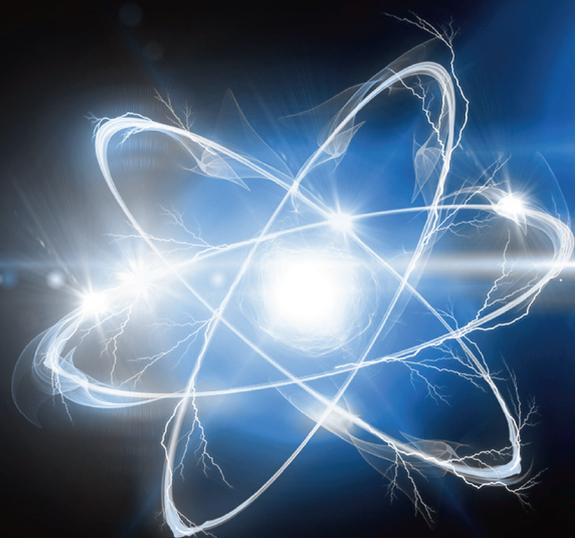


# LO SVILUPPO DELL'ENERGIA NUCLEARE NEL MIX ENERGETICO NAZIONALE

LE POTENZIALITÀ PER L'INDUSTRIA ITALIANA  
DEGLI SMR E DEGLI AMR



CONFINDUSTRIA

## **STEERING COMMITTEE DEL PROGETTO**

### **Presidente:**

Aurelio Regina - CONFINDUSTRIA

### **Membri:**

Gianluca Artizzu - SOGIN  
Gianni Vittorio Armani - ELETTRICITÀ FUTURA  
Massimo Beccarello - UNIVERSITÀ MILANO BICOCCA  
Federico Boschi - MASE  
Stefano Buono - NEWCLEO  
Roberto Cingolani - LEONARDO  
Lorenzo Fiorillo - ENI  
Daniela Gentile - ANSALDO NUCLEARE  
Filippo Girardi - FEDERAZIONE ANIE  
Antonio Gozzi - FEDERACCIAI / Dufenco  
Giorgio Graditi - ENEA  
Nicolò Mardegan - ENEL  
Stefano Monti - ASSOCIAZIONE ITALIANA NUCLEARE  
Nicola Monti - EDISON  
Lorenzo Poli - ASSOCARTA  
Francesca Salvemini - MASE  
Agostino Scornajenchi - CDP VENTURE CAPITAL

### **Coordinatori di progetto:**

Marco Ravazzolo - CONFINDUSTRIA  
Giorgio Graditi - ENEA

### **Team di progetto:**

Alessandro Alessio - CONFINDUSTRIA  
Andrea Andreuzzi - CONFINDUSTRIA  
Elena Bruni - CONFINDUSTRIA  
Barbara Marchetti - CONFINDUSTRIA  
Alessandro Dodaro - ENEA  
Giacomo Grasso - ENEA  
Elisabetta Nava - ENEA  
Federico Rocchi - ENEA  
Mariano Tarantino - ENEA  
Marco Utili - ENEA

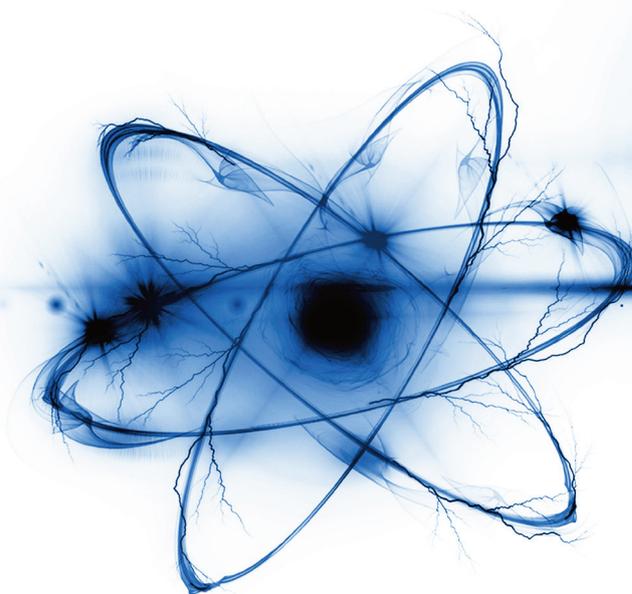
*Con il supporto scientifico dell'Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile*



*Si ringraziano le Associazioni e le aziende del Sistema Confindustria che, con il loro contributo, hanno reso possibile la redazione del documento.*

Luglio 2025

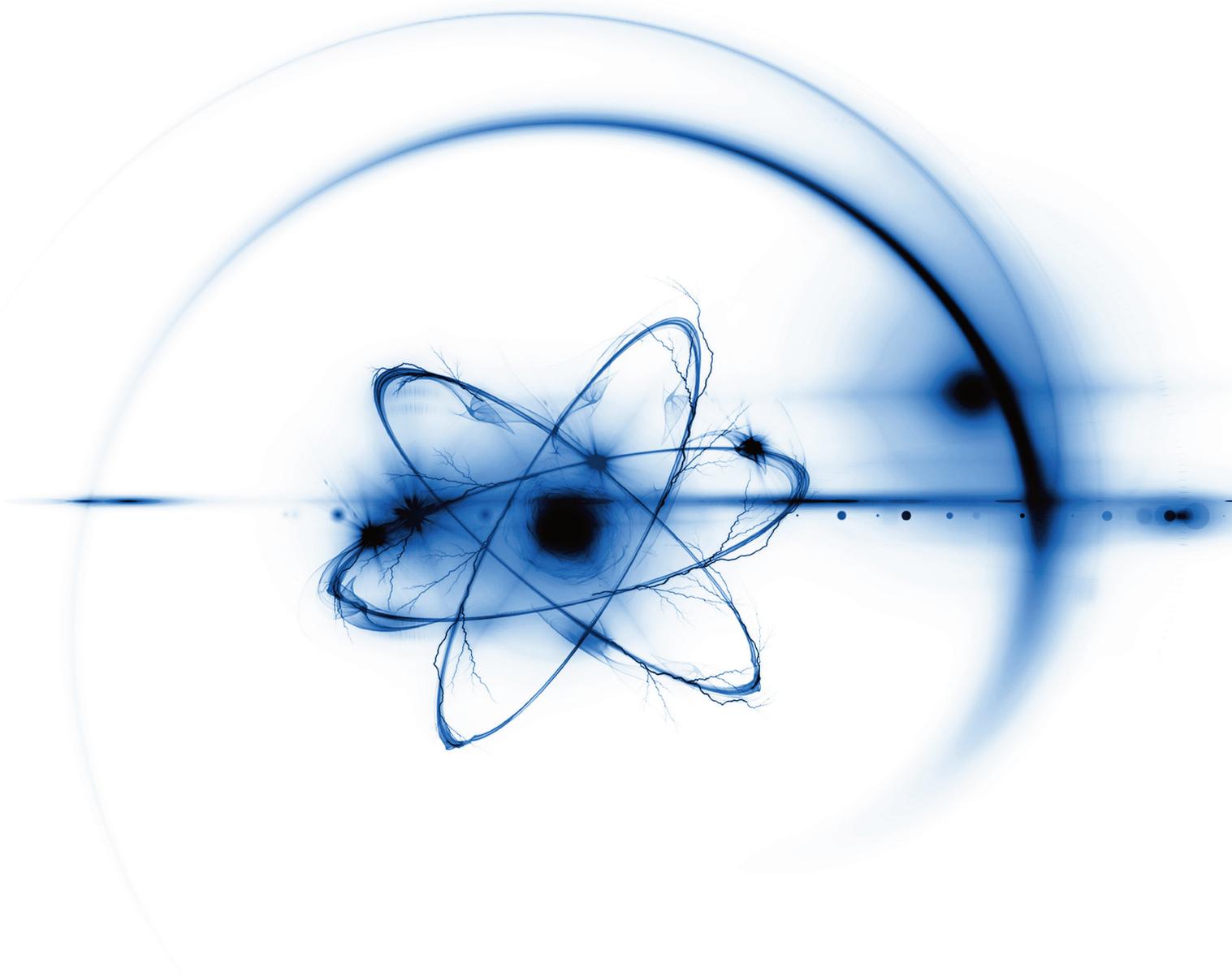
# INDICE



<b>Prefazioni</b> .....	<b>pag. 6</b>
<b>1. Introduzione</b> .....	<b>» 14</b>
<b>2. Policy, quadro normativo e governance istituzionale</b> .....	<b>» 16</b>
2.1 Governance e quadro normativo UE.....	» 17
2.1.1 <i>Evoluzione governance e quadro normativo UE degli SMR</i> .....	» 18
2.2 Breve storia della legislazione relativa al nucleare in Italia.....	» 19
2.2.1 <i>Focus: I referendum</i> .....	» 21
2.3 Attività legate al nucleare in Italia.....	» 23
2.3.1 <i>Quadro tecnico-normativo attuale</i> .....	» 24
2.4 Fattori abilitanti e strategia per un programma nucleare sostenibile.....	» 26
2.4.1 <i>Politica energetica stabile e di lungo periodo</i> .....	» 31
2.4.2 <i>Proposte per un quadro tecnico-normativo per l'industria nazionale</i> .....	» 33
2.4.3 <i>Certificazione degli operatori (qualificazione di componenti e sistemi)</i> .....	» 36
<b>3. Tecnologie e scenario</b> .....	<b>» 38</b>
3.1 Generalità sull'energia Nucleare.....	» 39
3.1.1 <i>Principio di funzionamento della fissione nucleare nei reattori</i> .....	» 40
3.1.2 <i>Le nuove tecnologie come gli SMR e gli AMR</i> .....	» 42
3.1.3 <i>Il nucleare come contributo per la decarbonizzazione dei sistemi energetici, produttivi e per il trasporto</i> .....	» 45
3.1.4 <i>Attributi di maggior rilevanza riconosciuti alle tecnologie nucleari</i> .....	» 47
3.1.5 <i>Tecnologie di potenziale interesse</i> .....	» 49
3.2 L'energia nucleare nell'attuale contesto internazionale ed europeo.....	» 50
3.3 Il contributo del nucleare sostenibile negli scenari energetici al 2035, 2040 e 2050.....	» 51
3.4 Contributo da fonte nucleare alla domanda energetica dell'industria.....	» 54
3.4.1 <i>Domanda di energia elettrica</i> .....	» 54
3.4.2 <i>Domanda di energia termica (calore di processo e impiego di idrogeno)</i> .....	» 55
3.5 Disponibilità della fonte nucleare nel contesto nazionale.....	» 56
<b>4. Aspetti economici e integrazione nel mercato elettrico</b> .....	<b>» 59</b>
4.1 Competitività dell'energia nucleare nel mercato nazionale.....	» 60
4.1.1 <i>Costi degli SMR e degli AMR</i> .....	» 61

4.1.2	<i>Costi e disponibilità del materiale fissile.....</i>	»	62
4.1.3	<i>Costi di generazione del nucleare sostenibile.....</i>	»	65
4.2	<b>Fattori e meccanismi abilitanti.....</b>	»	67
4.2.1	<i>Supporto alla produzione ed utilizzo di energia elettrica, termica, di idrogeno e di nuovi vettori energetici.....</i>	»	69
4.2.2	<i>I costi per il sistema e la collettività.....</i>	»	69
4.2.3	<i>I benefici per il sistema e la collettività.....</i>	»	71
4.3	<b>Strategia per integrare il nucleare avanzato e sostenibile nel sistema energetico italiano.....</b>	»	71
4.3.1	<i>I meccanismi previsti dal nuovo regolamento electricity market design.....</i>	»	72
5.	<b>Filiera industriale.....</b>	»	75
5.1	<b>Potenzialità della filiera industriale nucleare.....</b>	»	76
5.1.1	<i>Attuale copertura di prodotti e servizi richiesti.....</i>	»	76
5.1.2	<i>Attuale partecipazione alla catena del valore nucleare sostenibile.....</i>	»	83
5.1.3	<i>Potenzialità di estensione della catena del valore nucleare sostenibile.....</i>	»	83
5.2	<b>Fattori e meccanismi abilitanti.....</b>	»	84
5.2.1	<i>Capacità di investimento dell'industria nazionale.....</i>	»	84
5.2.2	<i>Programmi di investimento già in essere o pianificati.....</i>	»	86
5.2.3	<i>Necessità di investimento nell'industria nazionale.....</i>	»	87
5.2.4	<i>Strumenti richiesti a supporto dello sviluppo della filiera.....</i>	»	87
6.	<b>Formazione competenze, ricerca e comunicazione.....</b>	»	90
6.1	<b>Spettro delle capacità e competenze richieste dall'industria.....</b>	»	91
6.1.1	<i>Mappatura delle professionalità necessarie.....</i>	»	91
6.1.2	<i>Previsione della richiesta di nuova formazione.....</i>	»	93
6.1.3	<i>Strategie per soddisfare la necessità di competenze.....</i>	»	94
6.2	<b>Ricerca e sviluppo a supporto dell'industria nazionale.....</b>	»	99
6.2.1	<i>Ambito accademico e del settore della ricerca.....</i>	»	100
6.2.2	<i>Contributo dell'industria.....</i>	»	101
6.3	<b>Comunicazione e stakeholder engagement.....</b>	»	103

# PREFAZIONI



## Emanuele Orsini, Presidente Confindustria

In un mondo che corre verso la nuova frontiera dell'energia, l'Italia può e deve farsi protagonista nella competizione globale sulle tecnologie nucleari di nuova generazione. Non è un'utopia è un programma di lavoro concreto.

Confindustria ha deciso di mettere il nucleare al centro degli impegni per una nuova strategia energetica.

Le rinnovabili sono il motore pulito del domani, ma la loro intermittenza esige un alleato solido. È a questo punto che il nucleare diventa fondamentale, con la sua energia continua, modulabile e programmabile, perfetta per sostenere la rete quando sole e vento non bastano.

Solo così potremo abbassare i costi dell'elettricità, onorare gli impegni di decarbonizzazione e garantire a famiglie e imprese un futuro di forniture stabili. Oggi le bollette gravano come macigni, le nostre aziende faticano a tenere il passo dei maggiori *competitor* internazionali: un divario che non ci possiamo più permettere.

La crisi del gas in Ucraina e il conflitto iraniano, ci hanno insegnato una lezione dura: importiamo troppo e dipendiamo da scenari geopolitici volatili.

Nel breve termine dobbiamo riuscire a ottimizzare l'efficienza delle rinnovabili e a ridurre i costi tramite interventi urgenti, ma la vera indipendenza arriva solo con un *mix* che includa il nucleare.

Tra 25 anni, quando la domanda elettrica italiana raddoppierà, non potremo più permetterci di rinviare: servono centrali che funzionino 24 ore su 24, 365 giorni all'anno, libere dalle oscillazioni tipiche delle fonti verdi.

L'indipendenza energetica è una strada obbligata, anche per garantire la sicurezza nazionale. Per questo abbiamo assoluto bisogno di un *mix* energetico in grado di massimizzare la sostenibilità senza sacrificare la competitività, garantendo così stabilità e crescita economica.

"Energia pulita e diversificata, bollette leggere, futuro sicuro": questo deve essere il nostro mantra.

L'Italia ha talento, storia e voglia di innovare. Vogliamo che i giovani di oggi e di domani possano credere nello sviluppo del Paese. Come quei "*Ragazzi di via Panisperna*" che negli anni '30 del secolo scorso con a capo Enrico Fermi hanno prodotto studi di importanza storica nell'ambito della fisica nucleare.

Da lì si deve ripartire, con lungimiranza e solide basi scientifiche a guidare le nostre scelte. Serve una politica in grado di scegliere una strada dagli effetti non immediati, una classe dirigente capace di guardare alle opportunità dove altri vedono soltanto rischi, una popolazione consapevole di poter puntare su un *mix* energetico dove la sicurezza è al primo posto e non si rinunci né alla sostenibilità ambientale né alla competitività economica.

Il nucleare di nuova generazione può diventare la leva per rilanciare l'industria italiana, creare decine di migliaia di posti di lavoro qualificato, stimolare investimenti in ricerca e sviluppo e rafforzare la nostra sovranità tecnologica.

È una questione cruciale. È un punto di svolta: immaginiamo interi distretti industriali – dai cantieri alla componentistica, dai porti alle officine specializzate – trasformati in poli di eccellenza per la filiera nucleare, in grado di esportare valore e competenze in tutto il mondo.

La sfida è europea e globale, ma l'Italia ha già dimostrato di avere talento, storia e capacità di innovare. Oggi più che mai serve coraggio: coraggio di investire nel nucleare significa puntare su un futuro fatto di crescita responsabile, sicurezza energetica e progresso tecnologico.

Dunque, con determinazione possiamo trasformare i pilastri della strategia energetica – decarbonizzazione, sicurezza degli approvvigionamenti e ottimizzazione dei costi – in un volano per un nuovo Rinascimento industriale. Agiamo ora, per consegnare alle generazioni future un'Italia più forte, più pulita e più competitiva sul palcoscenico globale.

## Aurelio Regina, delegato per l'energia di Confindustria

L'Italia è chiamata a tracciare una rotta di transizione energetica che non subisca i limiti, ma li trasformi in leve per un rilancio ambizioso del Paese. Dobbiamo immaginare ogni vincolo non come un freno, ma come un trampolino di lancio verso un sistema-Paese più forte e resiliente.

Lo studio congiunto di Confindustria ed ENEA dimostra come sia indispensabile adottare un approccio tecnologicamente neutrale, capace di valutare con criteri oggettivi costi, benefici ambientali, sicurezza e stabilità del sistema, senza pregiudizi per selezionare le soluzioni migliori in funzione dell'obiettivo comune di decarbonizzazione e crescita sostenibile.

Gli Small Modular Reactor (SMR) e gli Advanced Modular Reactor (AMR) incarnano un modello di sviluppo moderno, in cui la produzione in serie, la riduzione dei rischi e la massima efficienza d'uso del combustibile si coniugano con alti standard di sicurezza favorendo la decarbonizzazione anche dei settori industriali più energivori.

In primo luogo, questo rapporto vuole sfatare falsi miti che nel tempo si sono creati sotto il profilo della sicurezza. Sul nucleare si è accumulata una elevata esperienza e sicurezza negli oltre 50 anni di utilizzo, mettendo in serie tutte le ore di utilizzo di tutti gli impianti si arriva ad un totale di oltre 20.000 anni di funzionamento. Gli incidenti del passato sono un lontano ricordo, anche grazie ad accurati standard di sicurezza fissati a livello europeo e internazionale. In particolare, gli SMR e gli AMR offrono un livello di sicurezza anche superiore rispetto ai reattori tradizionali di grande potenza grazie alla taglia ridotta e al circuito primario integrato, contengono meno materiale radioattivo. Si tratta di impianti che impiegano sistemi di sicurezza passivi, sfruttando il principio della circolazione spontanea dei fluidi di raffreddamento. In più, mentre gli SMR sono raffreddati ad acqua, gli AMR presentano sistemi innovativi prediligendo metalli liquidi (sodio, piombo, sali fusi, ecc.) che incrementano ulteriormente la capacità di attivare velocemente i sistemi di sicurezza.

In questo contesto, il nucleare di nuova generazione emerge come un pilastro imprescindibile non solo per garantire energia continua e programmabile, compensando l'intermittenza delle rinnovabili, ma anche per colmare il gap di quasi il 30% tra i nostri prezzi e la media europea, restituendo alle imprese margini più ampi per investimenti e ricerca.

Energia sicura e pulita, crescita sostenibile: questo serve per ridisegnare il futuro industriale dell'Italia. Quando il costo dell'elettricità da fonte nucleare si confronta con quello delle fossili, il vantaggio è netto: risparmi tangibili per le imprese, margini più ampi per investimenti e ricerca, un'industria italiana più competitiva.

Quello che emerge dallo studio è la necessità di un cambio di passo: normativo, economico e culturale. Norme snelle e trasparenti per iter autorizzativi rapidi; strumenti finanziari affidabili; meccanismi di derisking capaci di mettere insieme fondi pubblici e privati; un robusto piano di formazione universitaria e post-universitaria che plasmi fin d'ora i professionisti del nucleare di domani. In un'era in cui la transizione energetica non è più una scelta ma un imperativo noi abbiamo messo le basi per un progetto concreto.

Ora spetta alle Istituzioni e alla politica tradurre in leggi agili e incentivi mirati la roadmap disegnata da Confindustria ed ENEA, per spiegare le vele verso un futuro energetico pulito, sicuro, competitivo e pienamente italiano. L'obiettivo è costruire un percorso condiviso, chiaro e pragmatico, che tenga conto della sostenibilità ma metta al centro anche la competitività e lo sviluppo industriale del nostro Paese.

## Gilberto Pichetto Fratin, Ministro Ambiente e Sicurezza Energetica

Le sfide energetiche e ambientali che attendono il nostro Paese - in una fase storica segnata da instabilità geopolitiche, nuove e antiche conflittualità, elevata incertezza - impongono a tutti gli attori della scena istituzionale ed economica il dovere della responsabilità.

Va letta in questa chiave, innanzitutto, la scelta del Governo di proporre una nuova produzione di energia da fonte nucleare: responsabilità nei confronti dell'Italia di oggi e di domani, cui dobbiamo dare sicurezza e potenziale indipendenza energetica, in un contesto di garanzia ambientale. Responsabilità che riguarda anche il sistema produttivo, che ha bisogno di energia a costi contenuti per mantenere e incrementare la propria competitività. E responsabilità dobbiamo dimostrare nel mantenere gli impegni che l'Italia ha assunto per fronteggiare i cambiamenti climatici, ogni anno più evidenti con gli eventi estremi che causano danni e vittime in tutto il mondo e, purtroppo, anche nel nostro Paese.

Questo rapporto rappresenta una disamina attenta, documentata, oggettiva di una realtà come il nucleare, presente in tutto il mondo, con 417 reattori attivi e 62 in costruzione, e con tecnologie come i piccoli reattori modulari (SMR) e i reattori modulari avanzati (AMR) in via di finalizzazione in grado di fornire risposte moderne, duttili, sicure alle esigenze di approvvigionamento dell'Italia. Abbiamo inserito nel PNIEC, il Piano Nazionale Integrato Energia e Clima, una quota di produzione di nucleare fra l'11 e il 22%, che riteniamo strategica per integrare le rinnovabili a cui pure negli ultimi due anni e mezzo abbiamo dato un grandissimo impulso.

La lettura dei dati e delle considerazioni contenute in questo rapporto, per il quale ringrazio Confindustria ed Enea, fornisce un quadro di riferimento tecnico ed economico esauriente: dimostra come il ritorno al nucleare sia un obiettivo che l'Italia deve porsi, avendo competenze, professionalità, esperienze in grado di affrontare questo "ritorno al futuro", che si inserisce nel percorso complesso e articolato della transizione ecologica.

Il Governo ha posto le basi per questa evoluzione prima attivando la Piattaforma Nazionale per un Nucleare Sostenibile, nell'ambito della quale istituzioni, operatori privati, mondo accademico hanno costruito una infrastruttura tecnico-culturale per dar vita poi alla proposta di Legge Delega per un Nucleare Sostenibile, che si avvia al vaglio del Parlamento.

In questo processo che è economico, imprenditoriale, ma anche di costruzione di una nuova accettazione sociale di una tecnologia diversa rispetto al passato (sicura e capace, nel caso di alcune configurazioni di AMR, di riutilizzare anche il combustibile esaurito) appare infatti essenziale creare un quadro normativo e autorizzativo di riferimento che sia certo, affidabile, celere e in grado di dare garanzie sia agli operatori che all'opinione pubblica.

Il Governo sta facendo la sua parte anche inserendo il nostro paese in sodalizi internazionali - da ultima la recente adesione all'Alleanza Europea per il Nucleare dove prima eravamo "uditori" e ora siamo membri effettivi - ma anche il sistema delle imprese si sta muovendo e cito le 46 organizzazioni italiane che hanno aderito alla Alleanza Industriale sugli SMR, partecipando attivamente ai progetti selezionati.

L'Italia di domani passa per l'indipendenza energetica e per il raggiungimento degli obiettivi ambientali. La fonte nucleare, quella pulita e sostenibile, può aiutare il paese a muoversi velocemente in questa direzione. E questo rapporto fornisce un importante supporto di conoscenza per utilizzare al meglio le opportunità che il nuovo nucleare può offrire al nostro paese.

## Adolfo Urso, Ministro delle Imprese e del Made in Italy

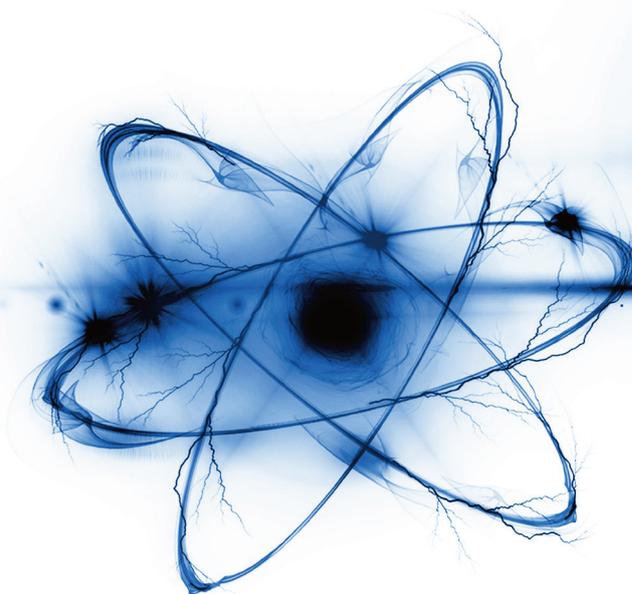
La sicurezza energetica, la competitività industriale e la sostenibilità ambientale sono oggi le tre coordinate complementari che devono guidare ogni politica industriale lungimirante. Nel contesto globale sempre più instabile, con una complessa transizione ecologica in atto, l'Italia non può permettersi di restare spettatrice subendo scelte che ci penalizzano immotivatamente. Dobbiamo agire con visione, coraggio e concretezza, per restituire al nostro Paese una piena sovranità energetica e industriale. È in questo quadro che il nucleare torna al centro del dibattito, come fonte energetica strategica.

Questo Rapporto ha il pregio di non limitarsi a un'analisi teorica ma fotografa in modo puntuale il potenziale concreto di cui già disponiamo ed evidenzia le filiere produttive italiane che potrebbero essere coinvolte in un eventuale ritorno al nucleare. È un aspetto fondamentale, che ci permette di valutare il positivo impatto prospettico sull'industria nazionale, in termini di innovazione, occupazione qualificata e ricadute economiche.

La filiera industriale nazionale è solida, preparata, proiettata verso l'innovazione. SMR e AMR rappresentano tecnologie promettenti, capaci di offrire energia sicura e programmabile e contribuire alla decarbonizzazione anche nei settori energivori più difficili. La capacità di fornire, oltre all'elettricità, calore e idrogeno *low-carbon*, apre nuove opportunità di sviluppo per l'intera manifattura. Settori come la meccanica di precisione, l'impiantistica, l'elettronica avanzata o la componentistica specialistica possono trovare nel settore nucleare un nuovo alleato per la loro competitività.

La neutralità tecnologica che continuiamo a invocare non è un dogma fine a sé stesso ma un imprescindibile approccio votato al perseguimento della massima efficacia. Solo ragionando senza pregiudizi e con pragmatismo possiamo fare la scelta effettivamente migliore per trovare il giusto mix per la transizione energetica in Italia: il nucleare avanzato non è in concorrenza con le fonti rinnovabili, ma le completa. È una scelta industriale e strategica, in grado di rafforzare il sistema produttivo, attrarre capitali, generare occupazione e permettere alle nostre imprese, al sistema economico, di non partire con una zavorra rispetto ai competitor più avanzati. Questo rapporto rappresenta uno strumento prezioso per orientare il dibattito e accompagnare le nostre scelte.

# 1. INTRODUZIONE



La necessità di rivedere il mix nazionale di generazione di energia per affrontare la sfida della decarbonizzazione, deve essere affrontata con un approccio neutrale dal punto di vista tecnologico, tale da considerare la possibilità di sfruttare tutte le fonti energetiche disponibili per raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione nell'orizzonte temporale di interesse, incluso il **ricorso ad impianti nucleari avanzati come i reattori modulari di piccola taglia (Small Modular Reactor, SMR) e innovativi (Advanced Modular Reactor, AMR)**.

La recente possibilità di includere questa tecnologia ha portato alla definizione di un Piano Nazionale Integrato Energia e Clima (PNIEC 2024) che considera una produzione di energia elettrica da fonte nucleare tale da soddisfare tra il 10% e il 20% circa dei consumi a livello nazionale al 2050.

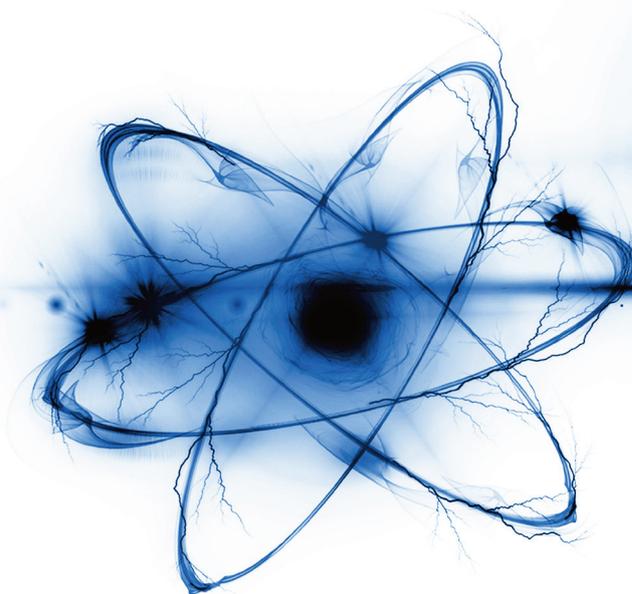
In considerazione di queste premesse, Confindustria ha iniziato un lavoro di ricognizione sul tema, in collaborazione con ENEA in qualità di *knowledge partner*, per fare il punto sul piano normativo, economico e tecnologico dell'**energia nucleare da fissione**. A tal proposito, è stato costituito un apposito *steering committee* formato da personalità del mondo scientifico, accademico e industriale con il compito di dare indirizzi a cinque gruppi di lavoro (GDL) tematici istituiti per valutare le premesse, le implicazioni e i fattori abilitanti dell'eventuale ritorno dell'energia nucleare in Italia, mediante l'introduzione di una nuova generazione di impianti all'interno del sistema energetico nazionale.

I cinque GDL tematici sono i seguenti:

- GDL 1: QUADRO LEGISLATIVO E GOVERNANCE ISTITUZIONALE**  
il cui compito è stato analizzare il contesto nazionale per identificare le linee di intervento sul piano legislativo e gestionale (incluso il quadro regolamentare relativo ai processi autorizzativi) necessarie ad abilitare il ritorno al nucleare in Italia;
- GDL 2: TECNOLOGIE E SCENARIO**  
mirato a valutare le caratteristiche distintive delle diverse opzioni tecnologiche disponibili (i.e., della cosiddetta Generazione III+) e in fase di sviluppo (di Generazione IV) in relazione alla tempistica di potenziale produzione e agli scenari energetici al 2030/2050;
- GDL 3: ECONOMICS**  
con l'obiettivo di identificare i meccanismi economico-finanziari di supporto più idonei all'implementazione di un programma nucleare in Italia e alla sua integrazione nel mercato elettrico;
- GDL 4: FILIERA INDUSTRIALE**  
per mappare l'attuale capacità e le prospettive di consolidamento della filiera industriale italiana in relazione alle tecnologie e allo sviluppo dell'indotto (ecosistema componentistica) per l'abilitazione della *supply chain*;
- GDL 5: FORMAZIONE COMPETENZE, RICERCA E COMUNICAZIONE**  
con l'obiettivo di stimare la previsione di fabbisogno di competenze richieste per il programma nucleare (in relazione allo spettro di profili necessari) e di definizione delle azioni di potenziamento necessarie in ragione delle attuali capacità di formazione, ricerca e comunicazione.

Grazie all'impegno dei GDL, il tema è stato affrontato in modo sistematico, anche per identificare e colmare le lacune create a seguito dell'abbandono della produzione di energia elettrica da fonte nucleare in Italia: questo documento riporta le risultanze di un percorso che, nei lunghi mesi di lavoro, ha visto la collaborazione di gran parte delle realtà industriali nazionali.

## 2. POLICY, QUADRO NORMATIVO E GOVERNANCE ISTITUZIONALE



## 2.1 Governance e quadro normativo UE

Il **quadro legislativo dell'Unione Europea sull'energia nucleare** è in gran parte definito nel Trattato EURATOM e nella legislazione EURATOM successiva, che costituiscono la base delle azioni dell'UE su sicurezza nucleare e gestione sicura dei rifiuti radioattivi. Il Trattato istituisce nel 1957 la Comunità europea dell'energia atomica (EURATOM), organizzazione internazionale avente lo scopo di promuovere l'utilizzo dell'energia atomica e di creare le premesse per lo sviluppo equo di un'industria nucleare. Tra le finalità del trattato vi è anche il coordinamento dei programmi di ricerca degli Stati membri relativi all'energia nucleare, per assicurare un uso pacifico della stessa. L'EURATOM ha gli stessi membri dell'UE ed è governato dalla Commissione e dal Consiglio UE, ma rimane un organismo indipendente. Con decisione<sup>1</sup> della Commissione è stato, inoltre, istituito nel 2007 l'ENSREG (gruppo dei regolatori europei sulla sicurezza nucleare), un organo consultivo indipendente di esperti con l'obiettivo di supportare e assistere la Commissione stessa nel raggiungere un'intesa comune e, eventualmente, nello sviluppo di ulteriori normative nei settori della sicurezza nucleare e della gestione dei rifiuti radioattivi.

L'UE mira a promuovere una cultura efficace della sicurezza nucleare, anche attraverso l'attuazione dei più elevati standard di sicurezza nucleare e delle radiazioni. L'EURATOM, così come l'International Atomic Energy Agency (IAEA), non ha mandato per regolamentare la sicurezza nucleare, che resta di competenza degli Stati Membri. Questi ultimi sono infatti tenuti a **istituire quadri normativi nazionali su requisiti di sicurezza nucleare**, concessione di licenze per gli impianti nucleari, supervisione e applicazione delle norme, nel rispetto delle linee guida europee e internazionali.

