scheda tecnica sulla fusione nucleare”
 - Energy & Strategy Politecnico di Milano, “Zero carbon technology pathways short report 2023. Tecnologie e modelli di business abilitanti la decarbonizzazione dei settori Hard-to-Abate”, 2023

- European Nuclear Society, “On the Urgent Need of a Nuclear Energy Strategy for Europe”, 2024
- Eurostat, “Energy Consumption in Household”, 2023
- Eurostat, “Renewable Energy Statistics”, 2023
- Eurostat, “Natural Gas Price Statistics”, 2023
- Eurostat, “Prodcom - Statistics by products”, 2023
- Framatome, “Nuclear Fuel Assembly: a high technology product supporting nuclear competitiveness and sustainability”, 2023
- Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, “Comitato Interministeriale per la Programmazione Economica e lo Sviluppo Sostenibile. Delibera n. 41/2023”, 2023
- Generation IV International Forum, “Annual Report 2022”, 2023
- Goldberg S. M. et al., “Nuclear Reactors: Generation to Generation”, 2011
- IAEA, “A Decade of Progress after Fukushima Daiichi Building on the lessons learned to further strengthen nuclear safety”, 2021
- IAEA, Country Nuclear Power Profiles
- IAEA, “Licensing Process for the Construction, Commissioning and Operation of Nuclear Power Plants”, 2023
- IAEA, “Milestones in the Development of a National Infrastructure for Nuclear Power”, 2015
- IAEA, “Industrial Involvement for a New Nuclear Power Program”, 2018
- IAEA, “International Status and Prospects for Nuclear Power 2021”, 2021
- IAEA, “Nuclear Power Reactors in the World”, 2023
- IAEA, “Nuclear–Renewable Hybrid Energy Systems”, 2022
- IAEA, “Nuclear Technology Review 2021”, 2021
- IAEA, “Small Modular Reactors: A New Design Paradigm”, 2022
- IAEA, “Terms for Describing Advanced Nuclear Power Plants”, 2023
- IAEA e PRIS, “In Operation & Suspended Operation”, 2024
- IAEA e NEA, “Uranium: Resources, Production and Demand”, 2022

- International Institute of Nuclear Energy (I2EN), “The importance of Developing Academic Programmes as part of a Nuclear Power Program”, 2023
- Ispettorato Nazionale per la Sicurezza Nucleare e la Radioprotezione, “Inventario Nazionale dei Rifiuti Radioattivi”, 2022
- Ispettorato Nazionale per la Sicurezza Nucleare e la Radioprotezione, “Reti Nazionali di Monitoraggio della Radioattività Ambientale”, 2021
- Istat, “Rapporto Annuale 2023 - La situazione del Paese”, 2023
- JRC Science for Policy Report, “Current Challenges of the European Nuclear Supply Chain”, 2020
- JRC Science for Policy Report, “Technical Assessment of nuclear energy with respect to the do not significant harm criteria of Regulation (EU) 2020/852 (Taxonomy Regulation)”, 2021
- Kersevan R., “Germania e Francia: I Risultati di Due Diverse Strategie a Confronto”, 2024
- Le réseau de transport d'électricité (RTE), “Energy Pathways to 2050”, 2021
- Lloyd C.A. et al., “A Methodology to Determine SMR Build Schedule and the Impact of Modularisation”, 2018
- Magna L. (Industria Italiana), “Due miliardi di commesse e tutta la catena del valore coperta: è la filiera italiana della fusione nucleare”, 2021
- Malerba L. et al., “Materials for Sustainable Nuclear Energy: A European Strategic Research and Innovation Agenda for All Reactor Generations”, 2022
- Mauri M. et al., “Economics of nuclear power plants: bottom-up cost estimation model for Small Modular Reactors”, 2021
- Maronati G. et al., “Estimating cost uncertainties in nuclear power plant construction through Monte Carlo sampled correlated random variables”, 2018
- Mignacca B. et al., “Economics and finance of Small Modular Reactors: A systematic review and research agenda”, 2020
- Ministero dell’Ambiente e della Sicurezza Energetica, “Elenco delle aree presenti nella proposta di CNAI”, 2023
- Ministero dell’Ambiente e della Sicurezza Energetica, “Piano Nazionale Integrato per l’Energia e il Clima”, 2024

- Ministero dello Sviluppo Economico e Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, “Programma Nazionale per la gestione del combustibile esaurito e dei rifiuti radioattivi”, 2019
- Ministry of Industry and Trade of the Czech Republic, “Czech SMR Roadmap. Applicability and Contribution to Economy”, 2023
- Monti S., “Agency-wide Platform on SMRs and their applications”, 2021
- Nuclear Energy Agency, “The NEA Small Modular Reactor Dashboard: second edition”, 2024
- Nuclear Energy Agency, “Small Modular Reactors: Challenges and Opportunities”, 2021
- Nuclear Energy Agency, “Unlocking Reductions in the Construction Costs of Nuclear: A Practical Guide for Stakeholders”, 2020
- Nuclear Energy Agency, “New Perspectives for Financing Nuclear New Build”, 2022
- NuclearEurope, “Annual Report 2023”, 2024
- NuclearEurope, “European SMR pre-Partnership Reports”, 2023
- NuclearEurope, “New Nuclear Solutions: Small Modular Reactors”, 2022
- NuclearEurope, “Reaching 150 GW installed nuclear capacity by 2050”, 2023
- New Nuclear Watch Institute, “Scaling success. Navigating the future of SMR in competitive global low-carbon energy markets”, 2023
- Orano, “Nuclear Fuel Cycle & Waste Management”, 2023
- Politecnico di Milano, “Italian Nuclear Supply Chain for Small Modular Reactors”, 2023
- Ramana M.V. , “Small Modular and Advanced Nuclear Reactors: A Reality Check”, 2021
- Reinberger, D. et al., “The technological development of different generations and reactor concepts”, 2019
- Reuters, “EDF’s reactor projects still showing recurring weakness – French watchdog”, 2024
- SOGIN, “Bilancio di Sostenibilità Gruppo Sogin”, 2022
- Szulecki K. Et al., “Russian nuclear energy diplomacy and its implications for energy security in the context of the war in Ukraine”, 2023
- Testoni, R. et al., “Review of nuclear microreactors: status, potentialities and challenges”, 2024

- The Oxford Institute for energy studies, “Nuclear Energy in the global energy landscape: advancing sustainability and ensuring energy security?”, 2024
- United Nations Economic Commission For Europe (UNECE), “Carbon Neutrality in the UNECE Region Technology Interplay under the Carbon Neutrality Concept”, 2022
- United Nations Economic Commission For Europe (UNECE), “Life Cycle Assessment of Electricity Generation Options”, 2021
- United Nations Economic Commission For Europe (UNECE), “Technology brief nuclear power”, 2023
- U.S. DoE Office of Nuclear Energy, “Nuclear 101: How does a nuclear reactor work?”, 2023
- World Nuclear Association, “Country Profiles”, 2024
- World Nuclear Association, “Economics of Nuclear Power”, 2023
- World Nuclear Association, “High-assay low-enriched uranium (HALEU)”, 2023
- World Nuclear Association, “Financing Nuclear Energy”, 2024
- World Nuclear Association, “Plans For New Reactors Worldwide”, 2024
- World Nuclear Industry Status Report, “World Nuclear Industry Status Report 2023”, 2023
- World Nuclear Association, “World Nuclear Power Reactors & Uranium Requirements”, 2024