Per quanto riguarda il **quadro legislativo relativo alla produzione di energia elettrica**, il nucleare si inserisce tra le tecnologie strategiche della più recente legislazione europea, tra cui:

- l'*Electricity Market Design Regulation* (Regolamento (UE) 2024/1747), che mira a migliorare l'assetto del mercato elettrico europeo, include i nuovi impianti di generazione da fonte nucleare tra le tecnologie che possono beneficiare di meccanismi di supporto agli investimenti, se nella forma di contratti alle differenze (CfD) a due vie (art. 19d). Tale forma di meccanismo di supporto non risulta obbligatoria per le tecnologie ancora in fase di sviluppo e non consolidate;
- la Tassonomia (Regolamento (UE) 2020/852), che ha introdotto un sistema di classificazione basato su criteri di vaglio tecnico che consentono di determinare se le attività economiche considerate contribuiscono in modo sostanziale alla mitigazione o all'adattamento ai cambiamenti climatici, e non arrecano un danno significativo a nessun altro obiettivo ambientale (principio *Do Not Significantly Harm*, DNSH). Il Regolamento Complementary Climate 2022/1214 include il nucleare nella classificazione, specificando i requisiti affinché venga considerato tra le tecnologie di transizione tassonomiche, rispettivamente: per le fasi pre-commerciali della Generazione IV (sez. 4.26), per la costruzione ed esercizio di nuovi impianti di Generazione III/III+ per la generazione di energia elettrica o di calore, anche ai fini della produzione di idrogeno (sez. 4.27) e per la gestione degli impianti esistenti (sez. 4.28). Tra i requisiti maggiormente stringenti per rientrare nella Tassonomia figurano:

1. non superare le emissioni LCA di 100 gCO<sub>2</sub>e/kWh;

<sup>1</sup> 2007/530/Euratom: decisione della Commissione, del 17 luglio 2007.

2. disporre, da parte dello Stato Membro che operi impianti nucleari, di *facility* per lo stoccaggio definitivo dei rifiuti radioattivi a media, bassa e bassissima intensità;
- il *Net-Zero Industry Act - NZIA* (Regolamento (UE) 2024/1735) include nell'elenco net-zero le "tecnologie per l'energia nucleare da fissione, comprese le tecnologie del ciclo del combustibile nucleare" (Art 4.1 i.) e le "tecnologie nucleari che non rientrano nelle categorie precedenti" (Art 4.1 s.). Il Regolamento definisce strumenti e obiettivi per migliorare la capacità produttiva europea di tecnologie a impatto zero e dei loro componenti chiave, a sostegno della competitività del settore tecnologico a zero emissioni.

### 2.1.1 Evoluzione governance e quadro normativo UE degli SMR

Le Istituzioni UE hanno intrapreso azioni a sostegno degli SMR sia su iniziativa della Commissione che del Parlamento UE. Nel 2023, il Parlamento UE ha adottato una procedura di iniziativa propria<sup>2</sup>, invitando la Commissione a sviluppare una strategia industriale specifica per gli SMR, riconoscendo il loro potenziale non solo per la generazione di energia elettrica, ma anche per la produzione di calore, idrogeno *low-carbon* e carburanti sintetici sostenibili. La procedura identifica, come condizione necessaria per lo sviluppo degli SMR, l'esistenza di un quadro normativo favorevole, stabile e tecnologicamente neutro, che affronti anche le questioni legate al tema della sicurezza nucleare. Inoltre, la procedura sollecita la Commissione a facilitare la creazione di *partnership* tra gli Stati Membri per favorire lo sviluppo degli SMR, e a garantire, in particolare, un quadro normativo armonizzato per il *licensing*, così da agevolare la loro diffusione e impiego su scala europea.

Dal 2021, la Commissione UE ha avviato le proprie iniziative con un primo *workshop*, richiesto anche dall'European Nuclear Industry, che ha segnato l'inizio di una fase preliminare, definita "Pre-Partnership"<sup>3</sup>, volta a preparare il terreno per il design e l'operatività degli SMR. Tale fase preliminare aveva l'obiettivo di elaborare una roadmap e definire le condizioni per lo sviluppo degli SMR in Europa tramite analisi organizzate in cinque diversi gruppi di lavoro e i cui risultati sono stati pubblicati a giugno 2023<sup>4</sup>, trattando tematiche cruciali come: competitività degli SMR rispetto alle potenziali applicazioni, *licensing*, opzioni di finanziamento, potenziale di standardizzazione e necessità in termini di ricerca, sviluppo e innovazione. Al termine di questa fase preliminare, è stata costituita una Alleanza Industriale per facilitare e accelerare lo sviluppo, la dimostrazione e la diffusione degli SMR in Europa dal 2030.

L'Industrial Alliance on Small Modular Reactors<sup>5</sup>, nata nel 2024, raccoglie circa 350 *stakeholder*, la quasi totalità dei quali rappresentando enti pubblici e privati dei 27 Stati Membri. Lo scopo principale dell'Alleanza è supportare i primi progetti SMR europei (anche fungendo da incubatrice di potenziali raggruppamenti industriali intraeuropei) e rafforzare la filiera industriale, compresa la filiera di approvvigionamento e riciclo del combustibile. Tra gli obiettivi dell'Alleanza c'è anche la promozione delle tecnologie SMR più promettenti, sicure ed economicamente sostenibili, la rimozione delle barriere agli investimenti, l'individuazione di nuove opportunità di finanziamento e la sensibilizzazione degli utilizzatori industriali, come le industrie ad alta intensità energetica e i produttori di idrogeno.

<sup>2</sup> [https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-9-2023-0408\\_EN.html](https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-9-2023-0408_EN.html).

<sup>3</sup> <https://www.nucleareurope.eu/project/european-smr-pre-partnership/>.

<sup>4</sup> SMR Pre-partnership Workstream Deliverables.

<sup>5</sup> [https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/industrial-alliances/european-industrial-alliance-small-modular-reactors\\_en](https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/industrial-alliances/european-industrial-alliance-small-modular-reactors_en).

Per perseguire tali obiettivi, l'Alleanza ha istituito 8 gruppi di lavoro tecnici (*Technical Working Group*, TWG), ciascuno dedicato ad una tematica e tutti insigniti del mandato di produrre, al termine dei lavori, un piano d'azione dettagliato per attività, prodotti e *milestone*. Tra i temi affrontati dai TWG, vi sono l'identificazione delle future necessità di ricerca sugli SMR e gli AMR per colmare le eventuali lacune di competenze lungo tutta la filiera; il rafforzamento delle relazioni tra i promotori dei progetti e le autorità di regolamentazione nucleare europee, per creare un quadro armonizzato che faciliti il *licensing*; il coinvolgimento del pubblico, attraverso la collaborazione con organizzazioni della società civile; e la promozione di una formazione specialistica tramite l'istituzione di una Nuclear Skills Academy, nell'ambito del framework NZIA<sup>6</sup>.

Per rendere concreto il supporto dell'Alleanza ai progetti di SMR e AMR tramite i TWG, è stato lanciato un bando per raccogliere proposte da sviluppatori interessati a includere i propri concetti come *project working group* dell'Alleanza. Dopo una valutazione delle 22 candidature ricevute, sono stati selezionati 9<sup>7</sup> progetti, tra cui due proposte italiane per lo sviluppo di reattori veloci raffreddati a piombo.

Il 26 febbraio 2025 la Commissione UE ha presentato un pacchetto di riforme che include Clean Industrial Deal, Action Plan for Affordable Energy e Omnibus, volti a rafforzare la competitività dell'industria europea e accelerare la transizione verso un'economia a zero emissioni. Per quanto riguarda il nucleare, la comunicazione (non legislativa) sul Clean Industrial Deal menziona esplicitamente il principio della neutralità tecnologia e sostiene esplicitamente l'accelerazione dello sviluppo e dell'implementazione degli SMR, mentre l'Action Plan for Affordable Energy, documento programmatico rivolto a abbassare i prezzi dell'energia e rafforzare l'Unione energetica, prevede la valutazione da parte della Commissione di proposte per ottimizzare le procedure di autorizzazione e licenza per l'implementazione di nuove tecnologie nucleari, come gli SMR. Il Piano d'Azione prevede anche la presentazione nel 2026 di una comunicazione dedicata agli SMR e la "valutazione delle esigenze di investimento" nelle tecnologie pulite di nuova generazione, oltre alla presentazione di una versione aggiornata del Programma illustrativo nucleare per la Comunità (PINIC).

## 2.2 Breve storia della legislazione relativa al nucleare in Italia

Il primo atto normativo nazionale sull'uso pacifico dell'energia nucleare risale alla fine degli anni '50, con la promulgazione della Legge 14 ottobre 1957, n. 1203 di ratifica ed esecuzione degli accordi internazionali, firmati a Roma il 25 marzo 1957:

- Trattato che istituisce la Comunità europea dell'energia atomica ed Atti allegati;
- Trattato che istituisce la Comunità economica europea ed Atti allegati;
- Convenzione relativa ad alcune istituzioni comuni alle Comunità europee.

Nel 1962, con l'approvazione della Legge 31 dicembre 1962, n. 1860, viene regolato l'intero settore dell'impiego pacifico dell'energia nucleare sul territorio nazionale. Nel 1964 il D.P.R. 13 febbraio 1964, n. 185 integra le disposizioni vigenti, intervenendo sulla sicurezza degli impianti e protezione sanitaria dei

<sup>6</sup> Regolamento (UE) 2024/1735 del Parlamento europeo e del Consiglio del 13 giugno 2024, Articolo 31.

<sup>7</sup> EU-SMR-LFR project (Ansaldo Nucleare, SCK CEN, ENEA, RATEN); CityHeat project (Calogena, Steady Energy), Project Quantum (Last Energy), European LFR AS Project (*newcleo*), Nuward (EDF), European BWRX-300 SMR (OSGE), Rolls-Royce SMR (Rolls-Royce SMR Ltd), NuScale VOYGR™ SMR (RoPower Nuclear S.A) and Thorizon One project (Thorizon)

lavoratori e delle popolazioni contro i pericoli delle radiazioni ionizzanti derivanti dall'impiego pacifico dell'energia nucleare.

Successivamente, con la Legge 12 febbraio 1974, n. 109, si procede con la ratifica ed esecuzione delle convenzioni sulla responsabilità civile nel campo dell'energia nucleare, firmate a Parigi il 29 luglio 1960 e a Bruxelles il 31 gennaio 1963 e dei protocolli addizionali alle convenzioni, firmati a Parigi il 28 gennaio 1964.

La Legge 2 agosto 1975, n. 393 attualizza le norme sulla localizzazione delle centrali elettronucleari e sulla produzione e sull'impiego di energia elettrica.

Con la Legge 10 gennaio 1983, n. 8 vengono introdotte le norme per l'erogazione di contributi a favore dei Comuni e delle Regioni sedi di centrali elettriche alimentate con combustibili diversi dagli idrocarburi.

### **1987: Referendum e blocco del programma nucleare**

Nel 1987, l'Italia affrontò un momento cruciale nella sua politica energetica. L'incidente di Chernobyl ha infatti suscitato un'ondata di preoccupazione pubblica riguardo alla sicurezza delle centrali nucleari. In risposta a queste preoccupazioni e a valle dei referendum abrogativi del 1987- il cui iter e conclusioni sono riportati nella sezione 2.2.1 con focus sui referendum che segue - vengono promulgati due D.P.R. (n. 498 e n. 499 entrambi del 9 dicembre 1987), che sanciscono, di fatto, l'uscita dell'Italia dal novero dei Paesi che ricorrono alla fissione nucleare per la produzione di energia elettrica.

### **Storia recente**

L'intento di tornare alla produzione nucleare in Italia emerge con la definizione della "Strategia energetica nazionale" (SEN) ai sensi dell'articolo 7 del D.lgs. 25 giugno 2008, n. 112, successivamente regolato dagli articoli 25, 26 e 29 della Legge 23 luglio 2009, n. 99 e con il D.lgs. 15 febbraio 2010, n. 31. In particolare, quest'ultimo istituisce nuovamente la disciplina della localizzazione, della realizzazione e dell'esercizio nel territorio nazionale di impianti di produzione di energia elettrica nucleare, di impianti di fabbricazione del combustibile nucleare, dei sistemi di stoccaggio del combustibile irraggiato e dei rifiuti radioattivi, nonché misure compensative e campagne informative al pubblico. Il decreto, nella versione aggiornata a valle di una decisione della Corte costituzionale, specifica i requisiti tecnici richiesti per la costruzione e l'esercizio delle centrali e del parco tecnologico annesso al deposito nazionale, chiarisce le procedure della valutazione ambientale strategica, stabilisce le procedure amministrative, la tempistica e i benefici economici per le zone che avrebbero ospitato le centrali.

Nel 2011, nuovi referendum abrogativi sanciscono l'interruzione del percorso che sembrava voler portare il Paese al ritorno all'energia nucleare.

Successivamente, fino all'entrata in vigore del D.lgs. 31 luglio 2020, n. 101, che ridefinisce l'intero quadro normativo relativo alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti, l'intervento legislativo si limita alla ratifica di Direttive comunitarie, ad esempio sulla sicurezza nucleare e sui sistemi di protezione fisica degli impianti nucleari, o sulla classificazione delle materie nucleari.

### 2.2.1 Focus: I referendum

#### **Il referendum del 8-9 novembre 1987**

Nel 1980 era stata avviata una prima iniziativa referendaria antinucleare che chiedeva l'abrogazione integrale della legge 2 agosto 1975, n. 393 sulla localizzazione delle centrali elettronucleari. La Corte costituzionale, però, considerò inammissibile il referendum ai sensi dell'art.75 della Costituzione, in quanto relativo ad articoli del trattato internazionale EURATOM.

I comitati contrari all'energia nucleare, all'indomani dell'incidente di Chernobyl, si organizzarono diversamente, puntando a quesiti referendari apparentemente secondari, ma comunque capaci di ostacolare la prosecuzione dei programmi già approvati. Questa volta la Corte, con sentenza 16 gennaio 1987, n.25, ammise i quesiti referendari.

I quesiti ammessi chiedevano l'abrogazione del potere sostitutivo dello Stato nella localizzazione degli impianti nucleari (in caso di inerzia od opposizione di regioni e comuni), dei contributi in favore di Comuni e Regioni nel cui territorio fossero installate centrali nucleari o a carbone, della possibilità dell'Enel (all'epoca ente statale) di assumere partecipazioni all'estero nel settore nucleare.

#### **Conseguenze e implicazioni odierne del referendum del 1987**

Nonostante i quesiti referendari non vietassero la costruzione di nuove centrali, né imponessero la chiusura di quelle esistenti o in fase di realizzazione, i governi Gorla, De Mita e Andreotti, tra il 1988 e 1989, decretarono la chiusura delle vecchie centrali di Latina e Trino e di quella di Caorso, da poco in esercizio e fermata in via cautelativa immediatamente a seguito del referendum.

La prima grave conseguenza economica fu l'impossibilità di accantonare i fondi previsti per il decommissioning degli impianti, in particolar modo per la centrale di Caorso, da poco entrata in esercizio. Di conseguenza gli oneri relativi allo smantellamento ricaddero sui conti pubblici.

La seconda grave conseguenza si ebbe sulla centrale di Alto Lazio. I governi De Mita e Andreotti, oltre a decretare la chiusura degli impianti in esercizio, decisero di fermare definitivamente anche il cantiere della centrale, già in uno stadio molto avanzato, con perdite rispetto al capitale pubblico già investito attraverso l'Enel. Si evidenzia che, dei tre quesiti referendari, due sono stati ad oggi superati: da un lato, la trasformazione di Enel in una SpA e la conseguente privatizzazione che ne solleva l'obbligo di rispondenza al Governo; dall'altro, la reintroduzione di compensazioni in favore dei territori che ospitano siti di centrali nucleari e impianti del ciclo del combustibile nucleare, la cui ripartizione è decisa dal CIPESS (Comitato Interministeriale per la Programmazione Economica e lo Sviluppo Sostenibile) in funzione della quantità e della tipologia di attività radiologica.

#### **Il referendum del 12-13 giugno 2011**

Per poter capire le implicazioni attuali del referendum del 2011 è necessario ricostruire i passi che portarono al referendum stesso. Il quesito referendario, infatti, fu la risposta di un ampio schieramento di associazioni e di partiti avversi alla legge 25 giugno 2008, n.112, con la quale il governo Berlusconi aveva reintrodotta la possibilità di costruire in Italia centrali nucleari. In particolare, l'insieme delle leggi citate in precedenza (D.lgs. 25 giugno 2008, n. 112, Legge 23 luglio 2009, n. 99, D.lgs. 15 febbraio 2010, n. 31) costituiva un corpus legislativo tra i più avanzati in Europa in ambito energetico e nucleare.

A seguito dell'incidente di Fukushima (11 marzo 2011) il Governo emise il **D.lgs. 31 marzo 2011, n.34**, "*Sospensione dell'efficacia di disposizioni del decreto legislativo n. 31 del 2010*", che all'art.5, comma 1 e 2, sospendeva per un anno l'efficacia del D.lgs. 15 febbraio 2010.

Un mese dopo, con il DL 31 marzo 2011 n. 34 (di seguito "DL Omnibus"), convertito nella Legge 26 maggio 2011 n.75, venne modificata radicalmente la legislazione oggetto del quesito referendario, accogliendo tutte le abrogazioni e sostituzioni proposte dal comitato promotore dei referendum. Il DL Omnibus provò a tenere una porta aperta al nucleare tramite il **comma 1** e il **comma 8** dell'art.5 del DL, alla luce del modificato D.lgs. n.31/2010, conferendo mandato al Governo, pur nell'impossibilità a costruire nuove centrali, di attuare successivamente il programma di energia nucleare in base alle risultanze di una verifica condotta sia dall'Agenzia per la Sicurezza Nucleare italiana che dall'Unione Europea sulla sicurezza degli impianti.

A fronte di questa variazione della legislazione, la Corte di cassazione il **1° giugno 2011** decise di confermare la consultazione, formulando però il quesito sulla nuova normativa prevista dal DL Omnibus, e non sul testo originale su cui erano state raccolte le firme l'anno precedente, in particolare sui commi 1 e 8 dell'articolo 5<sup>o</sup>. Ne risultò così il seguente quesito referendario:

*"Volete che siano abrogati i commi 1 e 8 dell'articolo 5 del decreto legge 31/03/2011 n. 34 convertito con modificazioni dalla legge 26/05/2011 n.75?"*

Il risultato referendario diede ragione<sup>9</sup> allo schieramento contrario al ritorno del nucleare in Italia. I partiti di governo suggerirono l'astensione per invalidare il voto, ma fallirono. Come nel 1987, l'incidente nucleare in Giappone rafforzò i comitati del "no", superando la strategia di astensione.

Con il referendum del 2011, la politica energetica italiana si trovò senza un riferimento strategico attuativo per più di dieci anni. L'abrogazione dell'intero corpus normativo da parte del provvedimento Omnibus e la cancellazione dei commi 1 e 8 dell'art. 5 hanno creato un **vuoto legislativo che, ad oggi, non è ancora stato colmato**.

La recente approvazione, da parte del Consiglio dei Ministri, della Legge delega sul nucleare mira a colmare questo vuoto.

<sup>8</sup> Riportiamo i testi dei due commi abrogati:

**Comma 1.** *Al fine di acquisire ulteriori evidenze scientifiche, mediante il supporto dell'Agenzia per la sicurezza nucleare, sui profili relativi alla sicurezza nucleare, tenendo conto dello sviluppo tecnologico in tale settore e delle decisioni che saranno assunte a livello di Unione europea, non si procede alla definizione e attuazione del programma di localizzazione, realizzazione ed esercizio nel territorio nazionale di impianti di produzione di energia elettrica nucleare.*

**Comma 8.** *Entro dodici mesi dalla data di entrata in vigore della legge di conversione del presente decreto il Consiglio dei Ministri, su proposta del Ministro dello sviluppo economico e del Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, sentita la Conferenza permanente per i rapporti tra lo Stato, le regioni e le province autonome di Trento e di Bolzano e acquisito il parere delle competenti Commissioni parlamentari, adotta la Strategia energetica nazionale, che individua le priorità e le misure necessarie al fine di garantire la sicurezza nella produzione di energia, la diversificazione delle fonti energetiche e delle aree geografiche di approvvigionamento, il miglioramento della competitività del sistema energetico nazionale e lo sviluppo delle infrastrutture nella prospettiva del mercato interno europeo, l'incremento degli investimenti in ricerca e sviluppo nel settore energetico e la partecipazione ad accordi internazionali di cooperazione tecnologica, la sostenibilità ambientale nella produzione e negli usi dell'energia, anche ai fini della riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra, la valorizzazione e lo sviluppo di filiere industriali nazionali. Nella definizione della Strategia, il Consiglio dei Ministri tiene conto delle valutazioni effettuate a livello di Unione europea e a livello internazionale sulla sicurezza delle tecnologie disponibili, degli obiettivi fissati a livello di Unione europea e a livello internazionale in materia di cambiamenti climatici, delle indicazioni dell'Unione europea e degli organismi internazionali in materia di scenari energetici e ambientali.*

<sup>9</sup> **Risultati referendum 2011 forniti dal Ministero dell'Interno**

**Quesito 3** - *Abrogazione delle nuove norme che consentono la produzione nel territorio di energia elettrica nucleare*  
 Affluenza: 57,01 (dato sceso al 54,79% considerando i voti degli italiani all'estero)  
 Risultati dello scrutinio: 'Sì' 25.643.652 (94,05 %) – 'No' 1.622.090 (5,95 %);

## 2.3 Attività legate al nucleare in Italia

Anche se da oltre trent'anni in Italia non si produce più energia elettrica da fonte nucleare, le attività nel settore non si sono mai realmente fermate.

Molte aziende hanno dovuto riorientare il loro *business* in altri settori, ma molte hanno continuato a operare in ambito nucleare rivolgendo le proprie competenze al mercato europeo e internazionale o specializzandosi nella **componentistica** sia per la fissione sia per la fusione nucleare. Come più estensivamente riportato nel capitolo 5, è importante riportare che degli ultimi sei impianti a fissione realizzati nell'UE, quattro sono stati completati da industrie italiane e gli altri due hanno visto impegnate aziende italiane. Attualmente le imprese italiane attive nella catena di fornitura delle due unità in costruzione ad Hinkley Point (GB) sono più di 130.

Le aziende italiane sono anche attive nel segmento dell'**assistenza all'esercizio e dell'ammodernamento del parco esistente**. Tra gli interventi più recenti e significativi, si possono citare il contributo per la sostituzione di tubazioni in qualità nucleare in alcuni impianti del parco francese, e la fornitura di sistemi di sicurezza addizionali per eventi naturali estremi nella centrale slovena di Krško.

In ambito fissione sono rimasti nuclei di **competenze tecnico-scientifiche**, molto apprezzati anche all'estero, non solo in alcuni enti o istituti di ricerca ed università, ma anche nell'ambito privato, relativi sia allo sviluppo tecnologico che alla filiera industriale. Tra questi ambiti di competenza si evidenziano in particolare la **progettazione del nocciolo, dei sistemi di sicurezza** e le facility per lo studio del comportamento dei reattori raffreddati ad acqua ed a metalli liquidi: tutte eccellenze che permettono all'Italia di partecipare ai principali progetti di ricerca e sviluppo attualmente in corso, nonché alla certificazione di reattori di tipo evolutivo.

In particolare, e forse anche in conseguenza della frammentazione così determinata, risultano particolarmente efficaci alcune **partnership pubblico-private** (che in taluni casi si estendono anche oltre i confini nazionali), impegnate nello sviluppo tecnologico dei reattori veloci raffreddati a piombo, o focalizzate sullo sviluppo e certificazione di reattori avanzati già sul mercato o di tipo evolutivo raffreddati ad acqua.

Punto comune delle partnership di maggior successo è l'aver saputo trarre massimo vantaggio dalle infrastrutture esistenti, che in effetti, fino al 1986, erano destinate a diventare un punto di riferimento per la ricerca nucleare italiana.

Sul territorio nazionale sono, inoltre, presenti alcune attività industriali (già sviluppate o in fase di ricerca tecnologica applicata) che utilizzano tecnologie nucleari. Tali attività consentono un riciclo/riutilizzo di materiali e sistemi o una loro messa a dimora definitiva permettendo di considerare il sistema energetico nucleare un sistema sostenibile; nello specifico sono:

- la disattivazione degli impianti dell'ex-ciclo del combustibile nucleare e delle ex centrali nucleari;
- la **gestione dei rifiuti radioattivi**.

Sempre sul territorio nazionale sono presenti anche altre attività non a fini energetici, quali ad esempio:

- la **produzione di radioisotopi** utili per la medicina nucleare (terapia e diagnostica) e/o in ambito industriale, metallurgico, manifatturiero e ambientale;
- le qualifiche di materiali, componenti e sistemi per l'industria nucleare, elettronica e aerospaziale;
- le applicazioni spaziali (produzione di energia per basi planetarie);
- la produzione di idrogeno (idrogeno rosa).

In ambito fusione, la presenza del settore della ricerca è ancora più spiccata con l'Italia in prima linea a livello internazionale. Nel consorzio EUROfusion, che gestisce le risorse messe a disposizione da EURATOM per il programma di ricerca e sviluppo europeo sulla fusione, l'Italia è il secondo membro in termini di impegno di risorse e di finanziamento ricevuto dal sistema Paese. Questo dimostra non solo il forte sostegno istituzionale, ma anche l'eccellenza scientifica e tecnologica del nostro Paese in un settore chiave per il futuro energetico globale.

Nella fornitura di componenti e sistemi, inoltre, la nostra filiera nazionale spicca per qualità e quantità di operatori coinvolti: basti pensare che nella realizzazione del progetto ITER (l'impianto che dovrà dimostrare sperimentalmente il guadagno energetico del processo di fusione nucleare, il cui costo complessivo è stimato in 20 miliardi di euro) le aziende nazionali si sono aggiudicate oltre 2 miliardi di euro, su circa 7 assegnati fino ad ora, di commesse per la fornitura di componenti altamente tecnologici. L'Italia, inoltre, è attiva nello sviluppo di tecnologie complementari alla fusione, che trovano applicazione anche in altri settori industriali mantenendo un approccio integrato tra ricerca e capacità produttiva nazionale.

### 2.3.1 Quadro tecnico-normativo attuale

**Il quadro tecnico-normativo nazionale prevede la possibilità di autorizzare la costruzione e l'esercizio di centrali nucleari e di impianti del ciclo del combustibile sul territorio nazionale** (D.Lgs. 101/2020, L. 62/1860) e stabilisce per gli stessi l'obbligatorietà di essere sottoposti alla Valutazione di Impatto Ambientale (D.Lgs. 152/2006, allegato 2). Il Titolo IX del D.Lgs. 101/2020 delinea, in particolare, ex art. 76 e ss, il processo di autorizzazione alla costruzione e all'esercizio degli impianti, prevedendo che:

- spetta all'Ispettorato nazionale per la sicurezza nucleare e la radioprotezione (ISIN) l'esercizio delle funzioni di regolamentazione nell'ambito delle istruttorie tecniche, di controllo e vigilanza sugli impianti nucleari autorizzati e da autorizzare;
- il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica è preposto al rilascio del nulla osta alla costruzione e della licenza di esercizio di impianti nucleari necessarie per l'operatività degli impianti;
- alle Amministrazioni elencate di seguito compete la facoltà di esprimere pareri relativi al progetto di massima e alla ubicazione degli impianti:
  - Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica,
  - Ministero dell'Interno,
  - Ministero del Lavoro e delle politiche sociali,

- Ministero della Salute,
- eventuali altri Ministeri interessati.

Ciò garantisce un processo decisionale articolato e multidisciplinare, che prevede anche il necessario coinvolgimento di diverse competenze istituzionali.

D'altra parte, quello che **l'attuale assetto normativo non prevede sono i criteri e le procedure per la localizzazione degli impianti di potenza sul territorio nazionale**, per i quali vanno considerate anche le competenze concorrenti locali, privilegiando modalità fondate su accordi con le amministrazioni interessate. Le normative introdotte nel 2008-2009-2010 erano molto evolute sotto questo aspetto, ma sono state abrogate dalla legge 26 maggio 2011, n. 75.

La definizione delle tipologie di impianti autorizzabili, nonché dei criteri e delle procedure per la loro localizzazione, dovrebbe essere basata sui principi di massima sostenibilità e sicurezza previsti dalla normativa europea. Inoltre, è auspicabile adottare le tecnologie nucleari avanzate, a partire da quelle realizzabili nel breve periodo, in grado di produrre energia elettrica e calore industriale in quantità e disponibilità sufficienti alle necessità dell'industria italiana.

Nell'ottica di dotare il Paese di un quadro normativo idoneo allo sviluppo dell'energia nucleare, in data 28 febbraio 2025 il Consiglio dei Ministri ha approvato in via preliminare lo schema di **Disegno di Legge delega in materia di energia nucleare sostenibile**. Il provvedimento (che dovrà essere approvato dal Parlamento) conferisce al Governo il compito di adottare, entro dodici mesi dall'entrata in vigore, uno o più decreti legislativi per regolamentare la produzione di energia nucleare, anche in funzione della generazione di idrogeno.

Il provvedimento si fonda sul principio di **neutralità tecnologica**, secondo cui le politiche energetiche non devono favorire a priori una tecnologia rispetto ad altre, ma stabilire obiettivi chiari, come la riduzione delle emissioni di gas climalteranti, lasciando agli operatori di mercato la scelta delle soluzioni più efficaci e competitive. In questa prospettiva, la norma mira a **garantire la sicurezza e la continuità dell'approvvigionamento energetico**, ridurre la dipendenza dall'estero, contribuire alla decarbonizzazione e assicurare costi sostenibili per cittadini e imprese, favorendo al contempo la competitività del sistema industriale nazionale.

Per tradurre questi principi in misure concrete, il provvedimento interviene su diversi ambiti strategici, delineando un quadro normativo articolato che comprende:

- **l'istituzione di un Programma nazionale** per lo sviluppo dell'energia nucleare sostenibile, in linea con la strategia di neutralità carbonica e gli obiettivi di decarbonizzazione;
- **la regolamentazione della disattivazione e dello smantellamento** delle installazioni nucleari esistenti non destinate alla ricerca, definendo anche la destinazione d'uso dei siti dismessi;
- **le procedure per la sperimentazione, localizzazione, costruzione ed esercizio di nuovi impianti nucleari**, compresi quelli destinati alla produzione di idrogeno, con particolare attenzione ai requisiti di sicurezza e radioprotezione;
- **la regolamentazione degli impianti di fabbricazione e riprocessamento del combustibile nucleare**, con specifiche prescrizioni di sicurezza;

- il **riordino del sistema di vigilanza e controllo**, con la possibile istituzione di un'autorità amministrativa indipendente per la sicurezza nucleare;
- il **potenziamento della ricerca e dello sviluppo nel settore della fissione e della fusione nucleare**, anche attraverso incentivi mirati agli investimenti.

Nell'attuazione della delega, il Governo dovrà individuare le tipologie di impianti nucleari autorizzabili sulla base dei criteri di massima sostenibilità e sicurezza, in conformità con la disciplina europea e con le definizioni della IAEA. Saranno privilegiate le tecnologie più avanzate e modulari, in linea con le migliori soluzioni disponibili, per garantire un sistema energetico sicuro, efficiente e compatibile con gli obiettivi nazionali di neutralità carbonica entro il 2050.

Parallelamente, il disegno di legge prevede l'**istituzione di un quadro autorizzativo in linea con gli standard internazionali**, garantendo procedure coerenti con le migliori pratiche europee e internazionali in materia di sicurezza e regolamentazione. A tal fine, viene introdotto un **titolo unico abilitativo** per la costruzione e l'esercizio degli impianti, valido anche come variante agli strumenti urbanistici, con il riconoscimento degli interventi come di pubblica utilità, indifferibili e urgenti. Questo consentirà, ove necessario, di dichiarare l'inalienabilità dei siti e di imporre vincoli preordinati all'esproprio. Inoltre, le autorizzazioni seguiranno **procedure integrate**, coinvolgendo il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica e la futura **Autorità indipendente per la sicurezza nucleare**, assicurando un approccio unitario e coordinato.

A supporto di queste misure, la norma prevede anche il **riconoscimento di certificazioni e titoli esteri**, rilasciati da Stati Membri dell'OCSE-NEA o da Paesi con cui l'Italia ha stipulato accordi bilaterali nel settore nucleare. Questa disposizione faciliterà la cooperazione internazionale e l'integrazione tecnologica, garantendo il rispetto degli standard di sicurezza e qualità riconosciuti a livello globale. Per assicurare la sostenibilità economica dell'intero ciclo di vita degli impianti, il provvedimento introduce l'**obbligo per gli operatori di fornire garanzie finanziarie**, attraverso fondi dedicati alla copertura dei costi di decommissioning e gestione dei rifiuti radioattivi.

Infine, particolare attenzione è riservata alla **comunicazione e al coinvolgimento della cittadinanza**. La legge prevede una **campagna informativa** sull'energia nucleare, con un focus su sicurezza e sostenibilità, oltre a forme di consultazione delle comunità locali interessate dai nuovi impianti. Questo approccio mira a favorire una maggiore consapevolezza pubblica e una gestione trasparente delle scelte energetiche.

## 2.4 Fattori abilitanti e strategia per un programma nucleare sostenibile

Per promuovere l'evoluzione del settore nucleare italiano, occorre un approccio strategico integrato che affronti molteplici dimensioni cruciali. La *roadmap* per lo sviluppo del nucleare sostenibile deve concentrarsi su alcuni elementi chiave, tra cui:

- la definizione di un quadro politico-normativo completo, e coordinato a livello nazionale;
- lo sviluppo di tutte le infrastrutture, materiali e immateriali, come raccomandate nel "Milestones Approach" della IAEA<sup>10</sup>, documento di riferimento per lo sviluppo di un programma nucleare;

<sup>10</sup> IAEA, Milestones in the Development of a National Infrastructure for Nuclear Power, Nuclear Energy Series NG-G-3.1 (Rev. 2) 2024.

- la mappatura, il potenziamento, lo sviluppo delle competenze e la valorizzazione di quelle già esistenti nella filiera industriale e scientifica, ed un'attenta analisi per l'individuazione dei settori che hanno bisogno di un rafforzamento e di quei settori che invece devono essere ricreati;
- la definizione di un programma di investimento che consenta di realizzare tutto quanto sopra, valorizzando in modo integrato le tecnologie esistenti e quelle prospettiche con orizzonte fino al 2050, identificando tutti i costi (compresi quelli assicurativi) e le modalità con cui sia possibile incentivare l'iniziativa privata;

l'istituzione di una "cabina di regia" nazionale che coordini e diriga gli interventi in tutti i settori interessati, assicurandone l'allineamento e l'avanzamento organico e armonioso.

Entrando in un più puntuale livello di dettaglio, tra le **aree di intervento fondamentali** si annoverano, in particolare:

- meccanismi di supporto e garanzia al finanziamento per la realizzazione sul territorio nazionale di impianti nucleari, a partire da quelli di Generazione III+, come gli SMR;
- modalità di sostegno finanziario da dedicare alla ricerca tecnologica, allo sviluppo ed alla qualifica delle nuove tecnologie nucleari, in particolare in relazione agli AMR;
- la gestione efficace dei processi autorizzativi attraverso la predisposizione di una disciplina organica dell'intero ciclo di vita dell'energia nucleare, che sfrutti le esperienze delle altre autorità di sicurezza europee o occidentali, come indicato nel DdL delega;
- un coordinamento e dialogo costante con i gestori delle reti elettriche, onde assicurare stabilità e bilanciamento del sistema energetico;
- la costruzione di un consenso sociale attraverso trasparenza e comunicazione, con campagne informative rivolte alla popolazione con un focus particolare sulla sicurezza e sulla sostenibilità legate alle tecnologie di nuova generazione, valorizzando la complementarità tra le diverse tecnologie nucleari (come SMR ed AMR) ed inserendo lo sviluppo del nucleare in Italia in un quadro di collaborazione e *partnership* a livello multi-nazionale per beneficiare di un adeguato effetto scala su tecnologie ed impianti, mettendo a fattor comune le competenze tecniche e scientifiche;
- l'avanzamento nella realizzazione di un deposito nazionale per lo stoccaggio dei rifiuti radioattivi presenti e futuri.

L'inserimento del nuovo nucleare negli scenari al 2050 del PNIEC 2024 è soltanto il primo passo verso lo sviluppo dell'energia nucleare nel paese. L'obiettivo è creare un ecosistema che consenta all'Italia di accelerare il percorso di decarbonizzazione, massimizzare i benefici economici e industriali e posizionarsi competitivamente nel panorama energetico europeo. Per questo, è fondamentale una visione integrata e strategica di medio-lungo periodo che superi le logiche contingenti e costruisca le basi per un'effettiva transizione energetica.

È con questo obiettivo che il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, nel 2023, ha istituito la Piattaforma Nazionale per un Nucleare Sostenibile (PNNS)<sup>11</sup>, un gruppo di alto livello costituito da tutti i principali attori nazionali del settore nucleare ed organizzato in 7 gruppi di lavoro (GdL), ciascuno focalizzato su una specifica area tematica<sup>12</sup> di interesse per la ripartenza del nucleare in Italia. Compito degli esperti coinvolti nella PNNS è di elaborare raccomandazioni ed una roadmap generale<sup>13</sup>, di supporto al Ministero e al Governo per un'azione integrata nell'ottica di una ripartenza strategica di un programma nucleare.

Tra i mandati della Piattaforma, vi è quello di elaborare proposte utili a ridisegnare l'ambito normativo e di *governance* nazionale.

La definizione di un quadro normativo specifico e coerente a livello europeo rappresenta, infatti, una precondizione essenziale per garantire continuità di investimenti e sviluppo nel settore energetico. Tale considerazione è tanto più valida in quei settori della produzione energetica e industriale che richiedono ingenti impegni economici, con tempi di ritorno a medio-lungo termine e tecnologie innovative. La ripresa della produzione elettroneucleare in Italia necessita quindi di prospettive di *policy* stabili in grado di determinare un quadro regolamentare giuridicamente consistente e condiviso, al fine di ottenere anche una maggiore accettazione sociale di questa tecnologia e consentire ai vari player di pianificare ed approntare con sufficiente anticipo tutti gli aspetti fondamentali per operare nel settore (non solo dal punto di vista economico-finanziario, ma anche nella selezione e formazione delle risorse umane).

A tale riguardo, sulla base delle linee guida internazionali dettate dalla IAEA, l'Italia dovrà anzitutto agire su due aspetti chiave:

- la definizione del quadro normativo nazionale, ispirato alle raccomandazioni dell'EURATOM e della IAEA;
- l'istituzione di un'apposita Agenzia di Controllo (o la designazione di un'Agenzia già esistente, da ridisegnare opportunamente), in possesso di adeguate caratteristiche di indipendenza e dotazioni di personale, strumentali ed economiche.

Per concretizzare l'ipotesi di scenario pianificata dal PNIEC (11%-22% di nucleare nel mix di elettrico al 2050), assunto anche nella PNNS come caso di riferimento, è fondamentale definire – già in questa fase – un piano di azione a livello politico e normativo, che possa quindi confluire in un piano strategico

<sup>11</sup> La piattaforma costituirà lo strumento di raccordo e coordinamento da parte del MASE dei diversi attori nazionali che a vario titolo e livello si occupano di energia nucleare, sicurezza e radioprotezione, rifiuti radioattivi, sotto tutti i profili.

<sup>12</sup> 1 - Contesto, scenari e prospettive; 2 - Tecnologie di Fissione; 3 - Tecnologie di Fusione; 4 - Sicurezza e prevenzione, quadro normativo, certificazione; 5 - Rifiuti e decommissioning; 6 - Formazione ed educazione; 7 - Aspetti trasversali (ambiente, accettabilità sociale, comunicazione, altro).

<sup>13</sup> I rapporti conclusivi dei lavori della Piattaforma sono stati resi disponibili pubblicamente sulla pagina dedicata del sito del MASE.

*ad hoc* che, oltre alle previsioni di scenario energetico e di sviluppo infrastrutturale-elettrico, includa almeno quattro direttrici su cui sviluppare un modello di *governance* specifico:

1. **Sostenibilità** - Valorizzazione della tecnologia nucleare nelle politiche di sostenibilità energetica e ambientale (ESG, Tassonomia EU, rifiuti, emissioni);
2. **Sicurezza (*safety e security*)** - Regolamentazione della sicurezza e protezione dei siti;
3. **Autorizzazione** - Previsione di iter autorizzativi dedicati e rapidi;
4. **Coinvolgimento di cittadini e stakeholder** - Integrazione della regolamentazione in tema di partecipazione, concertazione e compensazione.

### 1. Sostenibilità

La vigente normativa UE prevede una legislazione intesa a migliorare gli standard di sicurezza delle centrali e il corretto smaltimento dei rifiuti radioattivi. Inoltre, secondo il PNIEC, il nucleare, assicurando un approvvigionamento stabile e programmabile di energia, favorisce la diffusione delle fonti rinnovabili potendone compensare ed integrare l'intermittenza.

### 2. Sicurezza

Gli aspetti legati alla sicurezza giocheranno un ruolo essenziale rispetto al tema dell'accettabilità della tecnologia nucleare. Per tale motivo una strategia comunicativa mirata e la previsione di un *corpus* normativo unitario che raccolga tutta la normativa riferibile alla radioprotezione, alla gestione dei rifiuti radioattivi, al *decommissioning* e, in generale, a tutte le fasi del ciclo di vita di ciascun impianto nucleare, potrebbe essere utile per valorizzare il basso rischio associato alla tecnologia nucleare. L'enfasi con cui sono stati evidenziati i rischi di incidenti e quindi gli effetti delle radiazioni evidenzia come sia necessaria un'adeguata divulgazione delle condizioni di sicurezza in cui si troverebbe ad operare un impianto di produzione elettronucleare, soprattutto con riferimento ai rischi estremi di origine naturale compresi terremoti e inondazioni, frequenti in un territorio come quello italiano, anche se di intensità non così elevata come in altri Paesi che da lungo tempo utilizzano l'energia nucleare (ad es. Giappone e Cina).

### 3. Autorizzazione

L'esigenza di stabilire un percorso autorizzativo e di *licensing* dedicato dovrebbe essere supportata anzitutto da un sistema regolatorio e da una Agenzia per la sicurezza nucleare in grado di sovrintendere, in tempi certi, ad un programma di sviluppo dei nuovi reattori, monitorare l'efficacia delle normative e le eventuali criticità di ordine procedurale e autorizzativo che potrebbero rallentare o pregiudicare l'iter amministrativo.

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

Può essere utile, vista la complessità delle opere, delle valutazioni ambientali connesse e soprattutto per la necessità di allinearsi alle più recenti esperienze di settore, promuovere la cooperazione a livello europeo per definire un processo di *licensing* armonizzato tra le agenzie regolatrici nucleari dei diversi Stati europei interessati alla realizzazione delle medesime tecnologie e aderire ad iniziative di *pre-licensing* congiunto.

Le cosiddette European Joint Early Reviews – effettuate nelle fasi iniziali dei progetti in modo congiunto da regolatori, sviluppatori e futuri detentori delle licenze a costruire ed a operare – sono risultate estremamente utili per identificare e risolvere precocemente potenziali problemi e quindi evitare onerosi cambi di progetto nelle fasi successive.

Per quanto riguarda il *permitting*, a livello europeo, le migliori possibilità di accelerazione sono offerte dall'implementazione del Net Zero Industry Act, che 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 energetiche > 1 GW di capacità) di produzione da 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 i sistemi nucleari SMR ed AMR – è di 12 mesi.

A livello statale, una opzione per l'aggiornamento normativo potrebbe prevedere l'integrazione delle attuali procedure autorizzative per la costruzione e l'esercizio di centrali termoelettriche (D.l.7 2022 convertito con modificazioni dalla Legge 9 aprile 2002, n. 55 e s.m.i, Legge 23 agosto 2004, n. 239), e di valutazione e autorizzazione ambientale (VIA/AUA/AIA), scarichi idrici, emissioni in atmosfera.

#### **4. Coinvolgimento di cittadini e stakeholder**

La prossimità temporale dei referendum (quello del 1987 e quello del 2011) con i due incidenti nucleari rilevanti (Chernobyl 1986 e Fukushima 2011) ha influenzato fortemente l'opinione pubblica, creando un clima di ingiustificato scetticismo che ha portato a decisioni con un impatto duraturo sulla politica energetica italiana.

Le maggiori incertezze dei cittadini sono legate alla percezione di rischio connesso al funzionamento di un impianto sul proprio territorio, con la cosiddetta sindrome NIMBY (*Not In My Backyard*) e le dinamiche di tipo LULU (*Locally Unwanted Land Use*). Ciò è principalmente dovuto alla circostanza che, nel settore nucleare, la comunicazione ed il coinvolgimento del pubblico sono resi difficili dalla complessità del tema (di natura per lo più scientifica e tecnica) e dall'eccessiva percezione del rischio da parte della popolazione. L'eccessiva valutazione dei rischi, peraltro, è a sua volta influenzata dalla complessità tecnica del tema, che induce a porre alla base di tale valutazione criteri soggettivi anziché elementi oggettivi. Lasciando alla sezione 6.3 una descrizione più esaustiva, per un nuovo sviluppo nucleare in Italia la strategia di comunicazione dovrebbe includere, tra gli altri elementi:

- lo sviluppo della cultura del coinvolgimento e 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;
- la promozione dell'inclusione degli attori dei territori interessati sui progetti nucleari, anche attraverso l'istituzione di consorzi dedicati;
- l'organizzazione di campagne informative sulle caratteristiche del nucleare sostenibile, sui benefici attivabili a livello di sistema e territoriale;
- l'investimento in programmi di educazione e formazione nelle scuole per aumentare la conoscenza sulle tecnologie nucleari;

- l'eliminazione delle criticità derivanti dall'assenza, in Italia, di un deposito definitivo per i rifiuti radioattivi a bassa attività, o quanto meno ridurle in modo significativo avvicinando l'orizzonte di decisioni condivise su questo tema. Infatti, l'analisi del dibattito pubblico sul nucleare rivela una vulnerabilità, in termini di credibilità, derivante dalla difficoltà di fornire elementi consolidati su questo tema.

#### 2.4.1 Politica energetica stabile e di lungo periodo

L'obiettivo di raggiungere una completa decarbonizzazione del sistema energetico europeo e, allo stesso tempo, di alimentare in maniera continuativa e affidabile tutti i principali vettori energetici, elettricità, calore e idrogeno è strettamente dipendente dalla capacità di poter **prevedere** un modello di transizione energetica nel quale sia presente **una quota stabile di generazione elettrica programmabile** che garantisca stabilità al sistema e con limitate emissioni di gas climalteranti nel ciclo di vita e non dipendente dalle tensioni geopolitiche in termini di costo di produzione. È in questo scenario che si fa più concreta la possibilità di prevedere **l'utilizzo integrato della tecnologia nucleare per la produzione di energia elettrica e calore.**

D'altra parte, le condizioni necessarie allo sviluppo di un programma nucleare possono venire a realizzarsi solamente in presenza di una **ferma determinazione politica, stabile nel lungo termine.** Questa stessa è, peraltro, elemento essenziale anche per la sottostante una politica energetica, la cui visione non può restare confinata all'immediato orizzonte.

Se già la politica energetica deve basarsi su visione e su una corrispondente determinazione di lungo termine, il ricorso alla fonte nucleare esige una ancor maggiore stabilità politica e decisionale per poter trovare le condizioni necessarie allo sviluppo.

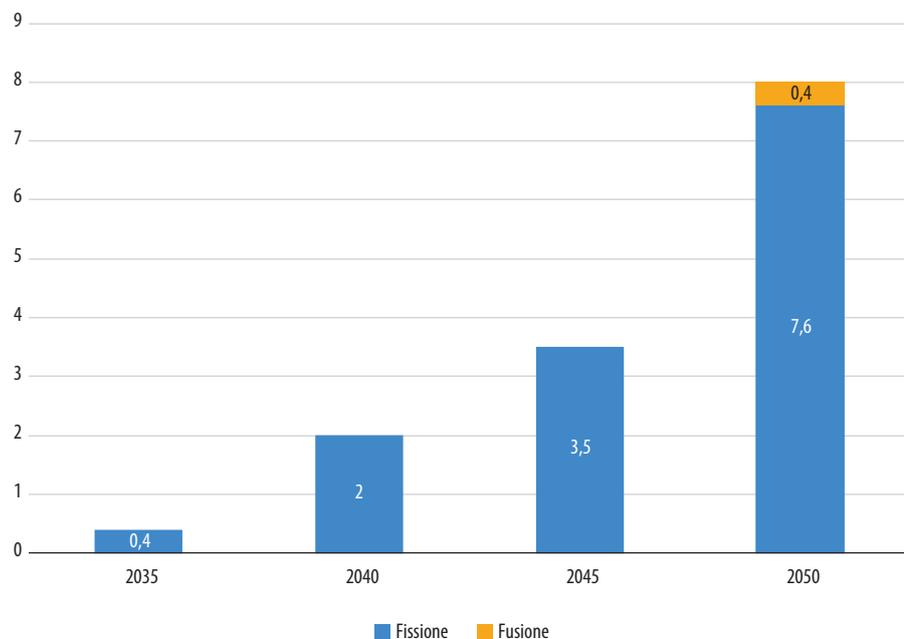
Complice anche l'inclusione del nucleare nella Tassonomia UE (si veda sezione 2.1), le politiche energetiche nazionali nell'UE hanno rapidamente iniziato a mutare a favore del nucleare. A titolo di esempio, la Svezia nel 2023 ha rimpiazzato il proprio obiettivo di elettricità 100% rinnovabile al 2040, con quello di elettricità 100% senza fossili, abbandonando la strategia di fuoriuscita dal nucleare e consentendo di perseguire piani per nuovi impianti.

L'interesse crescente per il nucleare ha indotto i Governi europei a favore ad istituire un coordinamento di iniziativa politica, la *Nuclear Alliance*, alla quale l'Italia ha aderito a giugno 2025 dopo due anni come osservatore. In parallelo, a inizio 2025, è stata costituita la *European Business Nuclear Alliance*, che raggruppa 14 confederazioni imprenditoriali, tra le quali Confindustria e che si propone di rappresentare congiuntamente, verso i decisori politici, la necessità di rimuovere le barriere esistenti per lo sviluppo del settore nucleare europeo.

La stessa presenza - tra le organizzazioni che aderiscono all'Alleanza Industriale - di decisori politici (tramite i Ministeri competenti) e di Regolatori europei (con ruolo di osservatori esterni) riflette l'interesse verso gli SMR ed AMR non solo di diversi Stati Membri (quali Belgio, Bulgaria, Estonia, Finlandia, Norvegia, Polonia, Repubblica Ceca, Romania, Slovacchia, Slovenia e Svezia, i cui programmi includono esplicitamente tali tecnologie), ma anche di altri Paesi UE ex extra-UE che guardano in prospettiva a queste soluzioni.

A livello italiano, un primo segnale di cambiamento si è avuto tramite **l'inclusione nel PNIEC 2024 di uno scenario energetico di lungo termine nel quale si considera una quota nucleare di circa 2 GW al 2040 (capace di coprire il**

**3% circa della copertura del fabbisogno di energia elettrica nazionale) e fino a 8 GW al 2050 (arrivando così all'11% circa del fabbisogno totale).** Nella fase iniziale, lo scenario prevede lo sviluppo di SMR, in virtù della maggior maturità tecnologica, affiancati in un secondo momento da sistemi AMR. Solo a ridosso della metà del secolo, il PNIEC considera anche l'effetto di una possibile integrazione con l'energia da fusione, arrivando a comporre lo scenario rappresentato in Figura 2.1.



**Figura 2.1**  
Sviluppo della capacità di generazione nucleare nello scenario considerato, rappresentata unicamente da nucleare avanzato (SMR ed AMR) e, successivamente al 2050, da una quota di energia da fusione  
(Fonte PNIEC, giugno 2024)

Nel PNIEC è anche presentata anche una stima dei valori di costo per gli scenari considerati, ivi incluso quello che, al 2050, contempla il ricorso al nucleare. L'analisi condotta arriva a concludere che **lo scenario con nucleare sarebbe in grado di raggiungere l'obiettivo "Net Zero" con un risparmio stimato di circa € 17 miliardi** rispetto al costo di uno scenario senza nucleare, su tutto l'orizzonte temporale preso a riferimento.

Il sistema energetico nazionale condivide con quello europeo le medesime sfide alla decarbonizzazione e sicurezza di approvvigionamento: nel 2023<sup>14</sup>, la quota di produzione energetica da fonti rinnovabili e bioliquidi è stata pari al 19,9%, mentre la dipendenza energetica dall'estero rimane considerevole, con una quota di importazioni nette pari al 74,6% della disponibilità lorda. Di queste, più di un terzo sono relative a gas naturale: l'Italia risulta così il Paese dell'Unione Europea che più dipende dalle importazioni di gas naturale nel proprio mix energetico. In conseguenza di ciò, il sistema energetico italiano, e di riflesso quello industriale, sono dunque più esposti agli effetti dovuti alla volatilità dei prezzi del gas, rendendo ancora più centrale l'obiettivo di diversificazione delle fonti, e quindi più urgente l'attuazione di una soluzione che garantisca la stabilità dei prezzi di fornitura dell'energia. È utile sottolineare il fatto che ampie fluttuazioni dei prezzi dell'energia possano infatti avere un impatto (negativo) sulla capacità industriale molto più severo di quello dato dall'approvvigionamento di energia a prezzi (leggermente) più elevati, purché stabili.

<sup>14</sup> <https://www.mase.gov.it/comunicati/energia-relazione-mase-su-situazione-energetica-nel-2023-meno-dipendenza-da-estero-e-piu>.

È altresì da notare – per le implicazioni tanto sui prezzi dell'energia quanto relativamente all'approvvigionamento – come, nel computo della dipendenza energetica, sia inclusa l'importazione di elettricità dall'estero, per una quota attorno al 15% della domanda totale, in gran parte prodotta con fonte nucleare da Francia, Svizzera e Slovenia.

In aggiunta a ciò, il territorio nazionale pone due ulteriori aspetti all'attenzione.

Da un lato, al disaccoppiamento temporale tra produzione da fonti rinnovabili e domanda di energia, si aggiunge quello geografico, dato dalla maggior localizzazione di impianti a fonti rinnovabili variabili al Sud, contro una maggior concentrazione di impianti industriali al Nord. Questa condizione rende ancora più cruciale la presenza di fonti di generazione programmabili e più facilmente localizzabili in maggior prossimità dei centri di grande consumo, quale il nucleare.

L'elevata densità di popolazione, inoltre, pone seri vincoli all'uso del suolo, rendendo preferibili quelle fonti – ancora, come il nucleare – che ne facciano un minor uso a parità di energia prodotta.

Il prendere in considerazione il nucleare in Italia, nonostante l'abbandono di tale fonte nel 1987, è reso possibile dal fatto che il sistema nazionale non abbia mai smesso di operare nel settore, non soltanto con la ricerca, ma anche con l'industria, supportando e contribuendo a svariati progetti – inclusi alcuni dei più recenti ed avanzati – su scala internazionale. A riprova di ciò, sono 46 le organizzazioni italiane che hanno aderito all'EU Industrial Alliance on SMR; inoltre, dei nove progetti selezionati in prima istanza dall'Alleanza, due – EU-SMR-LFR project e European LFR AS Project – sono direttamente promossi da organizzazioni italiane, mentre altri quattro – Nuward, Rolls-Royce SMR, NuScale VOYGR™ e SMR CityHeat project – beneficiano di un supporto più o meno ampio da altre organizzazioni nazionali.

L'inclusione nel PNIEC, tra gli scenari energetici di riferimento, di una opzione in cui si fa ricorso al nucleare è una prima dimostrazione non solo della presa di coscienza della potenziale disponibilità di una ulteriore fonte strumentale alla decarbonizzazione, ma anche della consapevolezza degli ulteriori vantaggi che il ricorso al nucleare comporterebbe per il Paese. Per quanto rilevante, a questo primo passo è però essenziale far seguire ulteriori azioni intese a stabilire e consolidare una strategia nazionale. L'obiettivo principale, che deve essere raggiunto nel breve periodo, riguarda la costruzione di una politica energetica stabile, fondata su elementi – quali il nucleare – che rendano il sistema nazionale capace di gestire tutte quelle variabili che oggi sono comunemente associate alle fluttuazioni del mercato dell'energia, alla disponibilità delle fonti e alla incertezza rappresentata dalle frequenti evoluzioni normative e regolamentari: tutti fattori in grado di incidere negativamente sulla sostenibilità degli schemi di finanziamento, sulla redditività degli investimenti e sulle tempistiche di attuazione degli interventi e, in ultima analisi, sul costo finale dell'energia.

#### **2.4.2 Proposte per un quadro tecnico-normativo per l'industria nazionale**

Avviare un programma nucleare è un'azione complessa che richiede pianificazione, preparazione e investimenti mirati. In linea con quanto messo in rilievo dalla IAEA<sup>15</sup>, la decisione di intraprendere questa strada deve essere accompagnata dall'impegno a garantire l'uso sicuro e pacifico dell'energia nucleare, riconoscendo la necessità di risorse finanziarie e umane adeguate, con parti-

<sup>15</sup> Milestones in the Development of a National Infrastructure for Nuclear Power

colare attenzione al rafforzamento delle istituzioni competenti. Per raggiungere questi obiettivi, è quindi fondamentale sviluppare un'infrastruttura nazionale che fornisca supporto a livello governativo, legale, normativo, gestionale, tecnologico e industriale, coinvolgendo tutte le parti interessate per l'intero ciclo di vita del programma nucleare. Questa infrastruttura istituzionale dovrà comprendere tutte le infrastrutture materiali e immateriali coinvolte, e in particolare risorse umane e finanziarie adeguate, insieme alla definizione di un quadro normativo idoneo per l'attuazione del programma.

#### 2.4.2.1 Governance istituzionale

Il Paese che adotta il programma nucleare ha la responsabilità di **creare e predisporre l'infrastruttura necessaria e adeguata**. Dopo una fase iniziale di impegno politico necessaria all'avvio di un nuovo programma, il passo successivo è l'**istituzione di un nuovo quadro normativo**. Questo quadro dovrà disciplinare in modo organico ed esaustivo sia la definizione degli obiettivi strategici e programmatici, sia le procedure autorizzative, nel rispetto dei più recenti standard europei e internazionali. A tal proposito, la Direttiva Sicurezza 71/2009/EURATOM richiede che gli Stati Membri istituiscano e mantengano un quadro legislativo, normativo e organizzativo nazionale per la sicurezza delle installazioni nucleari dotata dei poteri giuridici, delle risorse umane e finanziarie necessari per adempiere ai suoi obblighi.

Per avviare la valutazione e l'iter autorizzativo di nuovi impianti è pertanto **fondamentale e urgente la creazione di una Autorità competente** e dotata di una effettiva indipendenza nei processi decisionali regolatori. Quest'ultima è sia garante del successo a lungo termine di un programma nucleare nazionale, sia essenziale per preservare la fiducia dell'opinione pubblica e della comunità internazionale.

La configurazione di un'Autorità qualificata per il **licensing** degli impianti nucleari potrebbe prevedere, come avviene in altri Paesi, che le competenze relative all'autorizzazione alla costruzione e all'esercizio degli impianti vengano affidate all'Autorità per la Sicurezza Nucleare. Nel caso italiano, si potrebbe, in particolare adeguare la natura giuridica ed estendere i compiti, le funzioni e le risorse umane e finanziarie già assegnate all'Ispettorato nazionale per la sicurezza nucleare e la radioprotezione (ISIN), istituito dal D.Lgs. 45/2014, cui sono attribuiti i requisiti di Autorità nel campo della sicurezza nucleare e della radioprotezione. Dovrà anche essere individuato il soggetto a cui attribuire i compiti e le competenze in tema di security e salvaguardie.

L'aspetto delle risorse è regolamentato dalle Direttive comunitarie in materia di sicurezza nucleare, segnatamente le Direttive (UE) 71/2009, 87/2014 (che emenda ed integra la Direttiva 71/2009) e la Direttiva 70/2011. Le stesse Direttive prevedono che l'Autorità possa impiegare risorse e competenze scientifiche e tecniche esterne a sostegno delle sue funzioni potenziando il numero e le competenze del personale. In questa direzione va quanto disposto dal D.Lgs. 45/2014 che prevede che, per lo svolgimento dei propri compiti, l'ISIN può avvalersi, previa la stipula di apposite convenzioni, dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) e delle Agenzie provinciali e regionali per la protezione dell'ambiente a fini di supporto tecnico scientifico e di organizzazioni che soddisfino i principi di trasparenza e indipendenza da soggetti coinvolti nella promozione o nella gestione di attività in campo nucleare. Gli standard IAEA prevedono in fase di esercizio, il supporto di una "organizzazione di supporto tecnico-scientifico" (*Technical and Scientific Support Organization, TSO*), cui attribuire il compito di eseguire revisioni e valutazioni tecniche indipendenti per accertare se un impianto soddisfa gli obiettivi e i requisiti di sicurezza.

Solitamente le soluzioni adottate a livello internazionale in relazione alle TSO sono due: TSO interna o esterna all'autorità di sicurezza. Nel primo caso, adottato storicamente da paesi quali Stati Uniti (US NRC), Canada (CNSC), Giappone (NRA) e recentemente dalla Francia (con la fusione tra ASN e IRSN), l'Autorità ingloba al proprio interno la TSO alla quale affidare il supporto tecnico scientifico negli ambiti fondamentali che riguardano la sicurezza nucleare. Un approccio di questo tipo permette semplificazioni dal punto di vista della gestione dei processi autorizzativi e del flusso delle comunicazioni, senza precludere la possibilità, comunque, di delegare alcune pertinenze in ambito tecnico-scientifico ad organizzazioni esterne che possano supportare l'attività dell'Autorità di controllo. Il secondo caso, quello di TSO esterna, è invece adottato da paesi quali Belgio, Finlandia e Germania. Il ricorso al TSO esterne permette all'Autorità di sicurezza di interfacciarsi con entità che, per costituzione e per mandato, sono naturalmente deputate a partecipare attivamente all'interno della comunità scientifica, con una formazione continua di cui la stessa Autorità può beneficiare, oltre a fornire in molti casi un parere terzo su questioni tecniche e tipologie di analisi da valutare in sede autorizzativa, in grado quindi di dare completezza alle verifiche di sicurezza svolte. Le due soluzioni saranno approfondite nell'ambito della redazione dei decreti delegati previsti nel DdL Delega.

#### 2.4.2.2 Impianto legislativo e procedure autorizzative

Per quanto concerne l'ambito autorizzativo, le attuali direttive EURATOM e le normative nazionali ambientali sono sufficientemente consolidate per essere applicate anche alle tecnologie nucleari di nuova generazione. In particolare, in linea con il sopra richiamato Decreto Legislativo 31 luglio 2020, n. 101, si ritiene opportuno introdurre un processo di autorizzazione che consenta di garantire certezza dell'investimento tramite un approccio flessibile, suddiviso in fasi distinte e autorizzazioni a step. Questo approccio consentirebbe di accelerare la realizzazione dei progetti, ridurre i ritardi e attrarre investimenti, senza compromettere gli alti standard di sicurezza e ambientali che contraddistinguono l'attuale quadro normativo.

La struttura del processo autorizzativo proposta si articolerebbe in due macro-fasi:

- la fase preparatoria vedrebbe gli operatori sottoporre all'Autorità di controllo una presentazione dettagliata del progetto, includendo il livello di maturità tecnologica e il design concettuale del progetto standardizzato. L'Autorità in questa fase potrà usufruire delle considerazioni espresse da altre Autorità europee (eventualmente partecipando direttamente a *joint safety evaluation*), raccogliere informazioni sulle tempistiche dei test e delle sperimentazioni necessarie a supporto, approvando il progetto standard e definendo nel dettaglio l'iter successivo di verifica e validazione dello stesso;
- la fase autorizzativa si svilupperebbe dalla preistrutturazione all'istrutturazione vera e propria, durante la quale l'ente di controllo sorveglia la progettazione dello specifico impianto sul sito prescelto, guidando gli esercenti nelle richieste di autorizzazione per le successive fasi di costruzione, messa in servizio ed esercizio.

Per allineare immediatamente il processo di autorizzazione agli sviluppi in corso a livello europeo, è cruciale perseguire un'interpretazione e un'applicazione equivalente delle normative tra gli Stati Membri dell'UE, promuovendo l'armonizzazione degli standard autorizzativi. Ciò è necessario per creare condizioni di parità nello sviluppo del nucleare di nuova generazione, ridurre i tempi realizzativi e supportare la competitività degli operatori impegnati in diversi Paesi a livello europeo. Per addivenire a tale risultato, si potrebbe eventualmente immaginare che

alcune fasi del processo autorizzativo, come ad esempio la preparatoria o quella autorizzativa vera e propria, siano armonizzate grazie al pieno raccordo tra le singole Autorità di sicurezza nazionali che potrebbero a loro volta essere organizzate secondo un modello confederativo europeo (ad esempio estendendo il ruolo di ENSREG) e/o immaginare la previsione di regimi amministrativi specifici per il riconoscimento di titoli abilitativi già rilasciati dalle autorità competenti di uno Stato estero, sulla base di accordi bilaterali o multilaterali (ad esempio attraverso organizzazioni internazionali come l'Agenzia per l'Energia Nucleare (Nuclear Energy Agency, NEA) dell'Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico, OCSE), senza pregiudicare le competenze dell'Autorità per la sicurezza nucleare in fase di istituzione. Una prima applicazione di tale modello potrebbe riguardare alcuni dei progetti attualmente selezionati al livello UE come *Project Working Group* della *EU Industrial Alliance on SMR*, in funzione degli interessi nazionali.

### 2.4.3 Certificazione degli operatori (qualificazione di componenti e sistemi)

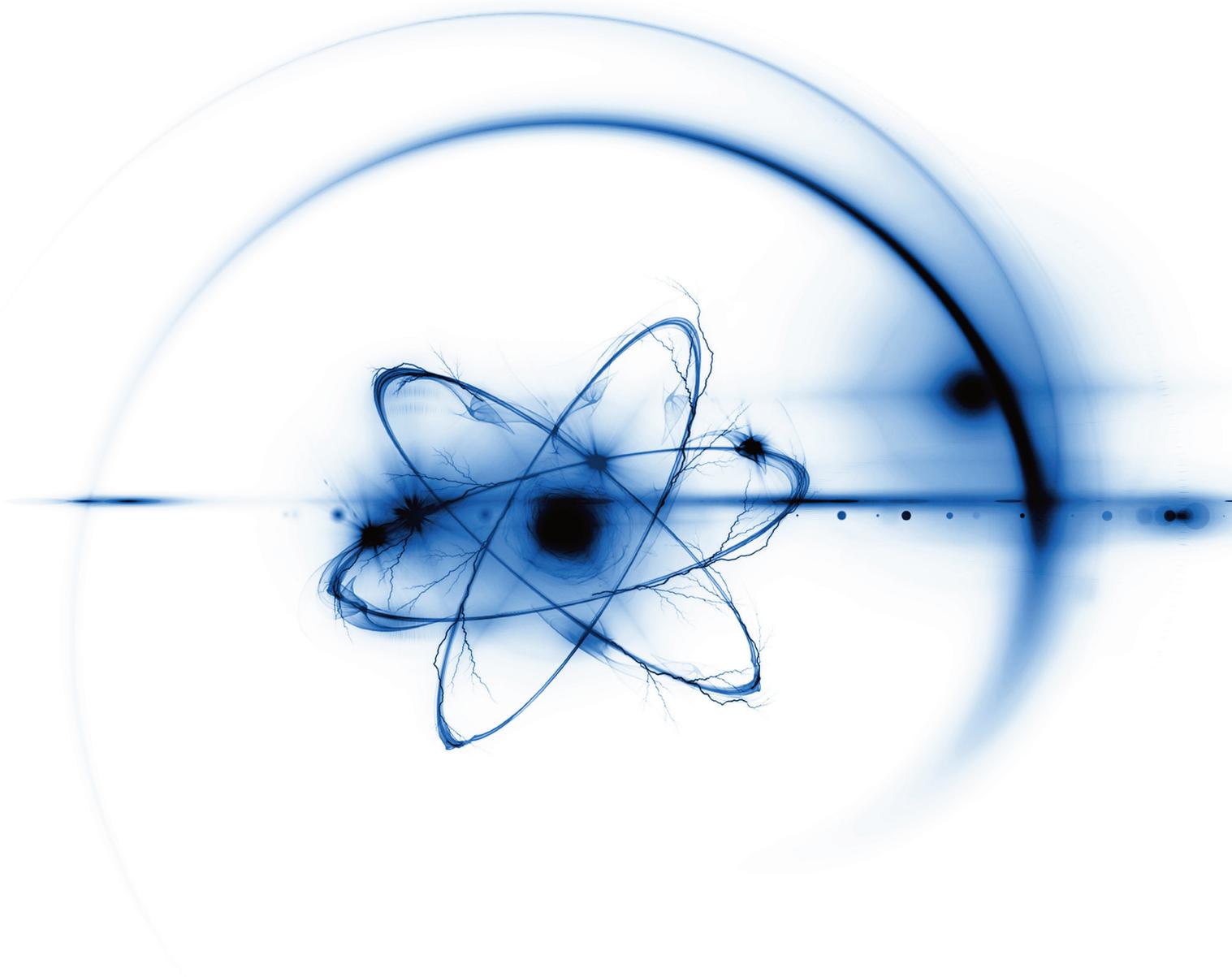
L'aspetto della certificazione degli operatori nel comparto nucleare si declina essenzialmente attorno a due temi principali, quello delle **forniture di componenti e sistemi di impianto** e quello dell'**esercizio dell'impianto stesso**.

Uno degli aspetti cruciali per consentire ad aziende italiane di fornire componenti e sistemi per la realizzazione di impianti nucleari è quello della **certificazione di "operatori economici"**. In questo senso occorrerebbe predisporre ed implementare, nel quadro più generale del quadro nazionale di sicurezza nucleare (intesa come *nuclear safety*), norme che in maniera chiara ed univoca stabiliscano i criteri di certificazione. Ad esempio, a fronte della normativa di progetto adottata dal *vendor* per la standardizzazione del suo prodotto, potrebbe essere riconosciuto come riferimento qualificante da parte dell'Autorità di sicurezza nucleare l'ottenimento di certificazioni rilasciate da organismi autorizzati, anche internazionali. Allo stesso tempo, riconoscere legalmente valida una certificazione di tale tipo, consentirebbe di snellire anche il processo opposto, ovvero di verifica sull'importazione dall'estero di componentistica necessaria alla realizzazione di impianti nucleari in Italia. La **certificazione dei componenti** è assolutamente fondamentale anche per ridurre rischi di frodi, contraffazioni o problemi di *nuclear security*. In considerazione dell'entrata sul mercato di reattori di tipo SMR ed AMR di vario tipo è auspicabile che il sistema regolatorio di un dato paese possa riconoscere più di una certificazione, lasciando così al *vendor* l'onere di dimostrare l'adeguatezza del sistema di standard prescelto rispetto ai requisiti di legge vigenti. Alcune iniziative di armonizzazione internazionale sono state recentemente avviate proprio per ridurre le difficoltà associate al problema di dover ricorrere a differenti sistemi di norme e standard, proprio in previsione dell'entrata sul mercato dei reattori SMR o AMR. Tuttavia, risulta assai difficile prevedere gli esiti o l'efficacia di quanto messo in atto al momento, al punto da rendere auspicabili ulteriori sforzi, perlomeno a livello di Unione Europea.

L'aspetto della **certificazione degli operatori**, intesi nel senso attribuito IAEA alle *operating organization* o alle *authorized party*, è altrettanto importante di quello per componenti e sistemi. Nei primi anni di utilizzo di un impianto nucleare realizzato in un paese nuovo al nucleare – quale potrebbe essere l'Italia –, può anche accadere che l'impianto sia esercito da un operatore straniero (in genere dal paese fornitore dell'impianto). In questi primi anni è necessario fare simultaneamente formazione nei confronti di personale locale subentrante che, col tempo, si sostituirà a quello iniziale straniero. Sono possibili anche differenti approcci con personale italiano che vada in addestramento all'estero, presso operatori dello stesso reattore prima della realizzazione del reattore

italiano. In tale configurazione anche la stessa Autorità può essere addestrata sullo stesso reattore dall'autorità dello stato che ha autorizzato tale reattore. Questo approccio usa uno schema "2+2" tipico dell'approccio di *capacity building* in una nazione. Laddove possibile, sono anche previste soluzioni miste sin dal principio. Il personale operatore dovrà essere oggetto di opportuna certificazione, che dovrà essere riconosciuta dall'Autorità di sicurezza nucleare, a valle di una serie di lunghe e specifiche attività formative (negli USA, ad esempio, sono in vigore gli US-NRC Operator License Eligibility Requirements, collegati alle attività della National Academy of Nuclear Training). Per il caso nazionale si dovranno prevedere opportune normative per il riconoscimento di personale estero o italiano formato all'estero grazie alle competenze intra-gruppo alle quali possono ad esempio accedere alcuni operatori nazionali, certificato nel paese di origine, ed opportune attività di formazione specifiche post-laurea per la certificazione del personale italiano operante sul territorio.

# 3. TECNOLOGIE E SCENARIO



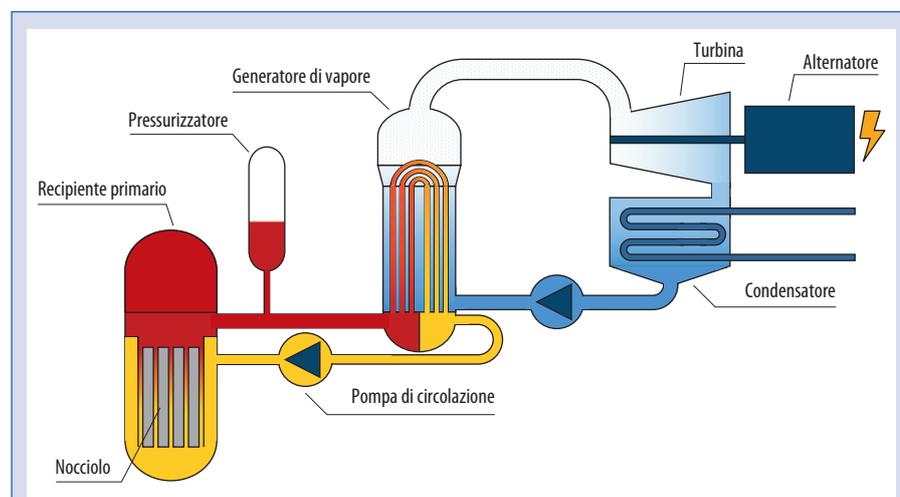


3. **non è sensibile alle variazioni del prezzo del combustibile** (che a sua volta incide solo in piccolissima parte sul costo dell'energia prodotta),
  4. **occupa la minima superficie di suolo;**
- **consente di disporre di riserve strategiche** di combustibile per far fronte anche a lunghissimi periodi di mancato approvvigionamento con minimi volumi di stoccaggio ed a bassi costi.

La fissione può essere indotta con neutroni solo nel nucleo di elementi pesanti, il principale dei quali – tra quelli presenti in natura – è l'uranio. L'atomo di uranio può presentarsi in tre forme diverse – *isotopi*<sup>17</sup> – aventi ben diverso comportamento nucleare. Dei tre isotopi, infatti, solamente uno – l'uranio-235, o  $^{235}\text{U}$  – è effettivamente *fissile*, ovvero capace di scindersi anche quando indotto a farlo da un neutrone di bassa energia (o lento) e, anzi, con probabilità tanto maggiore quanto minore è l'energia del neutrone<sup>18</sup>. L'isotopo  $^{235}\text{U}$  rappresenta lo 0,7% circa dell'uranio presente in natura. Gli altri due isotopi –  $^{234}\text{U}$  e  $^{238}\text{U}$  – possono invece scindersi solo qualora il neutrone incidente sia sufficientemente energetico (veloce): sono, per questo, denominati *fissionabili*.

### 3.1.1 Principio di funzionamento della fissione nucleare nei reattori

In un impianto nucleare, il combustibile rilascia l'energia da fissione nel *nocciolo* del reattore, ove è confinato. **Da quando il combustibile viene caricato nel nocciolo, il reattore è capace di operare a piena potenza per lunghi periodi di tempo** (tipicamente tra i 12 e i 18 mesi), fino a quando la quantità di fissile residua non garantisce la funzionalità dell'impianto e ne occorre il ricambio.



Schema d'impianto di un PWR: reattore ad acqua pressurizzata

Gli impianti nucleari più comuni (PWR) sono caratterizzati da tre diversi circuiti di trasferimento del calore. Il **circuito primario** rimuove la potenza dal nocciolo. Mediante uno scambiatore (generatore di vapore) il circuito primario cede il calore al **circuito secondario**, che trasporta il vapore così generato ad una grande turbina, la cui rotazione aziona un alternatore. Il vapore residuo allo scarico della turbina è quindi riportato in fase liquida in un altro scambiatore (condensatore) ad opera del **circuito terziario**. I tre circuiti sono fisicamente separati, impedendo dunque il mescolamento dell'acqua tra questi.

<sup>17</sup> Gli isotopi sono atomi i cui nuclei contengono il medesimo numero di protoni (dunque atomi dello stesso elemento chimico), ma un numero diverso di neutroni (dunque aventi masse differenti).

<sup>18</sup> I neutroni emessi dalla fissione sono molto veloci: per rallentarli fino alle energie per le quali siano massimamente efficaci nell'indurre fissione in un nucleo fissile, è necessario impiegare nel reattore un mezzo apposito, detto *moderatore*.

**Un fluido refrigerante viene quindi impiegato per rimuovere il calore dal nocciolo, e trasportarlo in ultima istanza verso il sistema di conversione della potenza, dove perviene in forma di vapore per alimentare una turbina connessa a un alternatore che genera elettricità.**

Questo schema, comune a tutti gli impianti nucleari, conferisce loro due caratteristiche rilevanti:

1. la disponibilità di calore (tipicamente sotto forma di vapore in pressione), dunque la possibilità di esercire l'impianto in modalità cogenerativa associando alla produzione di elettricità anche quella di calore di processo;
2. la disponibilità, per la rete elettrica, di una grande potenza di corto circuito ed una elevata inerzia (conseguenze della presenza di una grande massa rotante, la turbina, connessa all'alternatore), entrambe essenziali per la qualità della fornitura in tensione e frequenza agli utenti finali, dunque per la sicurezza di funzionamento del sistema elettrico (come discusso nella Sezione 3.1.3).

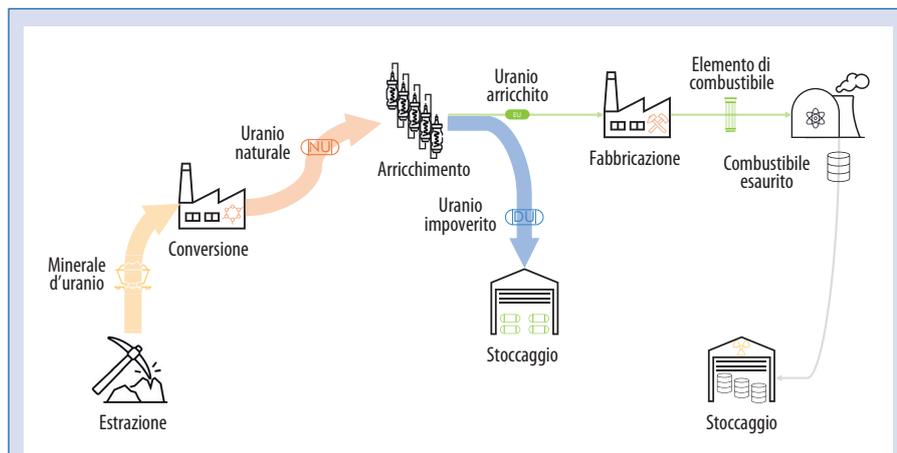
**Gli impianti nucleari possono invece differire in base al tipo di reattore** (incluso il relativo schema d'impianto) utilizzato per produrre il vapore richiesto.

Alla base delle principali differenze è la scelta di perseguire la **fissione con neutroni lenti** (caso dei reattori detti *termici* o *a spettro termico*) o **con neutroni energetici** (reattori *veloci* o *a spettro veloce*). Questa scelta determina in primis la **scelta del refrigerante impiegato nel reattore**: nei reattori termici la scelta più comune ricade sull'acqua, il cui elevato potere moderante consente di non dover introdurre un mezzo dedicato per rallentare i neutroni; viceversa, nei reattori veloci è prassi comune optare per un fluido che non abbia potere moderante, qual è un metallo liquido, un sale fuso o un gas.

A sua volta, dalla scelta del refrigerante conseguono ulteriori differenze, tra le quali la **temperatura di esercizio del reattore** e massima ottenibile per il vapore in turbina o per il calore di processo. In un reattore refrigerato ad acqua, le temperature massime sono di poco superiori ai 300 °C; viceversa, in un reattore refrigerato tramite sistemi non convenzionali come metalli liquidi, gas o sali fusi, si possono raggiungere temperature sensibilmente maggiori, anche fino a 800/950 °C circa.

La scelta di operare un reattore a spettro termico o veloce si riflette, infine, anche nel **tipo di combustibile** necessario all'esercizio. Nei reattori termici, in cui i neutroni sono massimamente efficaci a scindere i nuclei fissili, come combustibile è sufficiente un uranio debolmente *arricchito*, ovvero il cui tenore dell'isotopo <sup>235</sup>U (**Uranio-235**) sia incrementato fino al 3 ÷ 5% (4 ÷ 7 volte superiore rispetto al valore naturale di 0,7%). In un reattore a spettro veloce, invece, è richiesto un arricchimento di uranio o un contenuto di plutonio decisamente superiore, tipicamente compreso tra il 15% ed il 30%.

## Ciclo aperto del combustibile



Negli impianti attualmente in esercizio, il minerale di uranio estratto dalla miniera viene convertito in forma gassosa per poter essere arricchito a mezzo di centrifughe meccaniche. Questa operazione fa sì che, di circa 8 t di uranio naturale, se ne produca una di uranio arricchito; le rimanenti 7 t circa, di uranio *impoverito*, restano invece inutilizzate. Con l'uranio arricchito sono quindi fabbricati gli elementi di combustibile che vengono caricati nel reattore. Al termine del loro sfruttamento, gli elementi di combustibile – a questo punto detto esaurito – vengono scaricati dal reattore, immobilizzati in contenitori ermetici e schermanti, e stoccati in appositi depositi. Questo schema, in cui il combustibile è utilizzato una sola volta in reattore, viene detto **ciclo aperto**.

### 3.1.2 Le nuove tecnologie come gli SMR e gli AMR

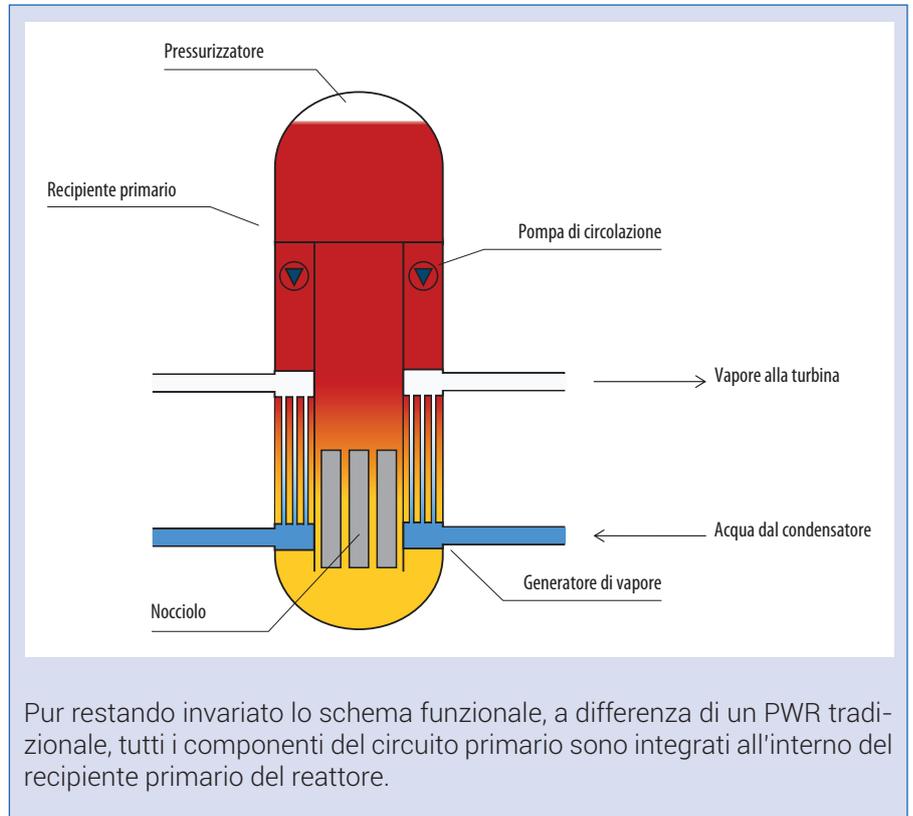
Come in tutti i processi (non solo industriali) l'ingegneria nucleare persegue il continuo miglioramento, sviluppando tecnologie, componenti, sistemi e processi produttivi sempre più avanzati, al fine di incrementare l'efficienza, l'affidabilità e la sicurezza degli impianti e ridurre il costo dell'energia prodotta. Osservando il progresso storico dell'evoluzione nucleare, è possibile identificare alcuni passaggi in cui, invece del continuo miglioramento a passo costante, si possono distinguere avanzamenti più marcati e repentini: discontinuità tali da marcare, per l'industria nucleare, un passaggio generazionale<sup>19</sup>. Qualcosa di simile è in corso oggi, con due grandi innovazioni che si prospettano disponibili all'impiego in tempistiche compatibili con gli obiettivi di decarbonizzazione.

La prima direzione di avanzamento, che dà concretezza alla **Terza Generazione Avanzata (Generation-III+)**, si basa sulla riduzione della taglia di impianto (che generalmente non supera i 400 MWe) e, al contempo, sull'introduzione massiccia dei concetti di modularizzazione, standardizzazione e serializzazione. I progetti in corso di sviluppo, ricadenti in questa categoria, sono detti pertanto piccoli reattori modulari (**Small Modular Reactor – SMR**), e puntano, in virtù di queste caratteristiche, a massimizzare la quota parte delle operazioni

<sup>19</sup> I primi prototipi di impianto, risalenti agli anni '50 del secolo scorso, definiscono la cosiddetta Prima Generazione (*Generation-I*). Il passaggio alla maturità tecnologica di questi ha determinato l'evoluzione alla Seconda Generazione (*Generation-II*) tra la fine degli anni '60 ed i primi anni '70. L'introduzione di concetti e sistemi innovativi, principalmente di sicurezza – inclusi sistemi di sicurezza passivi, cioè basati su fenomenologie fisiche/naturali e dunque capaci di operare spontaneamente, anche senza necessità di intervento umano –, ha quindi determinato, negli anni '90, l'ulteriore evoluzione degli impianti alla Terza Generazione (*Generation-III*).

di costruzione condotte all'interno delle fabbriche, invece che sul sito: operazioni che, standardizzate, consentano di ridurre i tempi di costruzione e, conseguentemente gli associati oneri finanziari; di limitare i costi di investimento e di autorizzazione (*licensing e siting*); nonché di fare più ampiamente leva sulle economie di serie.

**Schema di un SMR del tipo PWR integrato**



Nella maggioranza dei casi, questa strategia di avanzamento trova applicazione su reattori della medesima tecnologia degli attuali impianti, che, pur mantenendo i medesimi principi fisici ed i materiali caratteristici, in alcuni casi vengono ulteriormente modificati nello schema di impianto, passando da una configurazione tradizionale a circuito ad una cosiddetta *integrata*. D'altra parte, il ricorso alla tecnologia degli attuali impianti fa sì che gli SMR si possa sfruttare non solo tutta la conoscenza derivata da oltre 50 anni di utilizzo dell'energia nucleare (per un totale di oltre 20.000 anni di funzionamento complessivo di tutto il parco mondiale di reattori di potenza – i.e. commerciali)<sup>20</sup>, ma anche di una filiera consolidata di fornitura di componenti, sistemi, servizi e combustibile.

In virtù di questo vantaggio, dei circa 40 progetti di SMR intrapresi in tutto il mondo<sup>21</sup>, uno è già in esercizio ed altri due sono attualmente in fase di costruzione.

L'altra grande innovazione trae spunto dai lavori del *Generation-IV International Forum*<sup>22</sup> che, sul finire del secolo scorso, ha immaginato le caratteristiche della **prossima (Quarta) Generazione di impianti nucleari**, secondo i principi di sicurezza, sostenibilità, economicità e non-proliferazione. Gli esperti del forum

<sup>20</sup> Fonte IAEA Power Reactor Information System (PRIS), <https://pris.iaea.org/pris/home.aspx>.

<sup>21</sup> Fonte IAEA Advanced Reactor Information System (ARIS), <https://aris.iaea.org>.

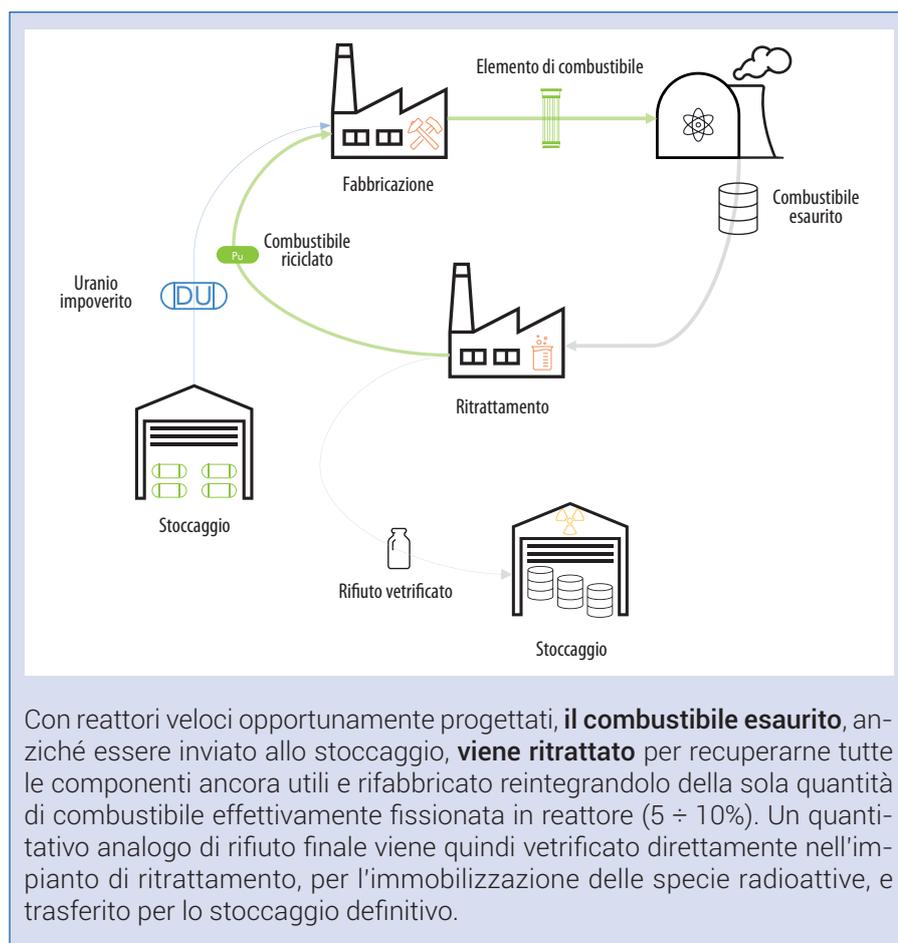
<sup>22</sup> <https://www.gen-4.org/>.

hanno anche individuato, tra le svariate tecnologie di reattori, quelle col più alto potenziale di riguardare tutti gli obiettivi stabiliti, ovvero:

- il reattore veloce raffreddato a gas (*gas-cooled fast reactor – GFR*);
- il reattore veloce raffreddato a piombo (*lead-cooled fast reactor – LFR*);
- il reattore a sali fusi (*molten salt reactor – MSR*);
- il reattore ad acqua supercritica (*supercritical water-cooled reactor – SCWR*);
- il reattore veloce raffreddato a sodio (*sodium-cooled fast reactor – SFR*);
- il reattore ad altissima temperatura (*very high temperature gas-cooled reactor – VHTR*).

Tutti e sei i concetti candidati si basano sull'impiego di refrigeranti, condizioni operative e schemi di impianto non convenzionali. Su tali tecnologie, i progetti sviluppati a livello internazionale hanno ulteriormente integrato i concetti di modularizzazione, standardizzazione e serializzazione, nonché il riferimento alla taglia medio-piccola (tutti attributi derivanti dagli SMR), portando all'introduzione del concetto di reattore modulare avanzato (**Advanced Modular Reactor – AMR**).

#### Ciclo chiuso del combustibile



Fra i sei concetti candidati per la IV Generazione, suscitano particolare interesse – in relazione al livello della loro maturità tecnologica – quelli operanti a spettro veloce e refrigerati a metallo liquido, ovvero il reattore veloce refrigerato a sodio e quello refrigerato a piombo. La ragione primaria dietro questo interesse risiede

non solo, come già accennato, nella capacità di operare a temperature di refrigerante più elevate, ma anche (e forse principalmente) nella **possibilità di implementare la chiusura del ciclo del combustibile nucleare**: sfruttando la capacità dei neutroni più energetici di fissionare tutti gli isotopi, e non solo quelli fissili, è possibile **riutilizzare il combustibile esaurito** un numero potenzialmente indefinito di volte, riducendo così grandemente (di circa 100 volte) non solo il fabbisogno di risorse naturali, ma anche il volume dei rifiuti finali da smaltire.

A fronte di questi promettenti vantaggi, il ricorso a tecnologie diverse da quella consolidata determina però una minore maturità per tutti i concetti AMR e, dunque, un maggior tempo richiesto a completarne lo sviluppo. Per tutti i progetti innovativi basati su queste tecnologie, infatti, è richiesta non solo una fase dimostrativa, ma anche l'approntamento e la qualifica di una intera catena del valore, che consenta l'approvvigionamento dei componenti, sistemi e del combustibile nucleare, nonché (laddove si intenda perseguire la realizzazione di un ciclo chiuso) la realizzazione degli impianti richiesti per il ritrattamento di quest'ultimo<sup>23</sup>.

Pur essendo capaci di operare alimentati dal proprio combustibile esaurito, è opportuno constatare come gli AMR a spettro veloce richiedano una integrazione con reattori tradizionali – ivi inclusi gli SMR – per poter disporre del combustibile necessario al primo avviamento del reattore. **SMR e AMR risultano pertanto complementari** e non contrapposti tra loro.

### 3.1.3 Il nucleare come contributo per la decarbonizzazione dei sistemi energetici, produttivi e per il trasporto

**Gli obiettivi di decarbonizzazione riguardano non solo il settore elettrico, ma l'intero sistema energetico, inclusivo dei settori produttivi, domestici, dei servizi e del trasporto.** In questi settori, esistono applicazioni per le quali la decarbonizzazione risulta meno immediata (come, ad esempio, il trasporto aereo), se non particolarmente complessa (come per i processi produttivi che richiedono calore ad altissima temperatura). Un approccio sistemico al problema consente di elaborare soluzioni che si focalizzino sulla produzione di energia tramite fonti non climalteranti, abbinata a vettori energetici adeguatamente selezionati per meglio rispondere alle esigenze dell'utenza (ad esempio, l'elettricità e i biocarburanti per la mozione su strada, l'idrogeno, il biometano e la CCS per i processi ad altissima temperatura, i carburanti sostenibili per il trasporto aereo). In quanto vettori, il loro contributo alla decarbonizzazione è dunque quello di consentire di raggiungere quanti più settori applicativi, per fornirgli energia pulita: è pertanto sul sistema di generazione che viene interamente rivolta la sfida alla decarbonizzazione.

Questa sfida rende imperativo il ricorso massiccio a fonti di energia primaria prive di emissioni climalteranti, rimpiazzando quelle fossili attualmente impiegate. Perché questa transizione possa anche avvenire efficacemente, e in modo davvero sostenibile, le fonti selezionate devono garantire non solo la **sicurezza degli approvvigionamenti**, senza soluzione di continuità né contrazione della disponibilità, ma anche **convenienza e stabilità del prezzo dell'energia** per gli utenti.

In merito alla sicurezza degli approvvigionamenti, il primo aspetto è quello associato all'affrancamento dal contesto internazionale. La forte dipendenza dell'Europa e, in particolare dei Paesi dell'UE, dal gas naturale e dai prodotti

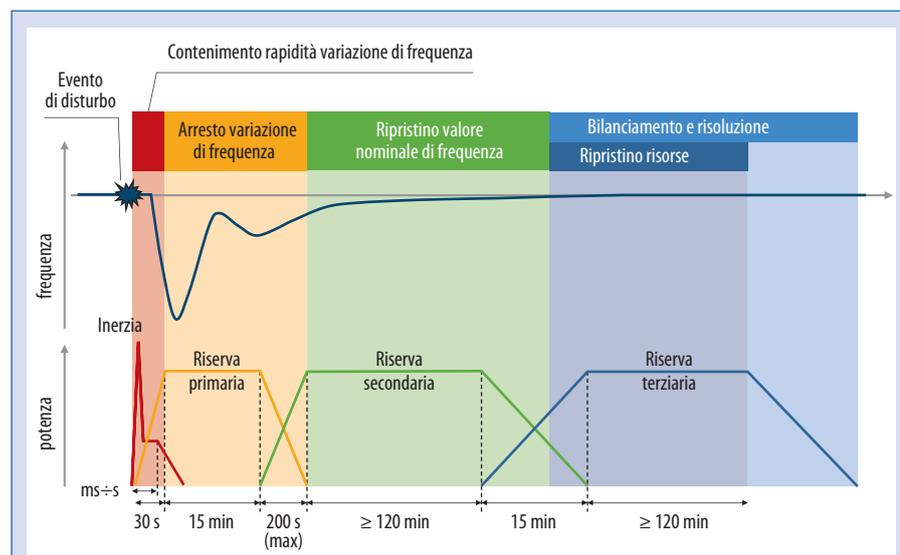
<sup>23</sup> Ad oggi, in Europa, il solo impianto di ritrattamento in esercizio è quello operato da Orano a La Hague, in Francia.

petroliferi espone significativamente alla volatilità dei prezzi delle materie prime energetiche sui mercati globali – come determinata da eventi geopolitici e, spesso, amplificata anche da fattori speculativi – influenzando significativamente la competitività economica dei diversi Paesi, specialmente nei settori ad alta intensità energetica come la metallurgia, la produzione di cemento, carta e vetro.

La diversificazione del mix energetico è uno degli strumenti cruciali per mitigare tali rischi e **il nucleare è una delle fonti più efficaci in quanto:**

- **il costo di generazione dell'energia da nucleare è solo marginalmente influenzato dal prezzo del combustibile** (per il 5% circa), grazie all'enorme densità di energia di quest'ultimo;
- **i quantitativi necessari di combustibile richiesti sono minimi**, permettendone, ove necessario, l'approvvigionamento con ampio anticipo e un facile stoccaggio anche per lunghi periodi;
- **i giacimenti di uranio sono distribuiti geograficamente in modo omogeneo e i principali fornitori (ad esempio Canada e Australia) sono Paesi geopoliticamente più stabili** (si veda la sezione 4.1.2).

### Stabilità di rete e ruolo dell'inerzia



Elaborato da fonte Terna

La qualità del kWh fornito – per costanza della frequenza e stabilità della rete elettrica nazionale – dipende dal buon bilanciamento tra domanda e produzione di energia ad ogni istante. Il sistema è, però, molto sensibile alle variazioni: **un aumento della domanda causa un calo della frequenza di rete e viceversa**. A seguito di una perturbazione, la frequenza non torna naturalmente al suo valore nominale; per ripristinare i normali valori di esercizio si devono mettere in atto azioni, automatiche e non, in misura tanto maggiore quanto più rilevante è l'evento perturbativo.

Prima che le riserve di potenza possano intervenire, l'inerzia di rete è l'unica a conferire al sistema la capacità di resistere ad una perturbazione nei primissimi istanti, senza eccessive variazioni della frequenza. Minore è l'inerzia della rete, maggiori sono – a seguito di un evento perturbativo – la velocità con cui varia la frequenza, e lo scostamento massimo di questa dal valore nominale, con un maggior rischio di innescare pericolosi eventi a cascata.

Tutto questo consente, inoltre, la **stabilità dei prezzi dell'energia**, facilitando la diversificazione e praticamente disaccoppiando disponibilità e prezzo dalla situazione internazionale contingente.

Sempre in relazione alla sicurezza degli approvvigionamenti, un secondo aspetto è legato alla continuità della fornitura, che richiede **programmabilità nel dispacciamento di energia**. Con l'eccezione delle fonti geotermica ed idroelettrica, le fonti rinnovabili sono intrinsecamente variabili: fintanto che la loro penetrazione nel sistema sarà modesta, questo potrà essere gestito mediante la flessibilità di esercizio dei rimanenti sistemi di generazione. A fronte invece di un massiccio dispiego, le fonti rinnovabili richiederanno dedicati sistemi di stoccaggio sia giornalieri che stagionali per sincronizzare temporalmente la generazione con il consumo, con costi aggiuntivi che si sommano a quelli delle rinnovabili. Nel caso del fotovoltaico e dell'eolico, i principali sistemi di stoccaggio sono basati su batterie, che però non contribuiscono a mitigare la vulnerabilità della rete elettrica dovuta alla ridotta inerzia delle rinnovabili stesse: sarebbero dunque necessari interventi dedicati alla protezione e irrobustimento di questa, che determinerebbero un ulteriore, rilevante aggravio economico ai prezzi dell'energia.

**L'affiancamento di impianti nucleari a quelli da fonti rinnovabili offrirebbe la possibilità di mantenere la disponibilità di inerzia dovuta alle grandi turbine di cui sono dotati gli impianti nucleari, proteggendo e stabilizzando la rete elettrica senza dover incorrere in investimenti dedicati.**

È rilevante, infine, il ruolo di supporto alla **modulazione del carico** che gli impianti nucleari possono fornire alla rete elettrica. Gli impianti nucleari sono tipicamente ideali per soddisfare il carico base (*baseload*), mentre risultano meno utilizzati a rispondere rapidamente alle fluttuazioni del carico di picco (*peakload*), che sono tipicamente gestite da impianti più flessibili quali centrali a gas (che consentono rampe di variazione della potenza più rapide ed efficienti) o idroelettriche. Tuttavia, laddove opportunamente concepiti, **gli impianti nucleari possono fornire anche servizi di modulazione della potenza**, contribuendo così efficacemente alla stabilità di rete in sistemi caratterizzati da un'alta penetrazione di fonti rinnovabili variabili.

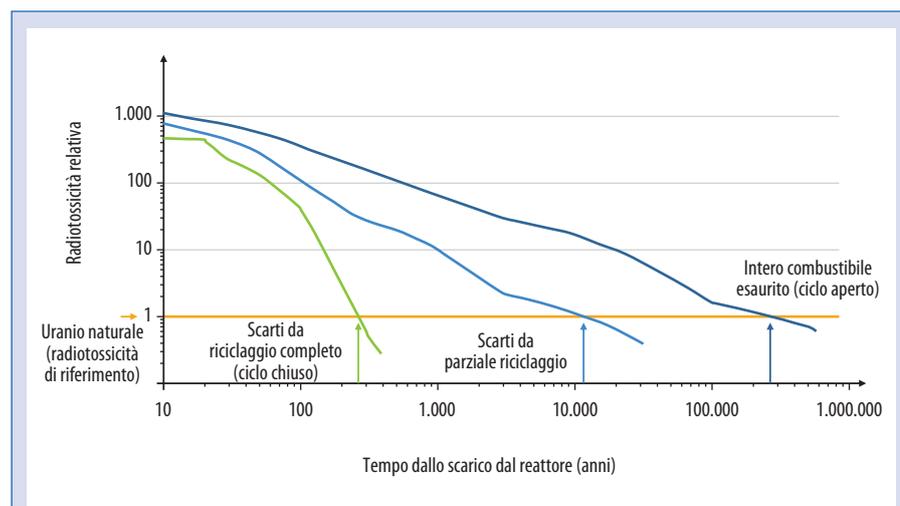
### 3.1.4 Attributi di maggior rilevanza riconosciuti alle tecnologie nucleari

Tutte le tecnologie nucleari offrono caratteristiche rilevanti ai fini di rispondere alle sfide di decarbonizzazione e sicurezza degli approvvigionamenti, alle quali anche l'Italia è chiamata a trovare risposta. Se da un lato, tutte le tecnologie nucleari consentono di disporre di un efficace mezzo per contribuire agli obiettivi di sistema, dall'altro le caratteristiche specifiche di ogni tecnologia conferiscono a ciascuna di queste ulteriori peculiarità. La valutazione delle opportunità derivanti da tali peculiarità, con riferimento al contesto energetico ed industriale nazionale, deve essere il criterio guida per orientare la scelta di quelle più appropriate per l'impiego in Italia.

In primo luogo, **le tecnologie nucleari hanno diversi livelli di maturità**. Se i grandi reattori avanzati raffreddati ad acqua sono già una realtà commerciale, gli SMR – che si basano sulla medesima tecnologia – sono i più prossimi al rilascio. Per gli AMR, le tempistiche sono più lunghe, essendo condizionate alla dimostrazione delle soluzioni progettuali e, in alcuni casi, anche ad azioni propeedeutiche di ricerca e sviluppo.

**Tutte le nuove tecnologie nucleari sono capaci di operare in modalità cogenerativa**, consentendo dunque di fornire energia non solo in forma di elettricità, ma anche di calore di processo. Le soluzioni basate sulla tecnologia dei reattori ad acqua (inclusi gli SMR), possono fornire calore di processo fino a 250 °C circa, risultando così efficaci per una larga frazione delle utenze. Gli AMR, basati invece su tecnologie differenti, hanno la possibilità di fornire calore di processo anche a temperature maggiori, potenzialmente fino a 800/950 °C: potrebbero quindi alimentare direttamente anche altri settori produttivi non raggiunti dai reattori ad acqua. Per tutti i settori rimanenti, la capacità di cogenerazione di elettricità e calore è comunque elemento favorevole alla generazione di idrogeno, il ricorso al quale è necessario per i processi ad altissima temperatura che non possono essere elettrificati (*hard-to-abate*).

### Radioattività equivalente del combustibile esaurito



Nel combustibile irraggiato, oltre alla quota non utilizzata di questo, si accumulano i frammenti della fissione, oltre a prodotti generati dalla trasmutazione dell'uranio – il principale dei quali è il plutonio. Tutti questi elementi sono radioattivi, e la loro radioattività, confrontata con quella del minerale naturale di uranio da cui derivano, determina l'impatto antropico dell'impiego del reattore. A differenza però di altre forme di energia, la radioattività cala nel tempo, fino a rendere tale impatto nullo quando torna a confondersi con quella iniziale.

Quando il combustibile esaurito è interamente conferito allo stoccaggio (ciclo aperto), tutte queste componenti contribuiscono a mantenere la radioattività equivalente del combustibile al di sopra di quella di riferimento per tempi molto lunghi (oltre 100 000 anni).

Implementando invece il riciclo delle componenti ancora riutilizzabili in un reattore veloce (ciclo chiuso), la quota residua ha una radioattività minore, e che si riduce più rapidamente nel tempo, arrivando a livelli comparabili con quella iniziale entro i 300 anni.

**I reattori di tutte le tecnologie a fissione producono un quantitativo minimo di rifiuti radioattivi**, facilmente stoccabili e gestibili in piena sicurezza. Tuttavia, il problema della produzione dei rifiuti, potrà essere superato grazie alle **tecnologie AMR basate su reattori veloci**, le quali **consentiranno di implementare un ciclo chiuso del combustibile che**, separando e riutilizzando le componenti ancora in grado di fornire energia, **permetterà di ridurre ulteriormente il volume dei rifiuti** e di accorciare considerevolmente il periodo durante il quale la radioattività equivalente di questi risulta superiore a quella del minerale di uranio di partenza.

**Tutte le tecnologie nucleari garantiscono il ritorno economico sull'investimento iniziale**, in quanto, si basano su schemi di costo che concentrano le spese a monte dell'inizio dell'esercizio dell'impianto, (in particolare sulla costruzione del medesimo), costi che incidono per il 70% circa sul costo dell'energia prodotta. Un'ulteriore frazione – approssimativamente pari al 25% – deriva dall'esercizio e dalla manutenzione dell'impianto, mentre il 5% rimanente circa dipende dal costo del combustibile. Mentre la fornitura di quest'ultimo è, al momento, appannaggio esclusivo di operatori internazionali, su tutte le altre voci il sistema nazionale ha la possibilità di riservarsi una quota di mercato, intervenendo negli studi preliminari, negli interventi di preparazione del sito, nella fornitura di componenti e sistemi e nella costruzione vera e propria, oltre che nella fornitura di servizi e interventi di manutenzione durante l'esercizio. Quanto più la tecnologia ed il progetto selezionati consentono di **incrementare il ruolo dell'industria nazionale nelle varie fasi realizzative ed operative**, tanto maggiore sarà il vantaggio che il sistema Paese potrebbe trarre, trattenendo una maggior frazione di capitali nazionali, con tutti i **benefici associati, in termini produttivi ed occupazionali (diretti e di indotto)** che si sommerebbero a quelli derivanti dalla disponibilità di energia pulita e sicura. Questo vantaggio potrebbe venire ulteriormente moltiplicato laddove, grazie all'esperienza maturata, le imprese nazionali si trovassero avvantaggiate nel riproporre i medesimi servizi e forniture anche all'estero, attraendo in tal modo capitali stranieri verso il tessuto industriale nazionale.

### 3.1.5 Tecnologie di potenziale interesse

Sulla base degli attributi di maggior rilevanza precedentemente identificati e delle analisi delle tecnologie nucleari (disponibili e in fase di sviluppo) è possibile trarre considerazioni utili ad orientare la scelta verso quelle di maggior interesse, ovvero capaci di portare a concretezza l'implementazione di un programma nucleare massimizzando al contempo i benefici per il sistema nazionale.

L'urgenza dettata non solo dalla transizione ecologica, ma anche dal bisogno del tessuto industriale di incrementare la propria competitività, impone di includere una tecnologia matura, che possa essere dispiegata non appena il sistema di infrastrutture necessarie alla corretta implementazione di un programma nucleare (si veda il Capitolo 2) sia stato reso pienamente operativo. Ciò porta a **considerare reattori basati sulla tecnologia del raffreddamento ad acqua, inclusi sistemi SMR di tipo integrato e non**. Questa scelta consentirebbe, al Paese, di trarre beneficio dall'esperienza già accumulata a livello nazionale su reattori basati su questa tecnologia (si veda il Capitolo 5), massimizzando il contributo apportabile durante le fasi di costruzione ed esercizio degli impianti realizzati, dunque materializzando le opportunità economiche e di mercato associate alla realizzazione di un parco di reattori in Italia e posizionando il nostro tessuto industriale nella nuova supply chain che si va aggregando intorno agli SMR.

L'adozione di reattori di questa tecnologia offre al sistema nazionale anche una fonte cogenerativa, per disporre di calore di processo per applicazioni nella fascia di temperature medio-basse. Questa opportunità può essere estesa affiancando, ai predetti reattori, anche reattori di tipo AMR, operanti nella fascia di temperatura medio-alta.

Sulla base delle caratteristiche peculiari dei diversi concetti di **reattore di IV Generazione**, del grado di competitività potenzialmente raggiungibile da ciascuno (ossia la capacità di penetrazione nel mercato), e ancor più in base all'ampio pregresso di esperienza accumulato in oltre venti anni da numerose organizzazioni nazionali, **la tecnologia dei reattori veloci raffreddati a piombo**

**(LFR) appare la più promettente come punto di riferimento nazionale.** Come già discusso, tali sistemi – il cui stato di sviluppo ne proietta la disponibilità in tempi utili per contribuire ai programmi di decarbonizzazione nelle scadenze fissate al 2050 – possono non solo **operare in modalità cogenerativa** fornendo calore a temperature elevate, servendo una fascia di utenza complementare a quella raggiunta dai reattori ad acqua, ma anche **consentire la chiusura del ciclo del combustibile**. La loro introduzione nel sistema nazionale (pur con tempistiche successive), insieme ai reattori ad acqua, andrebbe quindi a fornire al Paese un più ampio spettro di servizi ed opportunità.

## 3.2 L'energia nucleare nell'attuale contesto internazionale ed europeo

Stando ai dati della IAEA, **all'inizio del 2025 risultano in esercizio 417 reattori nucleari in 32 Paesi, per una potenza totale installata di 377 GWe**, con Stati Uniti, Cina, Francia e Russia che, insieme, contano quasi 250 reattori e circa due terzi della potenza mondiale installata. In Europa operano 167 reattori, 103 dei quali forniscono 100 GWe ai Paesi dell'UE.

**Nel 2023 la produzione mondiale di energia elettrica da fonte nucleare è stata di 2.761 TWh, pari al 9,9% della produzione elettrica totale.** Questa percentuale cresce al 23% nel contesto dell'UE e al 66,7% nel caso della sola Francia (il Paese al mondo che fa più ricorso a questa fonte).

Alla potenza attualmente installata si aggiunge quella dei **62 reattori in costruzione in 15 Paesi, per ulteriori 64,5 GWe**. Nella quasi totalità dei casi, gli impianti in costruzione impiegano grandi reattori ad acqua, di taglia compresa tra 1 e 1,6 GWe. La situazione attuale rispecchia, a livello generale, i principali scenari di sviluppo, riflesso di serie politiche basate su ambiziosi obiettivi climatici, come testimoniato dalla dichiarazione rilasciata congiuntamente da più di 20 Paesi<sup>24</sup> a dicembre 2023, durante il World Climate Action Summit della COP28:

*Riconoscendo il ruolo chiave dell'energia nucleare nel raggiungere zero emissioni di gas serra / neutralità carbonica entro o intorno alla metà del secolo e nel mantenere raggiungibile un limite a 1,5 °C per l'aumento della temperatura [...]*

*I Partecipanti si impegnano a lavorare insieme per promuovere l'ambizioso obiettivo globale di triplicare la capacità nucleare dal 2020 al 2050 [...]*

In relazione a questo impegno, analizzando più in dettaglio la situazione globale, da un lato si osservano i "grandi giocatori" (*big player*) – Stati Uniti, Cina, Francia, Russia, India, Regno Unito, Corea del Sud, Giappone e Canada – che, all'attuale capacità installata (pari al 81% di quella mondiale) stanno già operando per aggiungere ulteriore capacità, con il 73% dei reattori attualmente in costruzione. Su tutti è degno di nota il caso della Cina, che prevede il raddoppio della quota nucleare nel mix elettrico entro il 2035 e un ulteriore raddoppio entro il 2060, anche attraverso l'esplorazione di tutte le tecnologie e dei principali progetti domestici e internazionali. Simili progressioni nella crescita della potenza installata sono previste anche nei piani britannico, con una quadruplicazione della potenza installata al 2050 e indiano: in quest'ultimo caso, le tempistiche sono ancora più accelerate, puntando a 22,5 GWe installati al 2032 contro gli attuali 6,3 GWe. Consistente è anche il programma francese, dove,

<sup>24</sup> Tra i Paesi firmatari della dichiarazione: Stati Uniti d'America, Armenia, Bulgaria, Canada, Croazia, Repubblica Ceca, Finlandia, Francia, Ghana, Ungheria, Giamaica, Giappone, Repubblica di Corea, Moldavia, Mongolia, Marocco, Paesi Bassi, Polonia, Romania, Slovacchia, Slovenia, Svezia, Ucraina, Emirati Arabi Uniti e Gran Bretagna.

all'estensione della vita dei reattori attualmente in esercizio, si prevede di affiancare l'installazione di 6 reattori di grande taglia più altri potenziali 8, per un totale di oltre 22 GWe, tra il 2035 e il 2050.

Un caso interessante è, all'estremo opposto, quello dei Paesi che stanno intraprendendo per la prima volta un programma nucleare (*newcomer*). Tra i reattori attualmente in costruzione, 10 sono in Paesi che appartengono a questa categoria: Turchia (con 4 reattori per 4,5 GWe), Egitto (4 reattori per 4,4 GWe) e Bangladesh (2 reattori per 2,2 GWe). Questi seguono altri Paesi che, completata la fase di approntamento, hanno già avviato i primi reattori, come gli Emirati Arabi Uniti, con 4 reattori da 1,3 GWe ciascuno, e la Bielorussia, con 2 reattori da 1,1 GWe ciascuno. All'elenco dei *newcomer* si aggiungono Arabia Saudita, Giordania, Marocco, Ghana, Filippine, Indonesia e Malesia, attualmente in fase di approntamento del proprio sistema nazionale in vista di lanciare la costruzione dei primi impianti.

### 3.3 Il contributo del nucleare sostenibile negli scenari energetici al 2035, 2040 e 2050

La **domanda di energia** di un sistema nazionale si compone di:

- una quota necessaria agli usi finali, laddove prodotta già nella forma richiesta per l'uso;
- una quota necessaria per usi energetici, nel caso opposto al precedente (funzionali, cioè alla produzione di un vettore energetico per l'uso finale, come ad esempio l'idrogeno);
- una quota relativa alle perdite di rete e dei sistemi di accumulo.

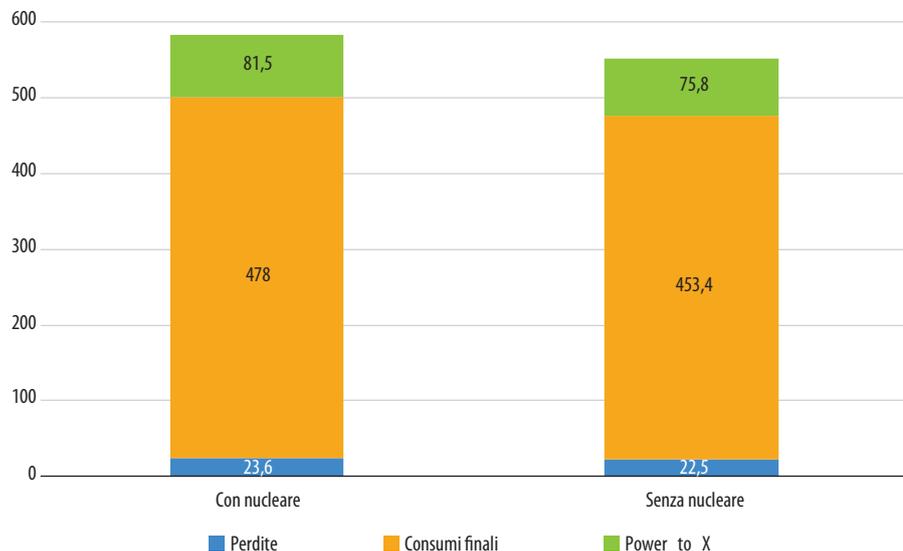
Soddisfare la domanda è compito (al netto delle importazioni) del sistema di generazione, tenuto in conto che la composizione del sistema di generazione stesso influenza le quote delle tre voci sopra elencate: a titolo di esempio, maggiore è il ricorso alle fonti rinnovabili, maggiore è (come già visto) il fabbisogno di stoccaggi e di distribuzione, e quindi anche le perdite di energia a questi associate, con un conseguente aumento della domanda complessiva. Per analizzare l'impatto dato dall'introduzione di una componente nucleare nel sistema nazionale, occorrono dunque simulazioni con strumenti complessi.

È stato condotto pertanto uno studio di scenario, il cui perimetro è stato imposto in coerenza con quanto riportato nel PNIEC per l'anno 2030, e con l'obiettivo *Net Zero* al 2050 non solo per l'intero sistema energetico, ma anche separatamente per il sistema elettrico. Infine, coerentemente con il PNIEC e sulla base degli studi della PNNS, **è stato assunto che il primo impianto nucleare possa entrare in operazione nel Paese a partire dal 2035.**

Lo studio ha analizzato più scenari, distinti in base alla capacità nucleare installata, alcuni dei quali coincidono con quelli alla base del PNIEC 2024. Tra tutti, si riportano come particolarmente rilevanti due casi specifici, stante il loro ruolo di riferimento nel PNIEC medesimo:

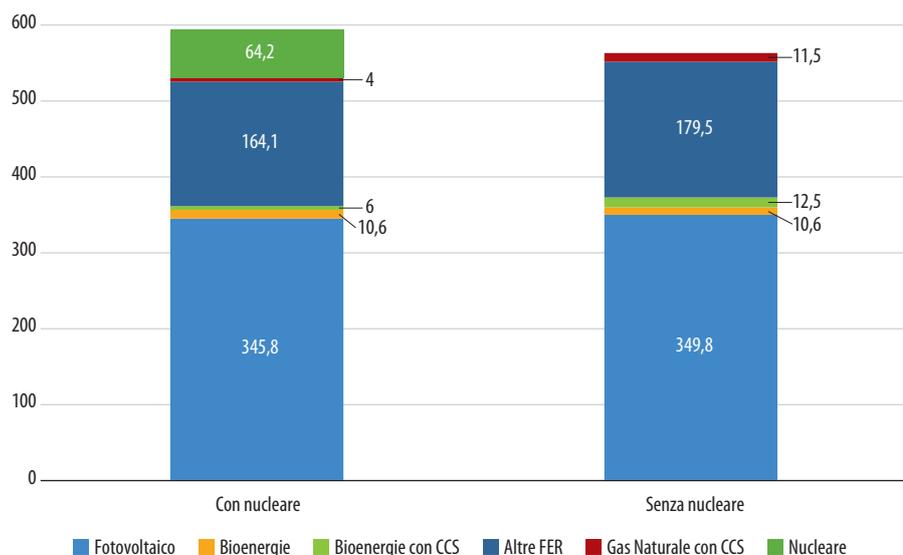
- **scenario "senza nucleare"**, in cui sono incluse tutte le tecnologie (comprese rinnovabili e gas/bioenergie con CCS), senza la possibilità di ricorrere al nucleare;
- **scenario "con nucleare"**, in cui, insieme a tutte le tecnologie del caso precedente, è data possibilità di inserire anche una quota di generazione nucleare, autolimitata alla metà del potenziale installabile, che raggiungerebbe gli **8 GW al 2050** (valore medio considerato nell'intervallo di riferimento di 7,5 ÷ 8,5 GW).

Nel grafico di Figura 3.1 si rappresenta la richiesta di energia elettrica al 2050 negli scenari PNIEC con e senza nucleare: entrambi si caratterizzano per un'elevata domanda di elettricità, la quale comprende appieno il potenziale di sviluppo delle fonti rinnovabili, in particolare fotovoltaico ed eolico.



**Figura 3.1**  
Richiesta di energia elettrica al 2050 negli scenari con e senza nucleare (Fonte PNIEC, giugno 2024)

Entrando nel dettaglio, in Figura 3.2 è mostrata la ripartizione per fonte della produzione nazionale di energia elettrica al 2050, negli scenari con e senza nucleare (sempre tratta dal PNIEC 2024). Si noti come al 2050, **nello scenario "con nucleare", la produzione da nucleare coprirebbe circa l'11% della richiesta nazionale di energia elettrica**. In termini di fonti rinnovabili non programmabili, entrambi gli scenari fanno riferimento ad una capacità installata di circa 245 GW di fotovoltaico e circa 51 GW di eolico al 2050. In entrambi gli scenari è inoltre considerata una limitata quantità di energia importata, pari a 17,7 TWh, corrispondenti al valore assunto nello scenario "EURef2020", riferimento considerato anche per gli scenari alla base del PNIEC.



**Figura 3.2**  
Produzione nazionale di energia elettrica al 2050 negli scenari con e senza nucleare (Fonte PNIEC, giugno 2024)

Dal confronto tra i due casi sopra presentati, si evince in primo luogo come i modelli di simulazione trovino più conveniente aumentare la richiesta di energia elettrica nello scenario con nucleare: infatti, mentre lo scenario senza nucleare deve compensare una maggiore quantità di emissioni ricorrendo a

quelle "negative", nello scenario con nucleare, essendo possibile produrre energia elettrica a costi inferiori rispetto al caso senza nucleare, il sistema considera più conveniente ai fini della decarbonizzazione non solo una maggiore elettrificazione dei consumi finali, ma anche una maggior generazione di altri vettori energetici (quali combustibili sintetici e idrogeno), permettendo di impattare in misura maggiore anche altri settori (quali i trasporti o gli *hard-to-abate*). Oltre a tutto ciò, il confronto tra gli scenari mostra come quello con nucleare consenta di ridurre 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.

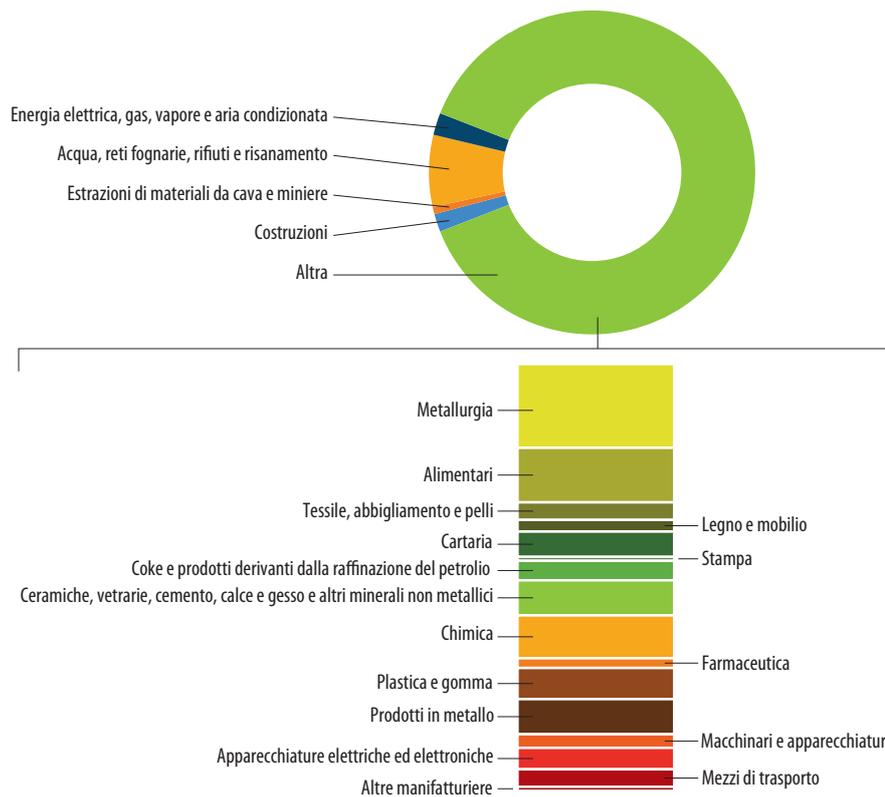
Le medesime conclusioni possono essere tratte anche in scenari a maggior penetrazione della fonte nucleare, e con effetti tanto maggiori quanto più ampio è il ricorso a tale fonte. I risultati dello studio mostrano, infatti, come sia sempre proficuo per il sistema includere tutta la capacità nucleare disponibile, ritenendo questa opzione conveniente non solo dal punto di vista economico, ma anche energeticamente, consentendo di ridurre la necessità di ricorrere alla generazione a gas naturale con CCS e a bioenergie con CCS, promuovendo una maggiore elettrificazione del sistema e rendendo più conveniente la produzione di idrogeno e combustibili sintetici. Per dare una quantificazione del vantaggio economico determinato dall'introduzione di una componente nucleare nel mix energetico, nel PNIEC l'opzione che contempla l'installazione di 8 GWe di potenza nucleare (capacità che consentirebbe di coprire l'11% della domanda elettrica al 2050) comporta un risparmio (rispetto a quella senza nucleare) pari a circa € 17 miliardi sull'intero orizzonte temporale.

In particolare, i diversi costi di generazione determinati dalla presenza o meno del nucleare impattano anche sullo sviluppo dei settori di uso finale dell'energia, e quindi sui costi sostenuti per l'installazione e l'utilizzo delle relative tecnologie di consumo. A titolo di esempio, il sistema trova ottimale l'impiego di parte della capacità nucleare in modalità cogenerativa, fornendo calore al settore industriale.

### 3.4 Contributo da fonte nucleare alla domanda energetica dell'industria

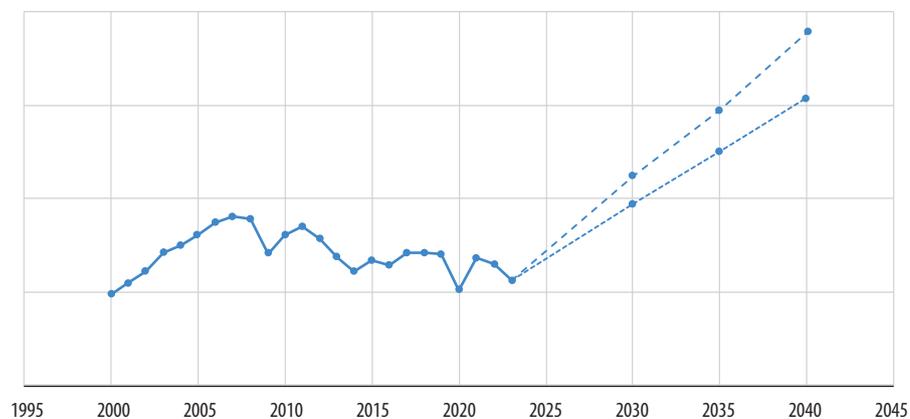
#### 3.4.1 Domanda di energia elettrica

L'industria è oggi il principale consumatore di energia elettrica in Italia, con un consumo pari di 124,5 TWh/anno<sup>25</sup>, ossia il 43,3% dei consumi nazionali. Le attività manifatturiere concorrono per la quasi totalità a questi consumi, come mostrato in Figura 3.3.



**Figura 3.3**  
Distribuzione dei consumi di energia elettrica nel settore industriale per tipo di attività (dati Terna 2023)

Relativamente alla proiezione della domanda elettrica (mostrata in Figura 3.4), la previsione di crescita rispetto al trend storico (relativamente stabile) osservato negli ultimi venti anni è principalmente guidata dalla crescita del PIL, che integra quindi una proiezione di crescita delle attività dell'industria.



**Figura 3.4**  
Andamento storico del fabbisogno elettrico e proiezione al 2040 (valori in TWh, fonte Terna-Snam<sup>26</sup>).

<sup>25</sup> Dati Terna del 2023

<sup>26</sup> Fonte: Documento di Descrizione degli Scenari 2024 Terna-Snam.

Le diverse proiezioni di crescita del fabbisogno elettrico, mostrate in figura, dipendono:

- dalla velocità di implementazione dei processi di elettrificazione, la quale a sua volta incide sulla crescita di alcuni settori industriali, come quelli legati al mercato delle auto elettriche e delle pompe di calore;
- dalla velocità di crescita della nascente domanda elettrica a supporto della digitalizzazione, che comporta lo sviluppo significativo di *datacenter* per i servizi *cloud* e per l'utilizzo dei modelli di intelligenza artificiale generativa;
- dalla diffusione della produzione di idrogeno come vettore energetico, il cui uso – per rispondere anche alla domanda di energia termica – è discusso nel seguito.

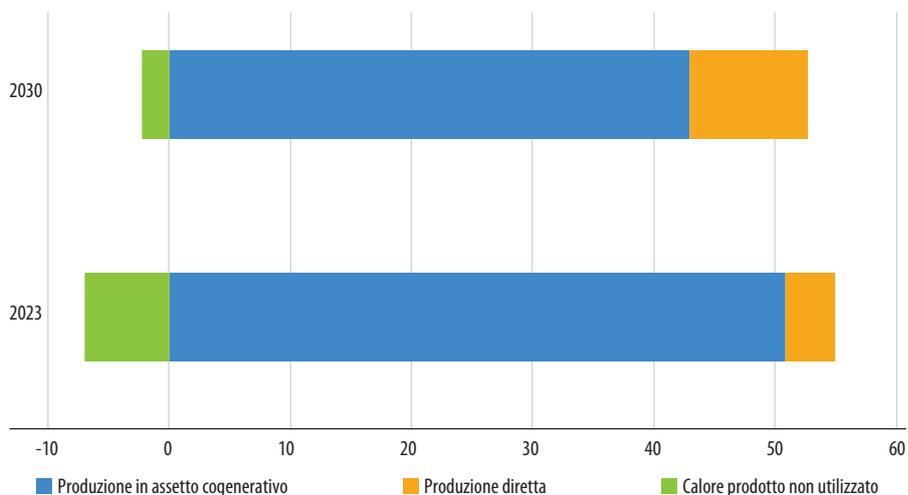
Come visto nella Sezione 3.4, la presenza di una componente di generazione da fonte nucleare nel mix energetico risulta efficace nel promuovere l'elettrificazione, attrarre ed accelerare lo sviluppo dei *datacenter* e rendere maggiormente economica la produzione di idrogeno, determinando dunque un effetto benefico per i settori industriali interessati.

### 3.4.2 Domanda di energia termica (calore di processo e impiego di idrogeno)

**L'industria è anche il principale consumatore di calore prodotto in cogenerazione, con una domanda pari a 34,6 TWh/anno, corrispondenti all'81,1% del consumo totale<sup>27</sup>.**

Ad oggi la cogenerazione a gas riveste un ruolo rilevante, non solo per quanto riguarda la produzione di energia elettrica (circa 74,0 TWh nel 2023), ma anche ai fini del soddisfacimento della domanda di calore (33,9 TWh nel 2023). Negli scenari futuri (Figura 3.5) la crescente penetrazione delle fonti rinnovabili è attesa ridurre i volumi della produzione termoelettrica convenzionale, ivi inclusi quelli della cogenerazione. Si stima quindi una riduzione della produzione di calore da impianti cogenerativi, compensata da un incremento della produzione diretta di calore.

**Figura 3.5**  
**Bilancio di calore attuale**  
**e proiezione al 2030**  
(valori in TWh, fonte Terna-Snam)



Parallelamente alla cogenerazione, è importante sottolineare che una quota consistente del fabbisogno termico dell'industria è attualmente soddisfatta dall'utilizzo diretto di gas, fondamentale per raggiungere le temperature molto

<sup>27</sup> Dati Terna del 2023

elevate richieste in alcuni dei processi produttivi *hard to abate* che non possono essere elettrificati e che, in ottica di decarbonizzazione, vedono nell'impiego di idrogeno in sostituzione del gas naturale una possibile, efficace soluzione.

Come concluso dagli studi di scenario mostrati nella Sezione 3.4, la presenza di una componente nucleare nel mix energetico promuove appunto la produzione di questo idrogeno (il cosiddetto *idrogeno rosa*) e di biocarburanti: la maggior disponibilità di questi da un lato faciliterebbe la produzione diretta di calore richiesta dall'industria, consentendo di decarbonizzare anche i settori industriali che necessitano di calore ad altissime temperature<sup>28</sup> (superiori a quelle raggiungibili direttamente dagli SMR e AMR considerati in questa sede); dall'altro, contribuirebbe anche alla decarbonizzazione dei trasporti, specialmente quelli pesanti.

### 3.5 Disponibilità della fonte nucleare nel contesto nazionale

Alla luce delle caratteristiche delle tecnologie nucleari (attuali e di prossima disponibilità, nonché delle peculiarità del contesto nazionale, tanto in termini di fabbisogni energetici quanto di capacità industriale) l'introduzione di una componente nucleare nel mix energetico italiano porterebbe una lunga serie di benefici, primi su tutti quelli legati alla competitività industriale, alla sicurezza dell'approvvigionamento e alla riduzione dell'impronta carbonica. Inoltre, il ricorso sinergico tanto a tecnologie di Generazione III+ come gli SMR, quanto a tecnologie di Generazione IV come gli AMR, consentirebbe di beneficiare anche dalla chiusura del ciclo del combustibile per una ulteriore riduzione dell'impatto ambientale e della dipendenza da fornitori esterni, auspicata dal Commissario Jørgensen nella Roadmap europea per la sicurezza energetica. Diviene quindi strategico materializzare queste opportunità al fine di massimizzare i benefici per l'intero sistema Paese.

Da un punto di vista generale, la realizzazione di un progetto come quello di un impianto nucleare necessita non soltanto della fornitura di componenti e sistemi, ma anche dell'ingegneria per la progettazione e analisi di questi (a monte) e della costruzione (a valle) oltre che per la gestione e manutenzione degli impianti, considerando anche il combustibile esaurito e i rifiuti radioattivi. Quanto più solida e completa sarà la capacità di offrire tali servizi in modo integrato, tanto maggiore potrà essere la rilevanza del contributo fornito e dunque anche il ritorno economico e di esperienza per il nostro Paese. Quest'ultimo è un elemento essenziale per innestare poi un circolo virtuoso di crescita verso l'affermazione di una posizione rilevante anche nel mercato europeo ed internazionale.

Focalizzandosi, invece, sulle fasi implementative di un programma nucleare in Italia, sarà in primo luogo essenziale orientare la selezione dei progetti da realizzare sulla base del criterio di **massimo ritorno dall'investimento** per il Paese, così come fatto nell'individuazione delle tecnologie più promettenti per l'Italia (si veda la Sezione 3.3.2).

D'altro canto, è evidente come l'intero programma nucleare nazionale – a partire dall'individuazione delle tecnologie di maggior interesse e successivamente alla selezione dei progetti e a tutte le fasi di implementazione e costruzione – dovrà necessariamente inserirsi in una dimensione multinazionale: nonostante la presenza nel Paese di attori di primissimo rilievo, con capacità ed esperienze estremamente rilevanti (si rimanda al Capitolo 5 per

<sup>28</sup> Si rimanda, per questo, al rapporto "Piano d'azione per l'idrogeno" già pubblicato da Confindustria.

un'analisi dettagliata), l'attuale dimensione del sistema produttivo nazionale non consente – almeno nel breve periodo – di poter far fronte a tutte le richieste associate alla progettazione, costruzione ed esercizio di un impianto nucleare e di impianti di produzione del combustibile.

In quest'ottica e fermo restando l'attenzione primaria all'interesse nazionale, un ulteriore criterio dirimente – in particolare nella prima fase di implementazione del programma nucleare – è quello legato all'opportunità di **stabilire accordi strategici** (*partnership*) per mezzo dei quali il sistema nazionale (organizzatosi appositamente per questo) possa valorizzare le proprie capacità nei contesti multinazionali associati. Tali accordi, infatti, uniti alla garanzia di disporre del supporto richiesto alla piena implementazione del programma nucleare, permetterebbero da un lato di massimizzare gli effetti di scala relativi ad alcuni servizi essenziali (quali la fornitura di combustibile, il suo eventuale riprocessamento per la chiusura del ciclo, e la gestione ultima dei rifiuti), dall'altro, di aumentare le possibilità di accedere ad un più vasto mercato di riferimento, assumendo un ruolo rilevante non solo nelle realizzazioni previste in Italia, ma anche in quelle previste all'estero. Tali accordi strategici dovrebbero, inoltre, prevedere in esplicito la partecipazione di imprese nazionali già nelle fasi preliminari (di dimostrazione e qualifica del progetto nel caso delle tecnologie più prossime al mercato (quali gli SMR) o di ricerca e sviluppo nel caso di tecnologie AMR, di successiva disponibilità) anche qualora tali azioni siano previste all'estero.

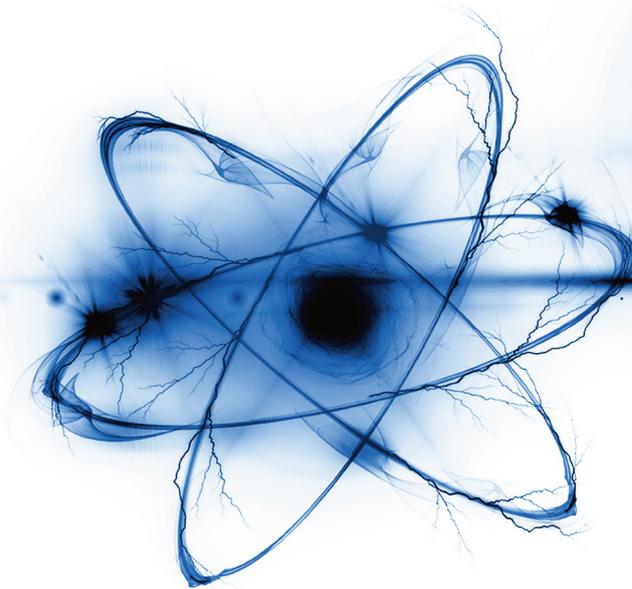
Successivamente a questa prima fase, in piena analogia con il sistema energetico, **il settore produttivo sarà chiamato ad evolvere nel tempo**, aumentando non solo il portafoglio di competenze disponibili, ma anche incrementando la capacità produttiva specifica di ogni processo, **al fine di trarre vantaggio** ancora maggiore **dall'introduzione del nucleare**. Essendo questa una prospettiva di più lungo termine, un vantaggio competitivo rispetto a potenziali concorrenti potrà essere trovato, nuovamente, investendo in progetti con gli sviluppatori dei quali il sistema nazionale abbia in essere accordi strategici di collaborazione. La scelta della tecnologia LFR segue questa logica, facendo leva sulla presenza domestica di due sviluppatori di concetti basati su questa tecnologia, che potrebbero favorire le imprese nazionali, riconoscendo a queste un ruolo di prim'ordine nella realizzazione di futuri impianti.

Estendendo il ragionamento anche alle fasi del ciclo del combustibile poste a monte e a valle dell'impianto nucleare, è ancora necessario distinguere gli interventi di breve e più lungo termine. Nelle tempistiche compatibili con la realizzazione dei primi impianti, basati sulla tecnologia del raffreddamento ad acqua, tutti i progetti disponibili si basano sull'impiego di combustibile compatibile con le linee di produzione in uso per i reattori attualmente in esercizio. È pertanto ragionevole assumere che la fornitura del combustibile sia effettuata, in primis, tramite accordi di lunga durata con gli attuali fornitori di combustibile nucleare della nostra area geopolitica, preferibilmente inseriti nel medesimo contesto degli accordi strategici con gli sviluppatori delle tecnologie selezionate per la realizzazione nel Paese. Opportunità per l'Italia di fornire il proprio contributo in questo segmento potranno essere rese disponibili nel caso in cui l'espansione della capacità nucleare installata a livello regionale sia tale da richiedere un potenziamento delle attuali catene di approvvigionamento del combustibile. Viceversa, l'assenza attuale in occidente di una filiera industriale capace di fornire il combustibile per i reattori avanzati offre, nei tempi dilatati concessi dall'approntamento di tali reattori, un'opportunità, accessibile anche al sistema italiano, di contribuire a colmare la lacuna e riservarsi una posizione di riferimento tra gli attori europei del settore.

All'altro estremo del ciclo del combustibile, il sistema nazionale necessiterà di un significativo rafforzamento in tutte le fasi comprese tra il trasporto del combustibile esaurito e la sua sistemazione definitiva in un deposito geologico di profondità, così come per la gestione, il condizionamento e lo stoccaggio di tutti i rifiuti radioattivi, e (in tempi marcatamente successivi) per lo smantellamento di impianti nucleari e industriali dell'intero ciclo. In questo caso, accordi internazionali potranno nuovamente risultare strategici per approntare soluzioni a quei servizi che, ragionevolmente, assumano efficacia laddove scalati a livello regionale, quali la sistemazione definitiva dei rifiuti a più lunga vita, ed il ritrattamento del combustibile, richiesto per la chiusura del ciclo una volta che ai reattori ad acqua si affianchino quelli a spettro veloce. Il sistema nazionale e nello specifico le aziende che negli ultimi anni si sono occupate di gestire e manipolare le materie nucleari, possono essere di supporto alle attività del ciclo combustibile.

In tutto questo contesto, e nei diversi fronti individuati, appare evidente l'opportunità che verrebbe ad offrirsi alle imprese, per numerosità e variabilità delle azioni richieste, nonché per lo spettro temporale che sarebbe necessario coprire. Per ampliare il bacino di imprese capaci di cogliere quanta più parte di questa opportunità – in aggiunta a quelle già operanti nel settore nucleare, ed in ragione dello spettro di competenze rappresentate dalle aziende associate a Confindustria – si rende necessaria, per queste, la qualifica preliminare ad operare nel settore e la relativa certificazione autorizzativa. La qualifica e la certificazione dei processi di ingegneria e produzione potranno essere favorite da organizzazioni nazionali capaci di offrire formazione, guida e supporto in materia, così come dal coinvolgimento tempestivo delle imprese nelle fasi preliminari dei progetti di riferimento – in particolare laddove siano in essere attività di sviluppo tecnologico, o di sperimentazione di componenti e sistemi prototipici.

# 4. ASPETTI ECONOMICI E INTEGRAZIONE NEL MERCATO ELETTRICO



## 4.1 Competitività dell'energia nucleare nel mercato nazionale

L'Italia si trova attualmente in una fase decisiva nel percorso di decarbonizzazione, volto a raggiungere gli obiettivi di neutralità carbonica entro il 2050. Il mix energetico in grado di abilitare questa transizione comprende un numero limitato di tecnologie, che si riassumono in: fonti rinnovabili, bioenergie e impianti termoelettrici quando associati a cattura e successivo sequestro della CO<sub>2</sub>, e fonte nucleare da fissione.

La **transizione energetica** deve essere impostata per mirare a due ulteriori obiettivi, entrambi essenziali per il Paese: massimizzare la sicurezza del sistema energetico e mantenere la competitività dell'intero sistema nazionale. A fronte di queste necessità, le **tecnologie abilitanti**, sopra individuate, presentano **caratteristiche** che ne differenziano l'efficacia a livello di sistema Paese. Le principali differenze si evidenziano in:

- **occupazione di suolo:** come detto nella sezione 3.1, dipende dalla differente intensità energetica delle fonti (alta intensità in caso di nucleare e combustibili fossili, bassa intensità delle fonti rinnovabili). Inoltre, nel caso di piccoli impianti modulari, SMR e AMR, l'individuazione di un sito idoneo risulta semplificata, per minor consumo idrico e di suolo, ma anche per la possibilità di sfruttare ex siti industriali, ex centrali a carbone o gas o ex centrali nucleari, e per la riduzione delle zone di pianificazione per emergenze;
- **necessità di materie prime critiche:** fattore che impatta sulla sicurezza strategica del Paese (il nucleare risulta essere tra le tecnologie con richiesta minore di materie prime critiche espressa in kg/kWh; al contrario le rinnovabili necessitano di quantitativi importanti in massima parte di origine extra-europea);
- **programmabilità (impianti nucleari, termoelettrici ed idroelettrici a serbatoio e bacino) in rapporto all'intermittenza (eolico, fotovoltaico ed idroelettrico fluente) di produzione:** come discusso nella sezione 3.1.3, impatta sulla necessità, per il sistema energetico, di stoccaggi elettrici o di capacità di generazione di back-up (ad esempio, impianti a gas), che divengono necessari a garantire con sicurezza la sincronizzazione temporale fra domanda e produzione di energia;
- **localizzazione geografica e necessità di interventi alla rete elettrica:** come introdotto nella sezione 3.3, le caratteristiche del territorio rendono più proficua la produzione da fonti rinnovabili nel Sud Italia, a fronte però di una maggior concentrazione della domanda nel Nord del Paese. Di conseguenza, le fonti rinnovabili necessitano di ingenti interventi di rafforzamento della rete elettrica per la trasmissione lungo il territorio italiano;
- **struttura di costo:** quest'ultima nel caso di nucleare e rinnovabili vede preponderanti i costi di investimento mentre i costi variabili diventano marginali. Inoltre, come anticipato in sezione 3.3.1, nel caso di un impianto nucleare con durata di vita di 60 anni il combustibile ha un peso su LCOE decisamente modesto, circa pari al 5%<sup>29</sup>, rendendo il costo dell'energia debolmente volatile. È peculiare il caso delle fonti rinnovabili, che pur in assenza di costi legati all'approvvigionamento di combustibile, per via del meccanismo di composizione del prezzo provocano grande instabilità nel mercato dell'elettricità (si riporta a titolo di esempio il caso della Germania, dove i prezzi variano da valori negativi quando c'è eccesso di produzione a valori fino a 900 Euro/MWh o quando c'è carenza di vento per lunghi periodi).

<sup>29</sup> A titolo di esempio, negli USA il costo del combustibile nucleare si aggira tra gli 0.6 ed i 0.7 centesimi di dollaro per kWh ([https://www.eia.gov/electricity/annual/html/epa\\_08\\_04.html](https://www.eia.gov/electricity/annual/html/epa_08_04.html)).

Nell'ottica di ottimizzare il mix energetico al 2050, la **complementarità tra fonti rinnovabili e fonti stabili e programmabili** (come nucleare e termoelettrico decarbonizzato) abiliterebbe un efficientamento della produzione delle diverse tecnologie e una riduzione degli extra costi per il sistema per stoccaggio, back-up e potenziamento di rete, che sarebbero necessari in un sistema basato al 100% su fonti rinnovabili.

#### 4.1.1 Costi degli SMR e degli AMR

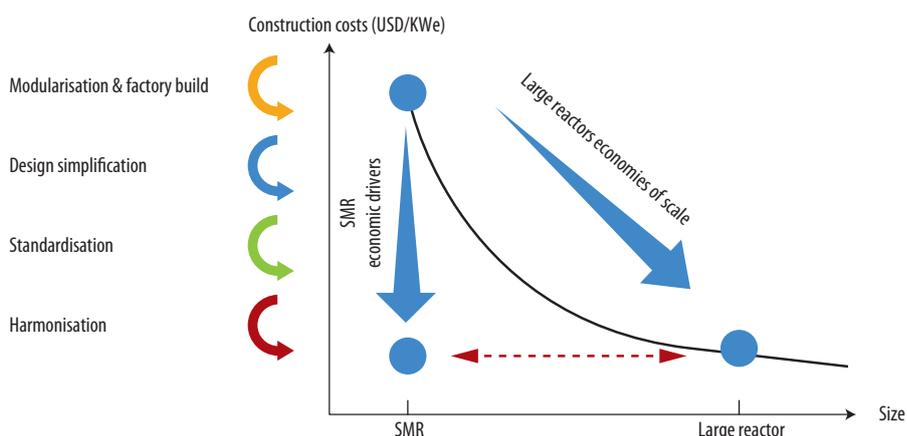
Alcuni aspetti caratteristici del SMR e degli AMR indirizzano in modo ottimale le esigenze energetiche e il percorso di decarbonizzazione italiano.

La **modularità** e la **standardizzazione** del design di SMR e AMR consentono la produzione della componentistica in serie, il pre-assemblaggio e la verifica in fabbrica, permettendo **significativi risparmi di tempo di costruzione e di costi**, rispetto ai grandi reattori nucleari basati su economia di scala.

La **taglia ridotta** rispetto agli impianti nucleari tradizionali di grande taglia comporta diverse ricadute positive: più semplice identificazione di siti idonei alla realizzazione, ridotto impegno di capitale e maggiore finanziabilità, minore incertezza sui tempi di costruzione. L'impatto è quindi positivo sul totale dei costi per il sistema. Il posizionamento di queste installazioni potrà di conseguenza essere valutato in prossimità di altri impianti e/o distretti industriali. Infatti, altra caratteristica centrale degli impianti nucleari è la **cogeneratività** che, in aggiunta alla produzione di energia elettrica, permette di fornire direttamente calore sotto forma di vapore ad alta temperatura o idrogeno prodotto in sito, rendendo SMR ed AMR adatti a molteplici applicazioni industriali. Queste caratteristiche garantirebbero l'asservimento alle diverse esigenze energetiche in modo low-carbon, programmabile e *baseload* e a costi potenzialmente competitivi. In aggiunta, alcuni SMR e AMR sono progettati in modo da garantire anche grande flessibilità di esercizio, incluso il funzionamento in *load-following* se confrontati con altre fonti programmabili a basse emissioni.

Semplificazione, standardizzazione, modularità ed armonizzazione dei requisiti sono le caratteristiche che abilitano le **economie di serie**, impostazione differente rispetto alle economie di scala perseguite con gli impianti nucleari di grande taglia. Per altri settori, come aeronautico e navale, le economie di serie sono risultate in curve di apprendimento con riduzione tra il 10 e il 20% dei costi. Benefici analoghi sono attesi anche per il nucleare modulare. La curva qualitativa di apprendimento per SMR ed AMR è rappresentata schematicamente in Figura 4.1. Fattore abilitante cruciale è **avere una filiera unica e integrata**, che selezioni un numero limitato di concetti e si coordini per garantire standardizzazione ed armonizzazione.

**Figura 4.1**  
**Curva qualitativa di apprendimento per SMR ed AMR ed economia di serie**  
 (fonte Nuclear Energy Agency, *Unlocking Reductions in the Construction Costs of Nuclear. A Practical Guide for Stakeholders*, NEA No. 7530, OECD, 2020)



Non essendoci ancora dati consolidati per assenza di esperienza operativa, **le stime di costo delle tecnologie SMR e AMR sono ancora ampie**, dipendendo da una numerosità di fattori come il progetto, la tecnologia, la scala dell'impianto, ma come anche le condizioni regolatorie e di sviluppo commerciale.

Per quanto riguarda gli **SMR**, la tecnologia più vicina alla commercializzazione (*Technology Readiness Level* – **TRL 7-8**), la stima più recente presentata dall'International Energy Agency riporta un **costo d'investimento overnight** che, con riferimento al contesto americano ed europeo, pur partendo da valori significativamente più elevati di quelli relativi a reattori di grande taglia, è previsto calare<sup>30</sup> al 2050 al di sotto di 5.000\$ per kW nelle condizioni determinate dallo scenario Announced Pledges<sup>31</sup>, o addirittura attorno ai 3.000\$ per kW nello scenario aggressivo che permetta di raggiungere gli obiettivi *net zero*.

Per gli **AMR** le incertezze sui costi *overnight* sono un po' più ampie, essenzialmente a causa della minore maturità tecnologica (**TRL 5-6**) legata a progetti innovativi e ad un ciclo del combustibile molto diverso da quello attuale.

#### 4.1.2 Costi e disponibilità del materiale fissile

Parlando di materiale fissile per la **produzione di combustibile nucleare** occorre innanzitutto citare la grande differenza tra Generazione III+ (SMR) e la Generazione IV (AMR): come introdotto nella sezione 3.1.1, mentre la prima - in continuità con la Generazione III - impiega sostanzialmente ossidi di uranio o di una miscela di uranio e plutonio (*mixed-oxide*, MOX), con arricchimento in uranio sino al 5% o contenuto di plutonio sino al 7%, la seconda (specificamente ai reattori veloci) utilizza uranio a più alto arricchimento (fino al 20%, detto HALEU) o MOX con contenuto di plutonio fino al 30%, miscelato opportunamente con uranio impoverito e, potenzialmente, con ulteriori rifiuti nucleari.

Il processo di produzione del combustibile per SMR ricalca, quindi, i passaggi già attivi e ottimizzati per la produzione delle barre di combustibile attualmente in uso nei reattori oggi operativi e può sfruttare una filiera già esistente e consolidata (anche se da rafforzare) anche in Europa.

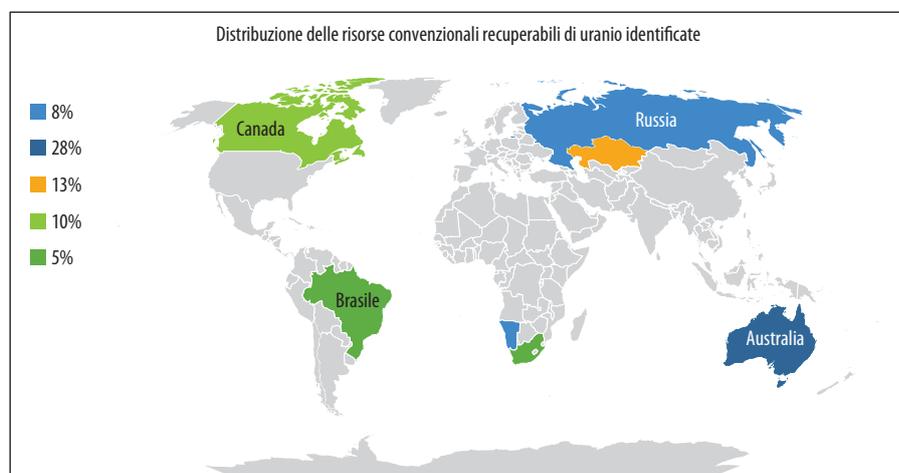
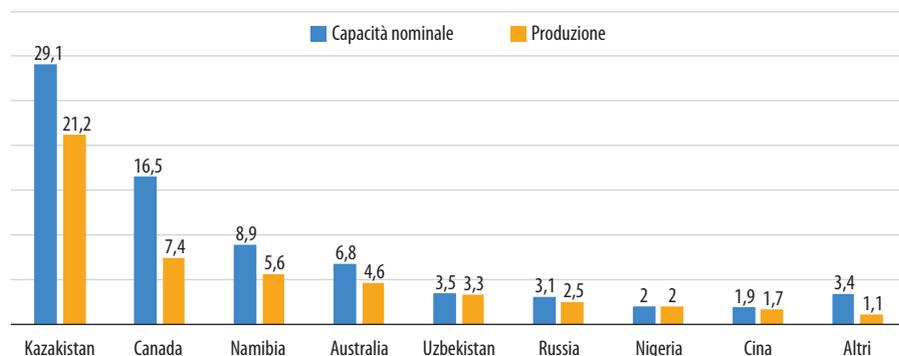
Con riferimento alla grafica mostrata nella sezione 3.1.1, il processo parte dall'estrazione di uranio naturale da **miniere** distribuite in vari Paesi (principalmente: Kazakhstan, Canada, Namibia, Australia, Sudafrica) che, complessivamente, garantiscono una maggiore sicurezza di approvvigionamento grazie ad una minor esposizione al rischio geopolitico. L'uranio viene poi trattato e arricchito nell'isotopo fissile <sup>235</sup>U (Uranio-235) fino ai livelli richiesti dagli SMR. Una volta arricchito, l'uranio viene riconvertito in polvere di ossido, con cui si realizzano le pastiglie che costituiscono il combustibile vero e proprio poi inserito in apposite barre. Oggi gli impianti per effettuare le fasi descritte sopra sono essenzialmente gestiti da pochi operatori a livello mondiale, grossomodo suddivisi equamente tra i Paesi Occidentali (EU, UK, USA e Canada) e il resto del mondo (essenzialmente Russia e Cina). In prospettiva, alla luce di un possibile incremento della richiesta di combustibile nucleare nei prossimi decenni, il collo di bottiglia è rappresentato dalla **capacità di arricchimento dell'uranio**, che richiederà nuovi

<sup>30</sup> International Energy Agency, The Path to a New Era for Nuclear Energy, Paris 2025 <https://www.iea.org/reports/the-path-to-a-new-era-for-nuclear-energy>.

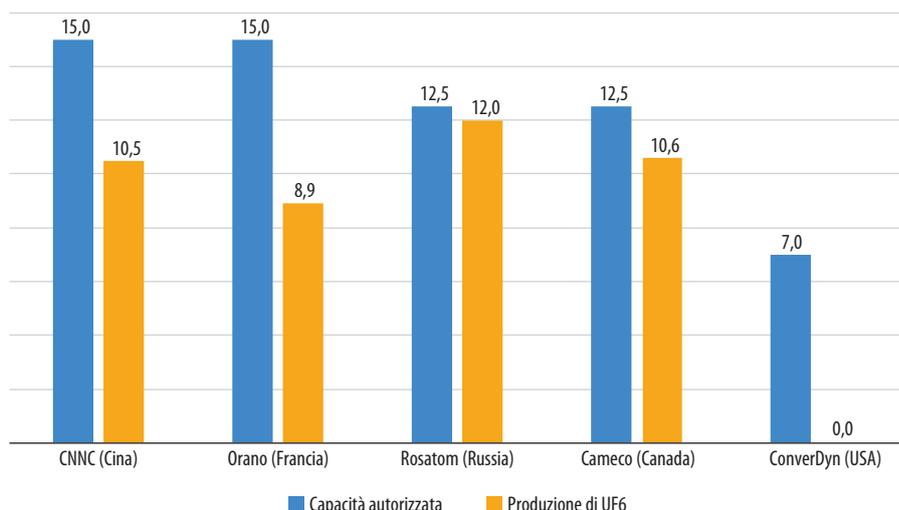
<sup>31</sup> Lo scenario Announced Pledges prende in considerazione l'attuazione di tutti gli interventi dichiarati dai diversi paesi per far fronte agli obiettivi di decarbonizzazione al 2050. Si posiziona a livello intermedio tra lo scenario Current Policies, che proietta al 2050 la situazione determinata dal perdurare dello status quo internazionale, e quello Net Zero, che invece assume siano implementate tutte le azioni correttive realmente necessarie a raggiungere con successo gli obiettivi di decarbonizzazione.

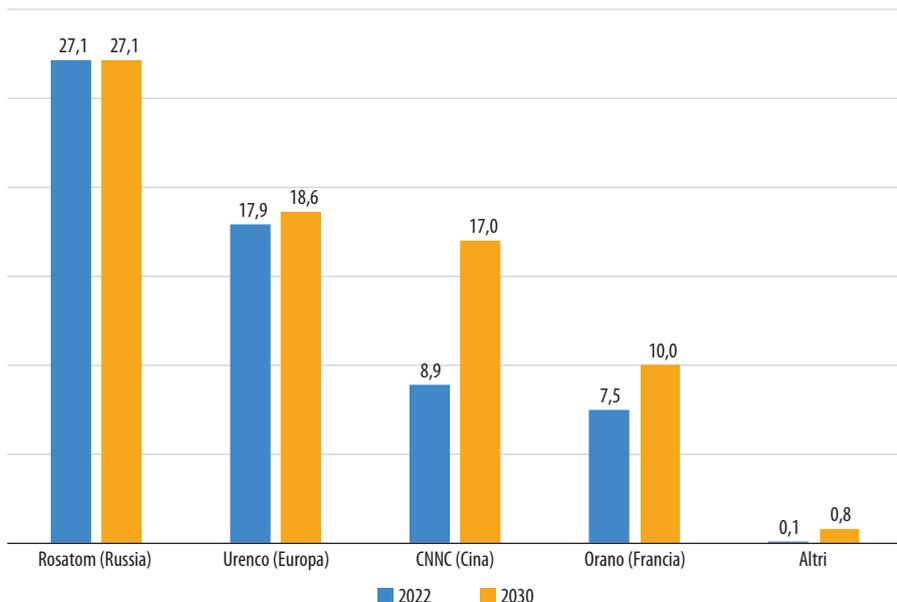
sforzi ed investimenti – peraltro già in essere - per essere soddisfatta. Le Figure 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5, elaborate dalla World Nuclear Association (WNA), mostrano alcuni dati, aggiornati al 2022, sulla disponibilità e sulla capacità di produzione di combustibile nucleare nel mondo.

**Figura 4.2**  
**Produzione di uranio / capacità di targa e produzione in ktU per il 2022**  
 (fonte World Nuclear Association)



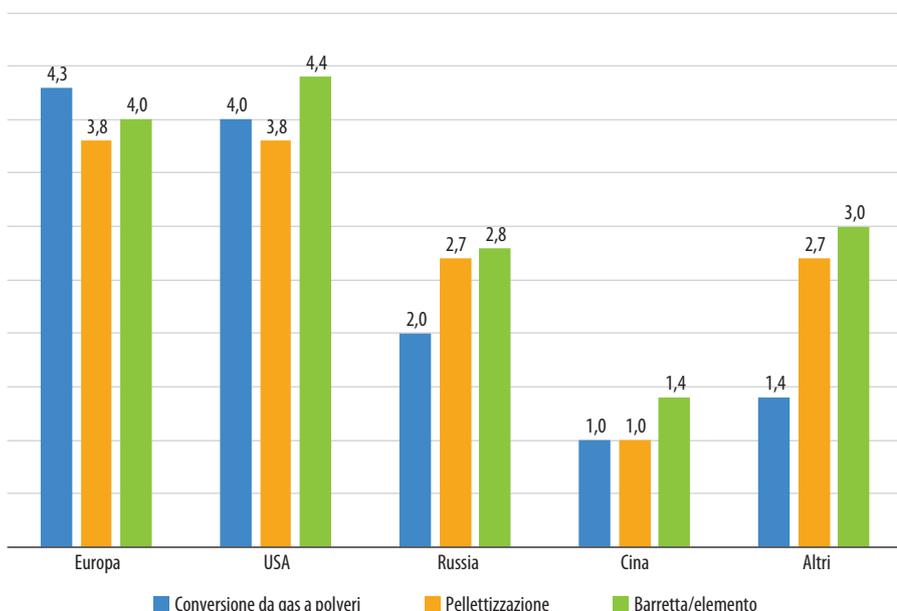
**Figura 4.3**  
**Capacità di conversione e produzione di UF6 – capacità licenziata ed effettiva in ktU per il 2022**  
 (fonte World Nuclear Association)





**Figura 4.4**  
**Capacità di arricchimento di uranio in MSWU/anno – confronto tra 2022 e proiezioni al 2030**

(fonte World Nuclear Association; SWU: unità di lavoro separativo. Indicativamente, un impianto di arricchimento con una capacità di 1000 kSWU/anno è in grado di produrre l'uranio arricchito necessario all'alimentazione di circa otto grandi impianti nucleari)



**Figura 4.5**  
**Produzione di combustibile nucleare in ktHM/anno al 2022**

(fonte: World Nuclear Association; tHM: tonnes of Heavy Metal – tonnellate di metalli pesanti)

Per i reattori **AMR** considerati in questo contesto, invece, si considera l'utilizzo di **combustibile MOX**.

Come mostrato nella grafica di sezione 3.1.2, il plutonio deve essere inizialmente ricavato dal riciclo del combustibile esausto degli impianti di Generazione II, III o III+: l'estrazione avviene mediante **riprocessamento**, oggi eseguito commercialmente soltanto in Francia, con un impianto dalla capacità di 1700 t/anno, e in Russia, con una ulteriore capacità di 400 t/anno.

Tali impianti sono, tuttavia, esclusivamente impiegabili per la produzione di combustibili MOX per utilizzo all'interno di reattori di Generazione II, III e III+, caratterizzati da una minor concentrazione di plutonio rispetto a quanto necessario per i reattori di Generazione IV: per questi sarà necessario **sviluppare una filiera ad hoc** con processi e impianti dedicati, sia per il riprocessamento del combustibile esausto che per la fabbricazione di combustibile MOX, che richiederanno tempi e risorse per la messa a punto, con un impatto sul costo finale del combustibile ma con potenziali risparmi sul ciclo a valle, oltre che

semplificazioni sui requisiti del deposito geologico. Per lo sviluppo del combustibile per reattori AMR e il suo riprocessamento sono necessari investimenti che, se condivisi a livello multinazionale, permetterebbero di minimizzarne l'impatto sui costi di sistema.

#### 4.1.3 Costi di generazione del nucleare sostenibile

Sulla base dei concetti espressi nei precedenti paragrafi, viene utilizzato il parametro LCOE (Levelized Cost Of Electricity) per rappresentare un ordine di grandezza del costo della materia prima elettrica del nuovo nucleare rispetto alle altre fonti energetiche. Per quanto riguarda gli SMR e gli AMR, l'LCOE è ancora caratterizzato da un'alta incertezza, poiché entrambe le tecnologie non sono ancora mature e si trovano in fase di sviluppo. **L'LCOE degli SMR, proiettato al 2040** e nelle condizioni dello scenario Announced Pledges, **si considera in un range tra i circa 70 e i 110 \$/MWh<sup>32</sup>**, prendendo come riferimento il mercato europeo. Nel caso degli AMR, data la minor maturità tecnologica, le stime di costo sono ancora più incerte, e fortemente dipendenti dalla tecnologia considerata. Con riferimento alla tecnologia LFR, individuata come promettente per il sistema italiano (si veda la sezione 3.3.2), alcuni fattori determinati dalle proprietà intrinseche del piombo (su tutte, la semplificazione impiantistica ed il maggior rendimento termico) suggeriscono la possibilità di una piena competitività economica con gli SMR.

Per quanto riguarda le fonti rinnovabili, il loro LCOE è influenzato da vari fattori geografici e tecnologici. In Italia, per esempio, il fotovoltaico e l'eolico onshore presentano un LCOE indicativamente compreso tra i 55 e i 90 \$/MWh<sup>33</sup>, che al 2050 la IEA<sup>34</sup> proietta scendere fino a circa 25 e 50 \$/MWh, rispettivamente. Tuttavia, il parametro LCOE non consente un confronto efficace tra le diverse fonti energetiche che differiscono fondamentalmente per programmabilità e ore di funzionamento. Le fonti rinnovabili, infatti, sono per natura intermittenti e in Italia producono mediamente per 2000 ore l'anno: nel caso di forte penetrazione di tali fonti nel mix energetico, si renderanno necessari sistemi di stoccaggio elettrico o di back-up per garantire la disponibilità di elettricità quando i consumatori ne hanno bisogno, nonché interventi di potenziamento della rete, sia relativamente al trasporto tra le zone di maggior produzione rinnovabile (Sud Italia) e le zone di maggior consumo (Nord Italia), sia per quanto concerne la protezione della rete da guasti e fluttuazioni (come discusso nella sezione 3.1.3). Tutti questi interventi aggiuntivi – come detto, parte integrante di un sistema a forte penetrazione di rinnovabili variabili – determinano costi aggiuntivi per l'utenza finale, che portano ad un incremento di almeno<sup>35</sup> 40 \$/MWh rispetto al solo LCOE delle rinnovabili. Questi costi, peraltro, cresceranno più che proporzionalmente con l'aumento della produzione rinnovabile nel mix energetico. Allargando dunque il contesto oltre il solo parametro LCOE (che, singolarmente, risulta inadatto al confronto tra fonti tanto diverse quanto nucleare e rinnovabili) e includendo tutti i possibili costi addizionali per l'utente finale, ne risulta come l'energia nucleare, pur avendo un LCOE inizialmente più elevato rispetto alle rinnovabili, diviene competitiva in un sistema con una forte componente di rinnovabili e tanto più vantaggiosa quanto maggiore è la penetrazione di queste ultime nel sistema.

<sup>32</sup> International Energy Agency, , The Path to a New Era for Nuclear Energy, Paris 2025 <https://www.iea.org/reports/the-path-to-a-new-era-for-nuclear-energy>.

<sup>33</sup> International Energy Agency – Nuclear Energy Agency, Projected Costs of Generating Electricity, 2020 Edition, Paris 2020, pg. 61-63.

<sup>34</sup> International Energy Agency, World Energy Outlook 2024, Paris 2025.

<sup>35</sup> Alcuni studi recenti sui Levelized Full System Costs of Electricity (LFSCO) portano a ritenere i costi addizionali necessari per le fonti rinnovabili ben oltre i 40 \$/MWh qua citati. Si veda, ad esempio, R. Idel, Levelized Full System Costs of Electricity, Energy 259 (2022), 124905.

In conclusione, è necessario ragionare a livello sistema in termini di mix produttivo ottimale: solo così, infatti, sarà possibile valorizzare le sinergie di costo ed investimento che si generano con un mix equilibrato.

**I costi del vettore termico e del vettore idrogeno da nucleare**, misurati tramite parametri come LCOH (Levelized Cost Of Heat) e  $LCOH_2$  (Levelized Cost Of Hydrogen), sono fortemente influenzati dalla tecnologia utilizzata e dalle specificità del sito di produzione, come la disponibilità di risorse naturali, i costi di infrastruttura e la capacità di integrazione del sistema energetico. Di conseguenza, è difficile esprimere in termini univoci dei valori universali per il sistema Paese, ma diventa necessario basarsi su scenari locali che considerino le specificità geografiche, economiche e tecnologiche.

Nel caso dell'idrogeno, è importante sottolineare come l'utilizzo di elettrolizzatori ad alta temperatura SOEC (Solid Oxide Electrolyzer Cells) possa offrire un significativo vantaggio in termini di efficienza rispetto agli elettrolizzatori tradizionali a basse temperature. Gli elettrolizzatori SOEC, sfruttando sia il vapore che l'energia elettrica in uscita da un reattore nucleare, riescono a produrre idrogeno in modo più efficiente rispetto all'elettrolisi diretta dell'acqua, riducendo il consumo di energia elettrica e abbattendo i costi complessivi di produzione.

#### 4.1.3.1 I benefici abilitati dal nucleare sostenibile

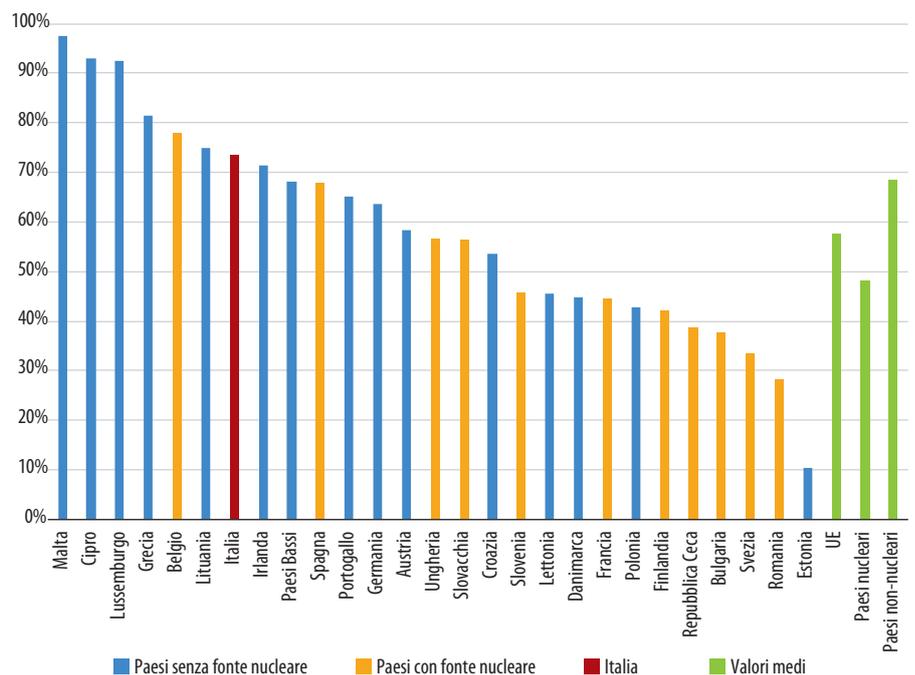
Una porzione del mix energetico italiano da fonte nucleare garantirebbe alcuni benefici e garanzie per la fornitura ai clienti finali. Relativamente ai soli aspetti economici (lasciando altri benefici al precedente capitolo) il nucleare, in quanto alleato alle fonti rinnovabili, centrali nel percorso di decarbonizzazione, consente di ottenere:

- **stabilità del costo dell'energia:** la struttura di costo con maggior incidenza dei costi fissi e la possibilità di acquistare e immagazzinare il combustibile presso l'impianto consentono di disaccoppiare il costo di produzione dalla volatilità del prezzo dell'uranio. Il nucleare inoltre non soffre della volatilità dei prezzi delle rinnovabili legata all'eccesso di produzione (che impone il *curtailment*) alternato alla mancanza di produzione;
- **competitività del prezzo al consumo:** garantire la **programmabilità della fornitura** – esigenza questa dei consumatori finali e in particolare dell'industria energivora – in un sistema basato solo su fonti rinnovabili variabili implicherebbe un sovradimensionamento della capacità di generazione e dei relativi stoccaggi, con conseguenti ingenti investimenti. A questi, poi, se ne aggiungerebbero ulteriori, come richiesti ad assicurare la stabilità e la robustezza del sistema elettrico e per il potenziamento della rete di trasmissione per garantire il trasporto tra Sud e Nord Italia. L'introduzione di una quota di capacità programmabile da nucleare consentirebbe di contenere questi investimenti e di conseguenza ridurre gli oneri di sistema compresi nella tariffa al consumatore finale, mantenendo invariata la qualità della fornitura di energia all'utenza.

**La disponibilità costante di energia decarbonizzata, sicura e a un costo di produzione stabile e contenuto è un fattore determinante per le imprese italiane**, in particolare nei settori energivori, per mantenere la **competitività** sui mercati europei ed internazionali.

Il confronto con i Paesi europei limitrofi all'Italia evidenzia chiaramente il contributo dovuto all'impiego della tecnologia nucleare sull'indipendenza energetica. Sicurezza ed affidabilità del sistema si possono misurare tramite il **tasso di dipendenza energetica** (importazioni nette di energia/consumi energetici totali), a indicazione della capacità di un Paese di soddisfare i consumi energetici nazionali con fonti proprie. Assieme ad altri fattori, l'utilizzo di energia nucleare sembra poter influenzare il valore dell'indicatore: tra i 10 Paesi europei con il tasso più basso, sette di questi possiedono centrali nucleari (come rappresentato in Figura 4.6, sulla base di dati Eurostat 2024). Questa correlazione indica che **mediamente i Paesi con nucleare nel proprio mix energetico tendono ad esportare energia piuttosto che ad importarla**. È importante sottolineare questo aspetto poiché impattante in modo positivo sulla formazione del prezzo energetico del Paese.

**Figura 4.6**  
**Tasso di dipendenza energetica dei paesi europei**  
 (elaborazione dei dati Eurostat di aprile 2024)



## 4.2 Fattori e meccanismi abilitanti

La volontà di promuovere lo sviluppo del nucleare in Italia richiede una precisa visione industriale e un **programma 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. L'inclusione del nucleare all'interno del PNIEC 2024 rappresenta il primo passo verso lo sviluppo dell'energia nucleare in Italia. Per concretizzare l'ipotesi di scenario prevista dal PNIEC è fondamentale implementare alcune condizioni necessarie, descritte nel capitolo 2, come:

- la definizione di un **quadro normativo**;
- il **coinvolgimento della popolazione**;
- **supporto pubblico e finanziamenti**;
- lo sviluppo della **supply chain** e delle **competenze**;
- la **gestione dei rifiuti radioattivi**.

Per avviare e consentire l'evoluzione di un programma nucleare in Italia, in primis attraverso l'implementazione dei fattori abilitanti sopra elencati, adeguati **meccanismi incentivanti** di supporto si rendono cruciali. In particolare, per gli SMR si possono identificare 3 fasi.

### FASE 1

Supporto economico del governo italiano per la creazione di una partnership con un soggetto industriale europeo che sta sviluppando la tecnologia SMR così da:

- concorrere allo sviluppo apportando competenze e finanziamento;
- posizionare la supply chain nucleare italiana come soggetto chiave per la realizzazione di una buona parte della componentistica dei futuri SMR in Italia e potenzialmente anche all'estero;
- assicurare così l'accesso privilegiato alla tecnologia per le utility operanti in Italia interessate a sviluppare SMR sul territorio italiano.

Il finanziamento è diretto a supportare quei soggetti operanti in Italia che intendono giocare un ruolo di sviluppatore di tecnologia nucleare e a quei soggetti della supply chain e agli enti di ricerca, che dispongono delle competenze per supportare la finalizzazione del progetto industriale di SMR prescelto.

### FASE 2

Supporto alla realizzazione di una prima miniserie di impianti FIAC (First-In-A-Country) in Italia, con l'obiettivo di creare fin da subito una massa critica di progetti che consenta un adeguato sviluppo della *supply chain* nucleare italiana. Il supporto è diretto a 3 tipologie di soggetti:

- *utilities*/consorzi che intendono concorrere alla realizzazione di uno o più impianti SMR della miniserie FIAC, con la finalità di coprire una parte significativa degli extra-costi di sviluppo legati alla prime realizzazioni e ridurre il rischio regolatorio/politico (es. finanziamento in conto capitale, eventualmente complementare a finanziamenti europei + contratti alle differenze, RAB, ...);
- *supply chain* nucleare italiana (soggetti già operanti o con capabilities per operare nel settore industriale) con la finalità di rinforzare e colmare eventuali gap di competenze e capacità produttiva per creare un sistema industriale in ambito nucleare adeguato allo sviluppo modulare degli SMR, iniziando, al tempo stesso, uno *scale-up* della capacità industriale;
- industrie (energivore)/utenti finali che dovranno adeguare il processo produttivo al fine di beneficiare della cogeneratività degli SMR (calore diretto ed idrogeno) nell'ambito dei progetti FIAC.

### FASE 3

Supporto allo sviluppo e alla diffusione della tecnologia SMR per concorrere al raggiungimento dei target di sostenibilità al 2050, in linea con quanto avviene per le altre tecnologie green, con la finalità di:

- ridurre il rischio per gli operatori sul ritorno economico legato alla volatilità dei prezzi e alla possibile evoluzione dei modelli di mercato (ad esempio CfD e RAB) ed assicurare la competitività del costo dell'energia nucleare, se necessario riconoscendo una parte del risparmio derivante dai mancati costi di sistema abilitato dall'introduzione della fonte nucleare nel mix energetico italiano;
- continuare a supportare industrie ed utenti finali nell'adeguamento dei processi industriali finalizzato all'utilizzo di calore/H<sub>2</sub> di produzione nucleare per la decarbonizzazione delle proprie attività.

Per gli AMR si renderà poi necessario un supporto finalizzato alla realizzazione delle attività di ricerca, dimostrazione e industrializzazione di quei progetti che saranno identificati come complementari allo sviluppo degli SMR per la chiusura del ciclo del combustibile. Il supporto dovrà essere diretto non solo allo sviluppo della tecnologia del reattore nucleare, ma anche delle *facility* (italiane o più probabilmente europee) per il riprocessamento del combustibile esausto degli SMR e la creazione di nuovo combustibile per gli AMR.

Una disamina più di dettaglio della comparazione tra i principali strumenti economici di supporto al programma nucleare è presentata nella sezione 4.3.

#### 4.2.1 Supporto alla produzione ed utilizzo di energia elettrica, termica, di idrogeno e di nuovi vettori energetici

La transizione energetica richiede un importante **impegno da parte delle industrie**, in particolare **per quanto riguarda l'integrazione del nucleare nella produzione di energia elettrica, termica e dell'idrogeno**. Oltre il 70% dell'energia consumata dall'industria è impiegato sotto forma di calore, e attualmente circa il 90% di questo fabbisogno è soddisfatto da fonti fossili. La decarbonizzazione dell'industria e dei settori *hard-to-abate* richiede un'integrazione sempre più stretta tra la produzione di energia elettrica, calore e idrogeno (sia per l'accumulo che per la generazione di calore ad alta entalpia) e i processi produttivi industriali. Questo obiettivo può essere raggiunto attraverso un'accurata **analisi degli interventi necessari per ottimizzare il trasporto, l'utilizzo e la gestione efficiente dei flussi energetici**. Tuttavia, i costi iniziali associati a tali interventi – che comprendono l'integrazione di impianti nucleari, la riconversione degli impianti produttivi e l'adozione di vettori energetici alternativi – possono risultare molto onerosi per le industrie italiane, che si trovano già ad affrontare sfide economiche e competitive. In questo contesto, è **necessario un supporto pubblico sotto forma di incentivi e misure di sostegno economico**, che possano alleviare l'onere finanziario e facilitare l'accesso a tecnologie avanzate. Senza un adeguato supporto normativo e finanziario, la transizione potrebbe essere rallentata, con impatti negativi sul processo di decarbonizzazione e sulla competitività dell'industria a livello globale.

Il supporto alla produzione e all'utilizzo di energia elettrica, termica, idrogeno e di nuovi vettori energetici attraverso il nucleare richiede una serie di interventi normativi che ne facilitino l'integrazione e l'efficienza. In primo luogo, è essenziale **definire uno schema regolatorio** che garantisca la collocazione degli impianti nucleari in prossimità degli impianti che ne utilizzano l'energia prodotta, in modo da ottimizzare i flussi energetici. Inoltre, occorre **stabilire un quadro normativo** che riconosca l'idrogeno ed altri vettori energetici prodotti tramite nucleare come strumenti della strategia di decarbonizzazione, promuovendo l'integrazione di questi nuovi vettori nei sistemi energetici nazionali e locali. Infine, è cruciale prevedere schemi incentivanti che sostengano gli investimenti necessari per la riconversione degli impianti produttivi industriali.

#### 4.2.2 I costi per il sistema e la collettività

Rimarcando la necessità di **meccanismi di supporto** alla produzione e all'impiego dell'energia nucleare, e, più in generale, dell'energia *low carbon* programmabile, in maniera analoga a quanto già fatto oggi per le fonti rinnovabili, è importante evidenziare in che modo l'inclusione di questa fonte energetica potrebbe impattare sul costo per il sistema Paese. L'introduzione di una quota di energia nucleare potrebbe rappresentare, secondo lo scenario "Con nucleare" definito nel PNIEC (si veda sezione 2.4.1), una quota del 11-22% della domanda

energetica al 2050 consentendo notevoli risparmi in termini di investimenti in sistemi di stoccaggio aggiuntivi e di ulteriore potenziamento delle reti di media ed alta tensione che sarebbero necessari in uno scenario 100% rinnovabili. Questi risparmi si tradurrebbero in minori oneri di sistema e minori costi di trasmissione e distribuzione elettrica riducendo così il costo dell'elettricità sostenuto dai clienti finali. D'altra parte, come per le rinnovabili anche il nucleare necessiterà di schemi di incentivazione che andranno ad incidere sulla componente degli oneri di sistema, ma con un impatto nettamente inferiore rispetto a quello di uno scenario 100% rinnovabili. L'ammontare degli schemi di incentivazione determinerà sostanzialmente il livello del costo dell'energia per i clienti finali e, in ultima analisi, l'eventuale necessità di incentivare l'adeguamento dei processi industriali per massimizzare l'elettrificazione da un lato, e la decarbonizzazione dell'approvvigionamento di calore dall'altro. **Gli incentivi dovranno necessariamente essere gestiti al di fuori del sistema di formazione del prezzo dell'energia per i clienti finali.** In definitiva, sarà necessario dosare attentamente il sistema delle misure incentivanti per contenere la spesa energetica per i consumatori italiani.

Tuttavia, è importante considerare che i costi di incentivazione e/o finanziamento del nucleare potrebbero essere in gran parte bilanciati dal maggior gettito fiscale derivante dal valore aggiunto indotto dall'utilizzo di una tecnologia che in gran parte potrà essere realizzata dalla supply chain italiana, tecnologia che presenta un moltiplicatore pari a 2,5<sup>36</sup> (per ogni € 100spese nel nucleare si crea un indotto pari a € 250).

Nella **formazione del prezzo dell'energia prodotta dal nucleare** occorre tener conto non solo dei costi di decommissioning a fine vita utile dell'impianto (oltre 60 anni), come regolarmente fatto per tutti gli asset produttivi, ma anche dei costi di gestione dei rifiuti radioattivi derivanti dall'esercizio e dal *decommissioning* dei nuovi impianti. I **rifiuti radioattivi** si distinguono in rifiuti a bassa e media attività di radiazione (97% in volume) che possono essere conferiti, assieme ai rifiuti radioattivi provenienti da altre attività (es. medico-ospedalieri) in depositi di superficie (*near-surface*) e in rifiuti ad alta attività di radiazione (3% in volume) che devono essere conferiti a un deposito geologico profondo. I costi per la realizzazione del deposito geologico rappresentano una delle principali voci di costo per lo smaltimento dei rifiuti radioattivi ad alta attività. Questo costo dipende dalla **possibilità di chiudere il ciclo del combustibile**: abbinando al nucleare di Generazione III+ (SMR) gli impianti di Generazione IV (AMR) è, infatti, ipotizzabile la possibilità di utilizzare alcuni rifiuti dei primi come parte del combustibile dei secondi, riducendo sia i volumi che la durata della radiotossicità dei rifiuti residui, con una riduzione dei costi di smaltimento, al netto dei costi di riciclo del combustibile della Generazione III+.

A copertura dei **costi di decommissioning e smaltimento dei rifiuti radioattivi**, potrebbe essere istituito, in linea con numerosi Paesi europei, un fondo al quale destinare, durante l'intera vita dell'impianto, appositi fondi accantonati dai proventi della vendita dell'elettricità prodotta; in molti casi, questi fondi sono investiti in attività a basso rischio che ne consentono la rivalutazione nel tempo. Essendo poi tali costi sostenuti a fine vita dell'impianto ovvero dopo almeno 60 anni di produzione di energia, essi pesano solo pochi punti percentuali sul costo del kWh.

<sup>36</sup> Cfr. The European House Ambrosetti, Edison, Ansaldo Nucleare, Il Nuovo Nucleare in Italia per i Cittadini e le Imprese, settembre 2024.

### 4.2.3 I benefici per il sistema e la collettività

Come già anticipato in sezione 3.4, uno scenario italiano che preveda la completa decarbonizzazione per il 2050, basato su un mix ottimizzato di fonti di produzione di energia elettrica *low carbon* comprendente fonti rinnovabili e fonti di generazione elettrica programmabili, come il nucleare, permetterebbe di ottimizzare e ridurre i costi di sistema, consentendo di contenerne l'impatto sugli oneri generali che concorrono alla formazione del costo dell'elettricità per i clienti finali. A questo importante beneficio, si aggiunge la già precedentemente citata **stabilizzazione dei prezzi dell'energia**, legata all'incidenza minimale del costo del combustibile nucleare sul costo di produzione.

Oltre ai benefici citati, lo sviluppo del nucleare in Italia rappresenta un'importante occasione di sviluppo economico per il Paese. In base all'analisi svolta da The European House Ambrosetti in collaborazione con Edison ed Ansaldo Nucleare, lo sviluppo in Italia di 15-20 SMR-AMR (ca. 7 GW di capacità installata) tra il 2035 e il 2050, può attivare un mercato complessivo per la filiera industriale italiana cumulato al 2050 pari a circa € 46 miliardi e, complessivamente, gli investimenti per il nucleare potrebbero generare un valore aggiunto cumulato di circa € 15 miliardi per la filiera diretta in Italia. Grazie all'elevato moltiplicatore economico del settore dell'energia nucleare, **investire nel nuovo nucleare attraverso la filiera industriale italiana potrebbe abilitare un potenziale impatto economico complessivo per il sistema Paese di € 50 miliardi/anno** (~ 2,5% del PIL italiano). Inoltre, grazie ad un moltiplicatore occupazionale analogamente significativo, lo sviluppo del nuovo nucleare permetterebbe di abilitare circa **120.000 nuovi posti di lavoro** a livello diretto ed indotto.

## 4.3 Strategia per integrare il nucleare avanzato e sostenibile nel sistema energetico italiano

Per promuovere lo sviluppo e la bancabilità degli SMR sono stati consolidati **strumenti di mercato specifici**, ottimizzati per ridurre il LCOE e incentivare la partecipazione di investitori privati. Questi meccanismi, che possono essere annoverati come schemi di incentivo per lo sviluppo degli investimenti, hanno la finalità di ridurre i rischi finanziari associati ai progetti di nuova generazione. Sulla base dell'esperienza internazionale possono essere schematicamente riepilogati nelle seguenti tipologie<sup>37</sup>:

- **incentivi amministrativi:** questi incentivi sono adottati sulla base di decisioni amministrative e tipicamente sostengono tecnologie non completamente mature sul piano industriale. Ad esempio, possono sostenere lo sviluppo di impianti *first of a kind* (FOAK). Sono, tuttavia, considerati poco efficienti sul piano economico;
- **incentivi fiscali:** si tratta, ad esempio, di crediti d'imposta mirati per ridurre il carico fiscale degli operatori, riducendo il costo di produzione nucleare. Negli Stati Uniti, l'*Inflation Reduction Act* (IRA) prevede in tal senso incentivi specifici per gli SMR;

<sup>37</sup> Si vedano, ad esempio: OECD/NEA, *Effective Frameworks and Strategies for Financing Nuclear New Build*, NEA 7684, Paris 2024; OECD/NEA, *New Perspectives for Financing Nuclear New Builds*, NEA 7688, Paris 2024.

- **Contratti alle Differenze (Contracts For Difference, CfD):** questi meccanismi garantiscono un prezzo fisso all'energia prodotta dall'impianto e le eventuali differenze rispetto al prezzo di mercato sono regolate tra le parti con trasferimenti finanziari. Il meccanismo è ampiamente utilizzato per le tecnologie rinnovabili in Italia (tecnologie con una struttura di costo simile a quelle nucleari). Questo meccanismo, in particolare, copre i rischi di mercato durante il funzionamento produttivo dell'impianto ma non i rischi durante la fase di costruzione;
- **Power Purchase Agreements (PPA):** sono contratti di lungo termine, utilizzati ad esempio nell'esperienza statunitense, con la finalità di garantire un prezzo fisso – e quindi prevedibile – per l'energia prodotta dall'impianto. Anche in questo caso si tratta di uno schema spesso utilizzato per altre tecnologie, come le fonti rinnovabili;
- **meccanismi di feed-in premium:** si tratta di meccanismi che integrano il prezzo di mercato a cui viene valorizzata l'energia con delle componenti di premio economico amministrato. Meccanismi di questo tipo sono in via di implementazione in Giappone;
- **Regulated Asset Base (RAB):** il modello RAB condivide fin dall'inizio con i consumatori i costi di realizzazione degli impianti, riducendo così in maniera significativa l'impatto sul costo di produzione degli oneri di finanziamento. Oltre alla riduzione del LCOE, questo meccanismo garantisce il *de-risking* del progetto a partire dalla fase di costruzione, riducendo quindi ulteriormente l'onere per i consumatori durante la vita dell'impianto e contribuendo allo stesso tempo ad attrarre investimenti privati. In UK il governo sta negoziando con EDF uno schema a RAB per la realizzazione del nuovo impianto Sizewell C;
- **Modello Mankala o modello cooperativo:** modelli per cui l'azienda elettrica vende l'elettricità prodotta direttamente ai suoi azionisti ai costi di produzione. È un accordo di proprietà in cui diverse parti uniscono le risorse per sviluppare un bene in comproprietà. Il modello racchiude in sé le caratteristiche di un modello ibrido tra corporate e project financing. Una società "Mankala" non genera profitti né distribuisce dividendi ai propri azionisti. Agli azionisti viene invece offerto il diritto di acquisto al prezzo di costo dell'elettricità generata e sono obbligati a coprire le spese proporzionalmente alle loro rispettive quote di titolarità. L'energia elettrica assegnata, a sua volta, potrà essere utilizzata per autoconsumo oppure venduta tramite accordi bilaterali o sul mercato di scambio, a seconda delle esigenze del comproprietario.

#### 4.3.1 I meccanismi previsti dal nuovo regolamento *electricity market design*

È importante menzionare la **revisione dell'Electricity Market Design** poiché questo rappresenta un'apertura degli schemi incentivanti a tecnologie come il nucleare, favorendone la diffusione. In questo contesto, può essere interpretato come uno spazio di opportunità per il settore nucleare, dove le politiche di mercato possono diventare un abilitatore di questa tecnologia.

Le nuove regole di funzionamento del mercato elettrico sono state adottate con il **Regolamento (UE) 2024/1747**, che modifica i Regolamenti (UE) 2019/942 e (UE) 2019/943 per quanto riguarda il funzionamento del mercato dell'energia elettrica dell'Unione. Il Regolamento è entrato in vigore il 16 luglio 2024.

La proposta della Commissione di modifica del regolamento del mercato elettrico ha come obiettivo quello di rafforzare gli strumenti funzionali allo sviluppo delle tecnologie *CAPEX-intensive*, ovvero gli impianti di generazione rinnovabile

e quelle assimilate come il nucleare. Di fatto non modifica il meccanismo di formazione del prezzo nel mercato dell'energia a breve termine (*System Marginal Price*) e incoraggia l'utilizzo di strumenti per poter fornire al mercato segnali di prezzo a lungo termine. Nello specifico, è stato introdotto un duplice riferimento a PPA e CfD a due vie, come **tipologie contrattuali a lungo termine (Long Term Contracts, LTC)**. L'idea centrale è che, offrendo agli investitori maggiori garanzie di domanda a lungo termine, questi contratti abbiano la capacità di ridurre l'incertezza finanziaria, facilitare l'accesso ai capitali e abbassare il costo del finanziamento, portando quindi ad una diminuzione complessiva dei costi.

Per la loro natura (si veda sopra), i CfD a due vie sono contratti derivati finanziari<sup>38</sup> che rappresentano accordi a lungo termine tra un generatore di elettricità e una controparte generalmente pubblica. L'obiettivo di tali contratti è di garantire una stabilità di ricavi al produttore di energia rinnovabile o a basse emissioni di carbonio, proteggendolo dalle fluttuazioni del mercato elettrico. Al centro del CfD vi è il concetto di prezzo fisso, noto come *strike price*, che rappresenta la soglia garantita per la vendita dell'energia prodotta. Se il prezzo di riferimento, denominato *reference price* è inferiore allo *strike price*, la differenza viene compensata dalla controparte pubblica, coprendo il produttore e assicurando che continui a ricevere il prezzo stabilito. Al contrario, se il prezzo di riferimento supera lo *strike price*, è il generatore di energia a restituire la differenza.

Spesso il contratto CfD viene stipulato e regolato per un determinato volume, ad esempio calcolando la differenza di prezzo (€/MWh) e moltiplicandola per la rispettiva produzione energetica (MWh), ottenendo il pagamento del periodo (EUR), così come segue:

$$\text{Pagamento}_t = (\text{strike price} - \text{reference price}_t) \times \text{volume prodotto}_t$$

Il *reference price* è solitamente riferito al prezzo del mercato elettrico del giorno prima.

Lo *strike price* viene, invece, determinato mediante una procedura di gara competitiva, ovvero un'asta in cui i produttori di energia competono tra loro su quale prezzo fisso sia sufficientemente remunerativo. Possiamo qualificare questo meccanismo all'interno di una procedura di *procurement* in quanto i prezzi di esercizio vengono determinati in modo competitivo in un'asta a partire da un "prezzo base di riferimento" determinato dalla controparte pubblica. Il meccanismo di *procurement* basato su aste di capacità di produzione è una caratteristica dei regimi di sostegno adottati per gli impianti rinnovabili che potrebbe essere estesa a tutti gli effetti anche alla produzione da tecnologia nucleare.

La tecnologia nucleare può essere veicolata a mercato, oltre che con CfD, anche attraverso i **PPA**. Questi sono a tutti gli effetti **accordi bilaterali tra produttori di elettricità e acquirenti**. Come prima anticipato, i PPA nella loro forma più semplice sono accordi a lungo termine personalizzabili per rispondere alle esigenze specifiche di entrambe le parti coinvolte, generalmente con una durata che varia dai 10 ai 15 anni. Questi contratti possono essere basati sulla consegna fisica dell'elettricità o su obblighi finanziari. Nel caso di PPA fisico, il produttore di energia è tenuto a fornire all'acquirente un volume specifico di energia elettrica per l'intero periodo del contratto. Questo tipo di PPA garantisce una fornitura continua di elettricità e stabilisce un **prezzo fisso** per tutta la durata dell'accordo. La conclusione di questo accordo protegge il consumatore dalla volatilità dei prezzi dell'elettricità o della CO<sub>2</sub>. Il risvolto positivo per i produttori di energia è il fatto che i ricavi vengono stabiliti nell'accordo per un lungo

<sup>38</sup> Gli strumenti finanziari derivati sono contratti il cui valore dipende dall'andamento di un'attività sottostante nota anche come "underlying asset". Le attività sottostanti possono avere natura finanziaria o reale.

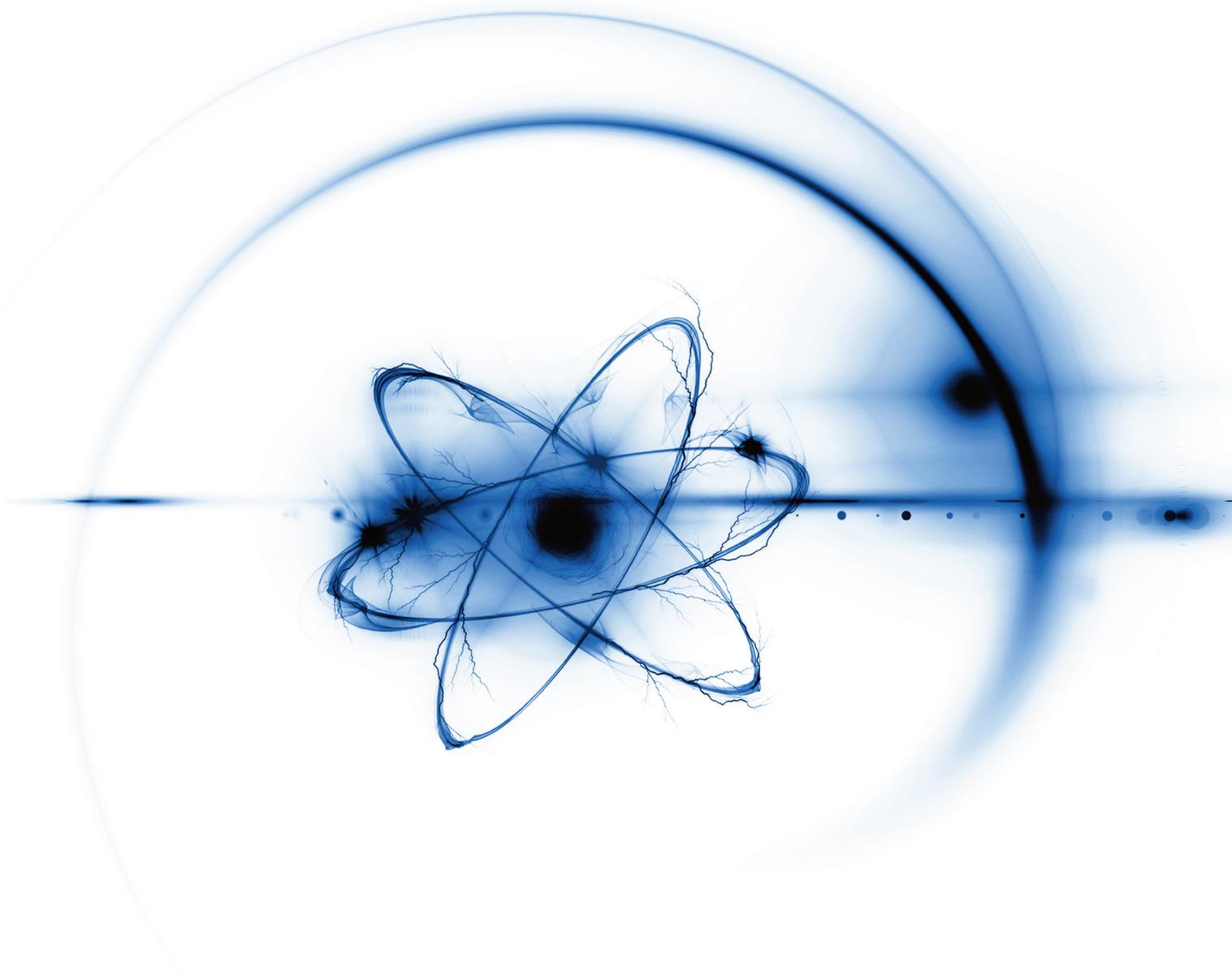
periodo, facilitando il finanziamento di investimenti attuali e futuri. Inoltre, la fornitura garantita di energia aumenta l'affidabilità creditizia dell'operatore dell'impianto, portando a costi di finanziamento inferiori.

Mentre i contratti PPA sono tipicamente utilizzati tra le parti all'interno di un modello di "concorrenza nel mercato" tra lato domanda e lato offerta, i contratti CfD sono funzionali ad un modello di "concorrenza per il mercato" (o *procurement*).

I CfD per costruzione contrattuale si adattano meglio a sviluppare anche meccanismi di incentivo esplicito e/o implicito nella loro struttura. Inoltre, essendo nel caso italiano già sviluppati prevalentemente dal GSE che svolge il ruolo di controparte centrale, possono essere a tutti gli effetti considerati come strumenti opportuni per integrare le politiche energetiche di incentivo.

Le componenti del CfD che possono essere modificate al fine di una adeguata "calibratura" dei meccanismi di incentivo economico sono la definizione del prezzo di riferimento e la definizione dei volumi di riferimento.

# 5. FILIERA INDUSTRIALE



## 5.1 Potenzialità della filiera industriale nucleare

Come discusso nel capitolo 4, investire sul nucleare nel nostro Paese potrebbe produrre un impatto economico complessivo superiore a € 50 miliardi/anno e attivare circa 120.000 nuovi posti di lavoro entro il 2050. La quota diretta di tale ritorno economico dipende dalla capacità del sistema nazionale di operare in tutte le fasi e per l'intera durata del ciclo di vita del programma nucleare, dalla progettazione allo smantellamento e gestione dei rifiuti (sia per i primi sistemi di Generazione III+ che per quelli successivi di Generazione IV).

**In Italia sono più di 70 le aziende specializzate nel settore nucleare** (molte delle quali di medie e grandi dimensioni) **che, con la sola eccezione della fornitura di combustibile, coprono tutti i settori distintivi della filiera industriale** (fornitura di componenti e sistemi per i reattori nucleari, ingegneria di sistema e di esercizio delle centrali nucleari all'estero, ecc.), a riprova della forte specializzazione del sistema italiano nei diversi segmenti della *supply chain* di un progetto nucleare, da general contractor e società di ingegneria alla produzione di grandi componenti, valvole e tubazioni.

Le competenze preservate negli anni dalle imprese di settore lavorando all'estero, unite al generale interesse delle aziende di Confindustria a partecipare alla *supply chain* nucleare, possono essere l'elemento chiave dell'industria italiana per cogliere le opportunità offerte da un programma nucleare nazionale: l'elevata qualità, la capacità di innovazione e la vocazione all'export sono asset strategici per un ruolo di primo piano nel nuovo modello di business associato agli SMR; al contempo, lo sviluppo perseguito nella tecnologia dei reattori a piombo apre la strada ad un ruolo protagonista nella chiusura del ciclo del combustibile, trasformando il tema delle scorie nucleari in una grande opportunità di economia circolare. In questo contesto ENEA, gli altri centri di ricerca nazionali e le Università, insieme alle società partecipate e Nuclitalia, potrebbero svolgere un ruolo di riferimento tecnico-scientifico nazionale per le industrie impegnate o che si affacciano in ambito nucleare, supportando lo sviluppo della filiera industriale del nucleare sostenibile.

### 5.1.1 Attuale copertura di prodotti e servizi richiesti

Lo **sviluppo della filiera produttiva nucleare** richiede una varietà di competenze specialistiche. La progettazione, la costruzione e la manutenzione degli impianti richiedono conoscenze specifiche di ingegneria nucleare e dei materiali, di fisica nucleare, e dei vari ambiti dell'ingegneria convenzionale (dalla meccanica alla chimica, dall'elettrica alla strutturale) applicate all'ambito nucleare, della sicurezza nucleare e della radioprotezione, della modellazione dei processi nucleari, degli aspetti di management e di economia e, infine, del contesto legislativo.

Allo sviluppo degli impianti di esercizio tal quali, si affiancano le attività relative al ciclo del combustibile. Questo copre tutto il ciclo di vita del combustibile nucleare, prima e dopo l'utilizzo negli impianti: dall'approvvigionamento delle materie prime, alla produzione e manifattura degli elementi di combustibile, fino al trattamento post irraggiamento e alla gestione dei rifiuti.

Di seguito viene riportato sinteticamente un prospetto circa i principali prodotti e servizi richiesti per la realizzazione di reattori nucleari ai fini di individuarne la disponibilità sul territorio nazionale e definire gli asset strategici a livello Paese partendo dalle opere civili fino al completamento dell'installazione, comprensivo del ciclo del combustibile, gestione dei rifiuti e decommissioning. Una parte di queste competenze sono già disponibili nel territorio nazionale, operanti secondo gli standard nucleari.

Di seguito l'elenco delle principali attività richieste e dei principali temi da curare.

## 1. PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE

Nel processo di progettazione, costruzione ed installazione di una centrale nucleare di nuova concezione (SMR/AMR) si possono riconoscere vari ambiti di intervento che devono essere condotti e sviluppati dalle società di ingegneria nelle aree di competenza sotto riportate:

- **l'isola nucleare:** costituisce il cuore dell'impianto, la cui progettazione e realizzazione sarà necessariamente in capo al soggetto industriale incaricato della realizzazione del reattore. In questo ambito le società di ingegneria potranno intervenire, coadiuvate dai licenziatari delle diverse tecnologie nucleari, che effettueranno le scelte e ne gestiranno i servizi, alla progettazione ingegneristica dei componenti del reattore. Esistono sul territorio nazionale alcune realtà industriali che possono lavorare all'isola nucleare, anche grazie al supporto alla progettazione da parte dell'ENEA e delle università;
- **Balance of Plant (BoP):** la cui progettazione e realizzazione dovrà essere necessariamente condotta in sinergia all'isola nucleare. Anche in questo ambito le società del territorio nazionale potranno intervenire coadiuvate dai detentori della tecnologia nucleare; esistono sul territorio nazionale alcune realtà industriali che possono lavorare al BoP, anche grazie alla grande esperienza maturata nelle tecnologie convenzionali;
- **modularità:** la progettazione e costruzione di strutture modulari per il trasporto ed installazione dei reattori SMR e AMR possono essere studiate e realizzate anche col supporto di aziende specializzate operanti nel settore degli impianti industriali; non esiste un'ampia esperienza in ambito nazionale per le applicazioni nucleari ma questo scenario non è dissimile dal resto dell'Europa;
- **la progettazione delle opere civili, elementi strutturali, infrastrutturali** necessari alla costruzione dell'impianto, anche nel rispetto dei regolamenti antisismici, potranno essere senz'altro oggetto del lavoro delle società di ingegneria già organizzate per la realizzazione di grandi opere infrastrutturali ed impiantistiche e quindi in grado di rispondere a queste necessità, pur con le necessarie integrazioni nella formazione legate alle specificità della installazione nucleare. La progettazione di opere peculiari, quali il deposito per i rifiuti radioattivi o di un eventuale impianto di riprocessamento del combustibile necessita di attività di ingegneria specialistiche. Sul territorio nazionale non mancano realtà, anche orientate ai mercati internazionali, abilitate a questo ruolo;
- **gli impianti termo-meccanici, elettrici, di automazione e controllo** non strettamente inclusi nell'isola nucleare hanno caratteristiche analoghe ad altre installazioni industriali ed impianti di generazione di energia e, pertanto, questi impianti potranno essere oggetto di intervento delle società di ingegneria specializzate in questo ambito e presenti sul territorio nazionale.
- **la progettazione degli edifici atti ad ospitare impianti e servizi;** la loro conformazione avrà come primo obiettivo quello di rispondere alle esigenze impiantistiche, di processo e logistiche dell'installazione; fatto salvo questo fondamentale aspetto, dovranno essere progettate e realizzate rispondendo a canoni estetici e di inserimento ambientale minimizzando il più possibile l'impatto ambientale e visivo; anche in questo settore l'Italia è dotata delle necessarie competenze.

## 2. COMPONENTI E MATERIALI

Si renderanno necessari:

- acciaierie in grado di produrre i laminati e forgiati necessari per la realizzazione dei componenti dei reattori secondo gli standard nucleari richiesti dalla normativa vigente;
- filiera di costruzione meccanica di alta qualità tra cui produzione di acciai, processi speciali (saldatura, trattamenti termici, rivestimenti e relativi controlli), lavorazioni meccaniche di precisione di componenti meccanici in acciaio del circuito primario tra cui il *vessel* del reattore e i suoi sistemi interni, sistemi di movimentazione delle barre di controllo, generatori di vapore, pompe del circuito primario, tubazioni;
- sistemi di raffreddamento tra cui torri di raffreddamento, pompe e valvole;
- sistemi ausiliari, tra cui HVAC, antincendio, diesel ausiliari;
- attrezzature per la movimentazione del combustibile nucleare: macchine di carico e scarico, sistemi per gestione combustibile esausto;
- sistemi di trattamento acque;
- know-how ed attrezzature di produzione dell'energia elettrica che includono: progettazione, realizzazione ed installazione delle turbine per la produzione di energia elettrica, realizzazione della linea di collegamento alla rete comprensivo delle sottostazioni elettriche, trasformatori, interruttori, quadri elettrici, cavi e generatori incluso condensatori ed ausiliari;
- fornitura ed installazione della strumentazione di monitoraggio e controllo del reattore, tra cui: Digital Control Systems (DCS), sistemi di sicurezza, sistemi di supervisione e monitoraggio;
- costruzione di impianti complessi nel settore dei materiali avanzati, come *additive manufacturing*;
- servizi di monitoraggio e controllo, con la costruzione/taratura di strumentazione di precisione;
- esecuzione di rivestimenti anticorrosivi, antiusura e di protezione passiva dal fuoco;
- costruzioni civili e industriali, sistemi elettronici di automazione e controllo, digitale e *cyber OT*.

## 3. PROJECT MANAGEMENT E QUALITY CONTROL

Durante la costruzione di una centrale nucleare saranno necessari servizi di **supervisione e direzione lavori** che le società di ingegneria sono abituate ad effettuare nella realizzazione di opere, impianti di generazione di energia ed industriali di taglia e complessità rilevanti e paragonabili a quelle in gioco per il nuovo nucleare. Di concerto con il licenziatario della tecnologia nucleare ed ottenute le necessarie certificazioni potranno anche svolgere attività di *project management* e controllo qualità.

## 4. SICUREZZA E AMBIENTE

L'**Autorità di sicurezza nucleare** esula dal presente capitolo, relativo alla catena del valore. Va solo evidenziato che l'Autorità di sicurezza dovrà dotarsi di personale altamente qualificato in grado di effettuare, nei tempi previsti, le necessarie verifiche tecniche indipendenti e le attività amministrative di *licensing* nonché di approntamento di procedure, sistemi di controllo, processi autorizzativi standardizzati che andranno condivisi con l'industria nazionale al fine di accelerare il loro inserimento e la loro implementazione nel processo produttivo.

## 5. CICLO DEL COMBUSTIBILE

Particolare attenzione è dedicata alla gestione del ciclo del combustibile, in quanto la ripresa del nucleare in Italia richiede una **gestione attenta dell'intera filiera del combustibile** dalla produzione, incluso l'eventuale riprocessamento, fino al trasporto e alla gestione dei rifiuti radioattivi. Un aspetto cruciale, quest'ultimo, per garantire la sicurezza e la sostenibilità del settore.

Nello specifico, come illustrato nel capitolo 3, il ciclo del combustibile è costituito da **attività di front end**, relativamente ai processi di preparazione del combustibile nucleare **e di back end**.

La fabbricazione del combustibile nucleare, a partire dall'estratto minerario raffinato, necessita di infrastrutture specializzate per l'arricchimento e la trasformazione dei semilavorati, cioè di manifattura certificata per la costruzione degli elementi di combustibile che, attualmente, non è disponibile nel territorio nazionale. La filiera dedicata all'estrazione, raffinazione, arricchimento e manifattura del combustibile oggi è particolarmente concentrata all'estero (come riportato nella sezione 4.1.2).

Nel back end del ciclo del combustibile, invece, deve essere gestita la fase post irraggiamento del combustibile nucleare. Dopo l'utilizzo, il combustibile irraggiato viene mantenuto in siti di raffreddamento tipicamente adiacenti al reattore ove è stato usato. In seguito alla rimozione dall'impianto e al trasporto, il combustibile irraggiato può essere riprocessato affinché una cospicua parte sia riutilizzata come combustibile, oppure stoccato in sicurezza in depositi a lungo termine. La chiusura del ciclo del combustibile mediante riprocessamento, benché consenta una sensibile riduzione dei rifiuti da smaltire quando integrata con tecnologie AMR idonee, necessita di complesse infrastrutture dedicate, strettamente controllate in virtù degli accordi sulla non-proliferazione.

La varietà dei processi coinvolti implica un elevato numero di competenze e il coinvolgimento di molti attori. Ad esempio, le fasi di trasporto del combustibile irraggiato richiedono l'approvvigionamento di imballaggi idonei e l'utilizzo di vettori di trasporto abilitati. In Italia, esistono realtà che già operano o hanno operato in questi settori per fornitori esteri. Vi sono, inoltre, realtà come ad esempio Sogin, che hanno una consolidata esperienza nel *back end* del ciclo del combustibile, gestendo i rapporti contrattuali con i fornitori di tutti i servizi relativi alle fasi suddette (contratti di riprocessamento con fornitori esteri abilitati, contratti di trasporto con società idonee al trasporto di materiale radioattivo, contratti di fornitura per imballaggi idonei, contratti di stoccaggio in apposite strutture, ecc.). La gestione di questi aspetti implica inoltre un'efficace interfaccia con gli *stakeholder* coinvolti e gli enti referenti per la sicurezza.

## 6. GESTIONE DEI RIFIUTI RADIOATTIVI

Relativamente alla gestione di rifiuti radioattivi, il sistema italiano si avvale di una lunga esperienza nella gestione degli stessi, con **solide competenze per una gestione sicura ed ottimizzata** in conformità con la normativa nazionale e le linee guida nazionali ed internazionali.

In particolare, il panorama nazionale si affida ad una solida **collaborazione tra il sistema pubblico e aziende private**. Tali aziende, facenti parte del servizio integrato, svolgono il ruolo di collettori dei rifiuti radioattivi sul territorio nazionale, svolgendo attività di raccolta ed eventuale deposito provvisorio. Questa funzione implica la necessità, da parte di tali aziende, di garantire una gestione sicura e ottimizzata dei rifiuti radioattivi fino al conferimento al gestore del servizio integrato (ENEA), che le custodisce in sicurezza fino al trasferimento al deposito nazionale gestito dall'operatore del servizio integrato (Sogin). Queste aziende hanno instaurato *partnership* internazionali, che permettono di avvalersi

anche della vasta esperienza a livello globale nei processi di caratterizzazione, trattamento e condizionamento, in conformità con gli standard nazionali ed internazionali.

In conclusione, lo scenario di riferimento per un nuovo programma nucleare in Italia comprende una serie di valutazioni sulla preventiva stima della produzione di rifiuti radioattivi ad esso associata (in termini di volumi, carico termico e radiotossicità), sia derivante dalle fasi di esercizio sia dal decommissioning, per garantire che sia disponibile un'adeguata capacità per la gestione in sicurezza. La gestione del ciclo del combustibile rientra infatti nel programma per lo sviluppo del nucleare sostenibile. Al contempo, è bene sottolineare che il sistema nazionale comunque gode già di competenze e delle tecnologie per la gestione sicura dei rifiuti radioattivi e del combustibile nucleare irraggiato.

## 7. SMANTELLAMENTO DI UNA INSTALLAZIONE NUCLEARE

Una compiuta analisi dei prodotti, dei servizi, delle strutture, dei sistemi e dei componenti che dovranno essere previsti per dare corso alla disattivazione e smantellamento di una installazione nucleare (**decommissioning**), tra cui anche la parte relativa all'isola nucleare, nonché per eseguire la gestione del combustibile esaurito, la gestione dei rifiuti radioattivi pregressi e di quelli generati dalla disattivazione e dallo smantellamento. Questa attività deve necessariamente essere effettuata preventivamente all'atto di sviluppo della progettazione, così che si possano concretamente soddisfare i principi e i criteri operativi che le vigenti norme a carattere ambientale e nucleare stabiliscono ai fini dell'attuazione delle condizioni dello sviluppo sostenibile e della sicurezza e della salute delle popolazioni e dei lavoratori nonché, conseguentemente, valutare anche i costi e le tempistiche che ne conseguono.

L'analisi di cui sopra potrà, quindi, essere utilmente effettuata desumendo le relative informazioni dai procedimenti tecnici ed amministrativi che dovranno essere espletati nel quadro di riferimento che di seguito viene descritto. In particolare, è da porre in evidenza che allo stato attuale gli elementi principali (di ingresso e di uscita) che sostanziano un processo di decommissioning (materie prime, servizi, costi, prodotti finali e relative destinazioni finali) sono il frutto di decreti di disattivazione (ai sensi del D.Lgs. 101/2020) che autorizzano l'elaborazione di progetti di disattivazione delle installazioni (citati nel seguito) e dei relativi progetti particolareggiati (PP) e piani operativi (PO). Questi ultimi rappresentano i progetti finalizzati all'esecuzione delle operazioni di disattivazione rappresentativi delle parti di impianto da disattivare, delle relazioni di radioprotezione da applicare, dei requisiti per la sicurezza dei lavoratori, dell'ambiente e della popolazione da prevedere, delle risorse da impiegare, dei rifiuti convenzionali e radioattivi da produrre, delle modalità del loro trattamento.

Di notevole importanza è la gestione dei rifiuti radioattivi che si generano durante l'esercizio e nelle fasi di disattivazione e di smantellamento delle installazioni nucleari. Nelle fasi di *decommissioning*, la produzione di rifiuti radioattivi deve essere tenuta al minimo ragionevolmente praticabile, tanto in termini di attività quanto di volume. La relativa gestione risulta strettamente connessa **alla tipologia del rifiuto da gestire**, considerato che i rifiuti radioattivi presentano caratteristiche molto variabili anche in relazione alla loro origine.

Al netto dell'illustrazione dei servizi sopra riportati, tutto quanto afferente all'identificazione, gestione, conservazione e smaltimento in sicurezza dei rifiuti radioattivi, è presidiato – a livello nazionale – da Sogin S.p.a., la Società di Stato, creata a tal scopo nel 1999. Sogin già nel 2019 ha presentato alla IAEA un approccio integrato, di economia circolare, comprensiva della digitalizzazione di tutti i processi in tutte le fasi.

## 8. MODULARITÀ

Per quanto sopra esposto è fondamentale valutare la capacità delle industrie italiane di integrare e sviluppare i requisiti progettuali, produttivi e logistici che stanno alla base della competitività degli SMR/AMR per i quali il fattore tempo è altrettanto importante quanto i costi e la qualità. La competitività dei reattori sviluppati deve essere basata su alcuni requisiti che stanno alla base della progettazione degli SMR/AMR:

- **standardizzazione del prodotto finale:** a partire dal disegno concettuale dei sistemi fino ai disegni costruttivi di ogni singolo componente ed alle modalità di controllo qualità, in modo da beneficiare di riduzioni di costi e tempi conseguenti all'effetto di serialità;
- **modularizzazione di sottoassiemi e componenti** in modo che siano non solo producibili e assemblabili ma anche testabili in fabbrica per ridurre i tempi di assemblaggio e *commissioning* in sito. La possibilità di realizzare in fabbrica, secondo cicli ottimizzati e gestione del magazzino, specie per i *long-lead items*, può significativamente ridurre l'impatto sul cammino critico di realizzazione dell'impianto;
- **prefabbricazione** in acciaio/cemento delle opere civili con l'introduzione, anche in questo campo, di possibili soluzioni modulari. La capacità di prefabbricazione può essere un elemento qualificante delle imprese che dovranno competere nella realizzazione delle strutture civili. Tali soluzioni sono già applicate in molti settori civili ed industriali ma i requisiti di certificazione richiesti per un impianto nucleare costituiscono una sfida importante per tutta la filiera;
- **logistica dei trasporti:** è un fattore che deve essere considerato fin dalle prime fasi di progettazione di ogni componente e sistema. Eventuali vincoli di trasportabilità costituiscono una penalizzazione non compatibile con i requisiti di competitività degli SMR/AMR e della loro possibile localizzazione sul territorio.

Poiché gran parte dei risparmi in termini di costi e di tempi dovuti all'effetto conseguente alla produzione in serie nelle fasi di costruzione e montaggio sono frutto della *supply chain*, i fornitori devono essere disponibili a fornire un contributo tecnico già nella fase di progettazione. Si deve, quindi, instaurare un rapporto di cooperazione tra *vendor* e *supply chain* che porti il più velocemente possibile all'**ottimizzazione dei costi e dei tempi di fornitura**.

## 9. DISPONIBILITÀ DI RISORSE

Ci sono, infine, altri fattori che differenziano le forniture nucleari rispetto a quelle convenzionali e che devono essere considerati nel valutare le possibilità di sviluppo di una filiera nucleare italiana: le **disponibilità di materiali e di risorse tecniche**.

L'industria nucleare richiede spesso materiali con specifiche più stringenti rispetto a quelle dei materiali approvvigionati secondo le norme internazionali utilizzate negli impianti convenzionali. Tali richieste derivano dal fatto che i componenti si trovano ad operare sottoposti ad irraggiamento neutronico e in ambienti corrosivi che richiedono caratteristiche specifiche, come ad esempio la limitazione del tenore di cobalto o l'impiego di acciai austenitici.

La capacità di saldatura manuale e automatica e della relativa capacità di controllo non distruttivo con le tecniche più avanzate (ad esempio, *Phased Array Ultrasonic Test*) è un fattore essenziale per lo sviluppo dell'industria nucleare. Essa ha richieste specifiche rispetto alla ripetibilità dei processi e alla capacità di controllo per aumentare la qualità dei giunti e ridurre le non conformità ed i

tempi di consegna. Su questo tema specifico non è da trascurare la necessità di formare operatori con professionalità adeguate ad operare su componenti nucleari.

Infine, un altro aspetto caratterizzante dell'industria nucleare è relativo all'esercizio e alla **manutenzione dell'impianto** con la necessità di ispezioni in servizio periodiche (*in-service inspection*) dei componenti nucleari. Anche in questo caso è necessario coinvolgere la *supply chain* nella comprensione dei principali meccanismi di degradazione dei materiali utilizzati per la realizzazione dei componenti nucleari e nell'utilizzo e sviluppo delle più moderne tecniche di controlli non distruttivi in vista delle sfide legate ai requisiti dimensionali, di accessibilità e di compattezza peculiari degli SMR/AMR.

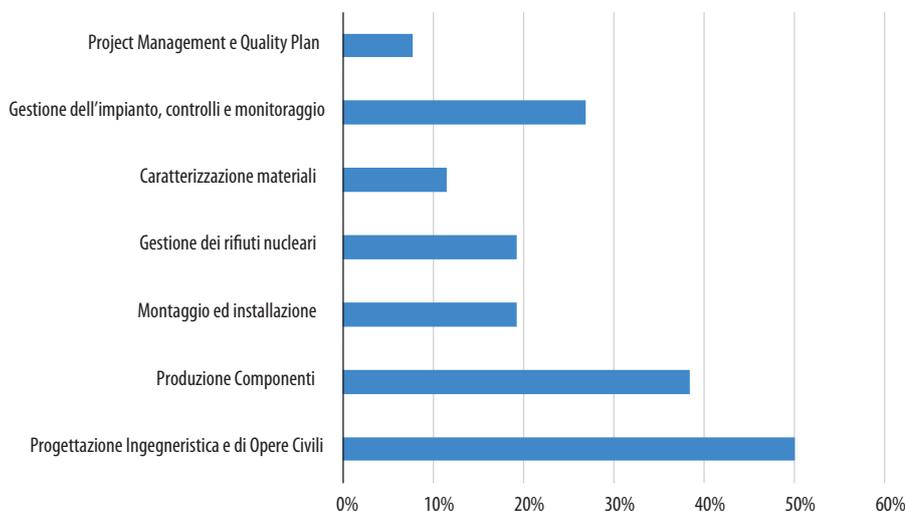
## 10. SVILUPPO DI TECNICHE DI PRODUZIONE INNOVATIVE

Lo sviluppo e qualifica di nuove tecniche di produzione *advanced manufacturing*, in collaborazione tra enti di ricerca, università e industrie giocherà un ruolo chiave per il successo degli SMR e AMR. Tecnologie quali *additive manufacturing* (stampa 3D), metallurgia delle polveri – *hot isostatic pressing* (HM-HIP), sviluppo di rivestimenti protettivi avanzati e di tecniche di saldatura quali *electron beam welding*, presentano vantaggi significativi rispetto ai metodi di produzione convenzionali consentendo un incremento delle prestazioni di SMR ed AMR. Le tecniche di *advanced manufacturing* validate per la *supply chain* nucleare possono essere implementate in diversi altri settori, ad esempio, l'industria aerospaziale.

### QUESTIONARIO CONFINDUSTRIA

Al fine di raccogliere informazioni sull'attuale filiera del nucleare in Italia e informazioni sulla potenziale disponibilità delle aziende ad un utilizzo degli SMR nei distretti industriali, **a novembre 2024 Confindustria ha lanciato un questionario** rivolta non solo all'intero Sistema Confindindustriale, ma anche ad Associazioni e aziende al di fuori del Sistema.

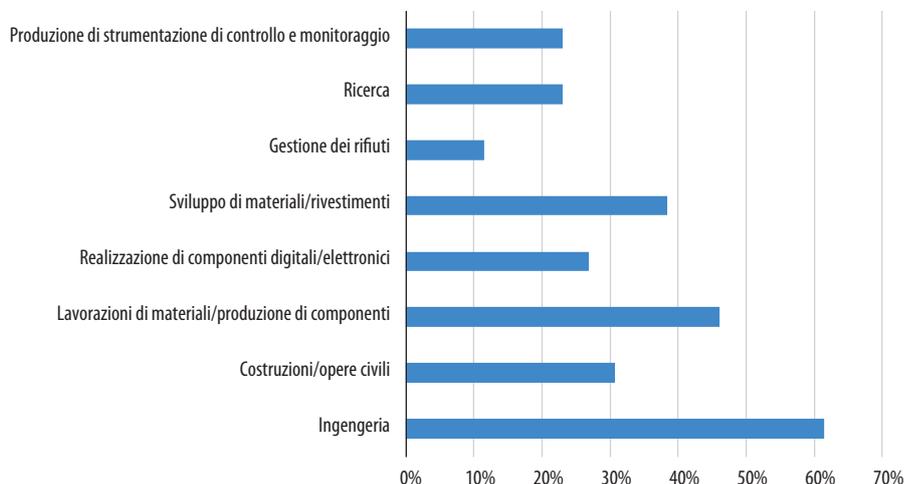
Dalle risposte del questionario è emerso che, **allo stato attuale, l'industria nazionale potrebbe partecipare alla supply chain del nucleare prevalentemente per la parte di progettazione del reattore comprensivo delle opere civili e per la produzione di componenti meccanici**, comprensivi delle turbine e dei corpi pompa per il circuito primario e secondario, come mostrato in Figura 5.1.



**Figura 5.1**  
**Prodotti/servizi attualmente forniti nella filiera industriale italiana con possibile applicazione nella filiera nucleare**  
 (analisi dei quesiti 1 "Tipologia di fornitura esistente" e 2 "Principali prodotti/servizi nella filiera industriale italiana" del questionario di indagine)

**Figura 5.2**  
**Opportunità che potrebbero attivarsi per la supply chain italiana dall'avvio di un programma nucleare sostenibile e di nuova generazione in Italia**  
 (analisi del quesito 6 del questionario di indagine)

Sempre sulla base degli esiti della compilazione del questionario, **le principali nuove filiere che si potrebbero attivare**, oltre al settore della progettazione ingegneristica e la produzione di componenti meccanici, **sono quelle relative ai settori dello sviluppo di nuovi materiali e rivestimenti** (*advanced manufacturing*), dello sviluppo di strumentazione di controllo e monitoraggio e della produzione di componenti digitali ed elettronici, come mostrato in Figura 5.2.



### 5.1.2 Attuale partecipazione alla catena del valore nucleare sostenibile

I potenziali fornitori che già fanno o vorranno far parte della filiera italiana per la fornitura dei prodotti e dei servizi richiesti dalla realizzazione di un impianto nucleare si dovranno misurare non solo con la capacità produttiva (e superamento di eventuali *bottleneck*), ma anche con le capacità di operare in un sistema di garanzia e controllo della qualità secondo gli standard internazionali nucleari che possono essere anche significativamente diversi da Paese a Paese, nonostante siano in corso progetti di armonizzazione a livello internazionale – quali la Nuclear Harmonization and Standardization Initiative (NHSI) - ed europeo. La filiera italiana dovrà, infatti, trarre la possibilità di fornire prodotti e servizi non solo per gli impianti in Italia ma su tutto il territorio europeo.

Molteplici sono le aziende del territorio nazionale capaci di coprire svariati settori identificati nella filiera industriale nucleare sostenibile o in grado di estendere il proprio settore produttivo al settore nucleare andando a incrementare il valore della catena nucleare. Questo dato emerge anche dall'analisi del questionario, dove **il 38% delle aziende ha dichiarato di operare già con certificazione in ambito nucleare**.

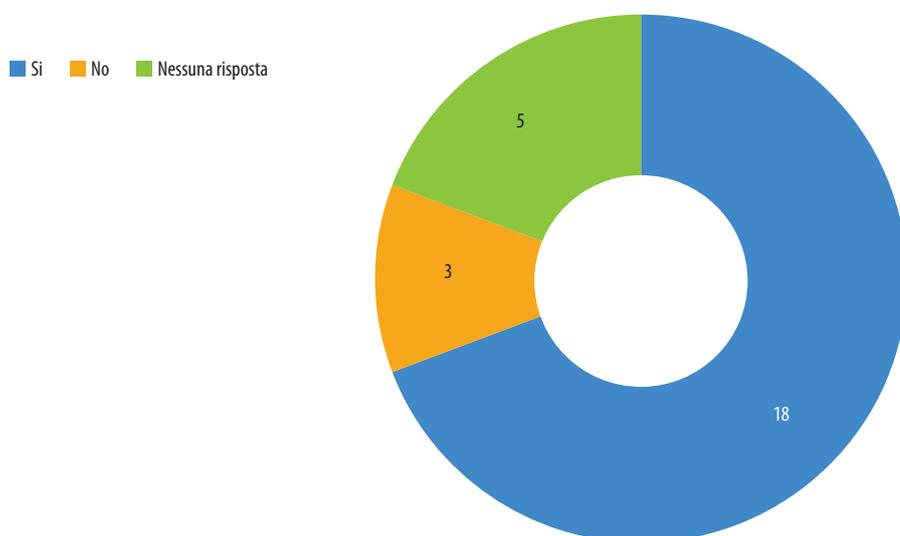
### 5.1.3 Potenzialità di estensione della catena del valore nucleare sostenibile

Come già anticipato in apertura della sezione 5.1.1, lo sviluppo della filiera produttiva nucleare richiede una varietà di competenze specialistiche. In Italia sono presenti tutte le potenzialità per l'estensione della catena del valore nucleare, in quanto le competenze necessarie alla progettazione e allo sviluppo delle componenti (convenzionali e non) degli impianti nucleari potrebbero essere acquisite con efficacia dalle industrie che già operano nella produzione di grandi componenti per commesse estere.

### 5.1.3.1 Interesse ad accedere al mercato nucleare sostenibile

Per rispondere alle esigenze del mercato degli SMR e degli AMR, sarà essenziale sviluppare una cultura ingegneristica in grado di garantire e gestire l'intero processo di sviluppo, dall'analisi delle politiche ambientali alla fattibilità tecnica e all'implementazione operativa. In particolare, sarà necessario integrare le attività verticali della filiera attraverso un approccio di progettazione sistemica e multidisciplinare.

L'ampia partecipazione dell'Italia alla European Industrial Alliance on SMR (seconda per numero solo alla Francia) evidenzia il forte interesse nazionale e una potenziale capacità di contributo al panorama nucleare europeo, come evidenziato anche dall'esito del **questionario**, Figura 5.3, dove **il 69% dei partecipanti ha indicato la disponibilità ad adattare la propria azienda alla filiera nucleare degli SMR/AMR**. Tuttavia, sarà cruciale investire in infrastrutture e risorse per consolidare questa posizione e garantire una partecipazione competitiva nel lungo periodo, potenziando le *partnership* pubblico private come modalità di intervento per lo sviluppo di progetti ad elevata complessità.



**Figura 5.3**  
Disponibilità ad adattare la propria azienda a supporto della realizzazione di SMR o AMR  
(analisi quesito 9 del questionario di indagine)

## 5.2 Fattori e meccanismi abilitanti

La visibilità e l'affidabilità delle previsioni di sviluppo del settore sono elementi chiave per consentire ai produttori di costruire in anticipo organizzazioni, competenze e trasferimenti di *know-how*. Un dialogo costruttivo sotto forma di *partnership* tra industrie e clienti finali è essenziale per costruire una filiera nazionale, purché questa sia suffragata da impegni a lungo termine in modo da rendere redditizi gli investimenti necessari.

### 5.2.1 Capacità di investimento dell'industria nazionale

**La filiera industriale italiana che comprende tutte le aziende attive nel settore nucleare ha generato nel 2022 circa € 4,1 miliardi di intero valore economico ("valore esteso"), con € 1,3 miliardi di valore aggiunto prodotto e circa 13.500 dipendenti.**

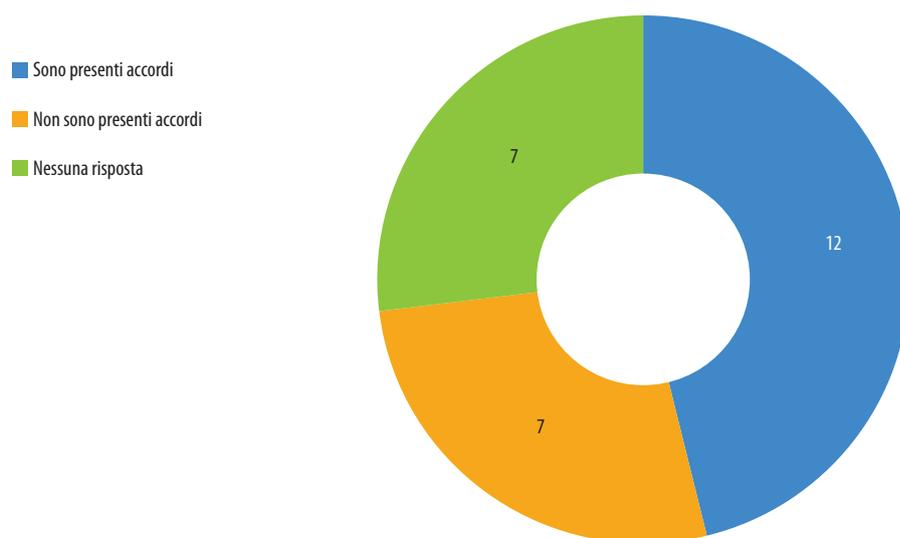
La performance economica degli ultimi 5 anni dimostra un forte dinamismo della filiera italiana, con una crescita del valore aggiunto del 29% a fronte di un aumento del fatturato del 18%. Concentrandosi sul **core value**, ovvero il valore

che queste aziende generano esclusivamente tramite le *business unit* specifiche nel settore nucleare, **il fatturato nel 2022 si attesta a € 457 milioni e € 161 milioni di valore aggiunto, con circa 2.800 occupati**. Circa il 50% del fatturato proviene dalla produzione di grandi componenti e dal segmento della forgiatura, che si dimostrano i settori in cui la filiera italiana è maggiormente specializzata.

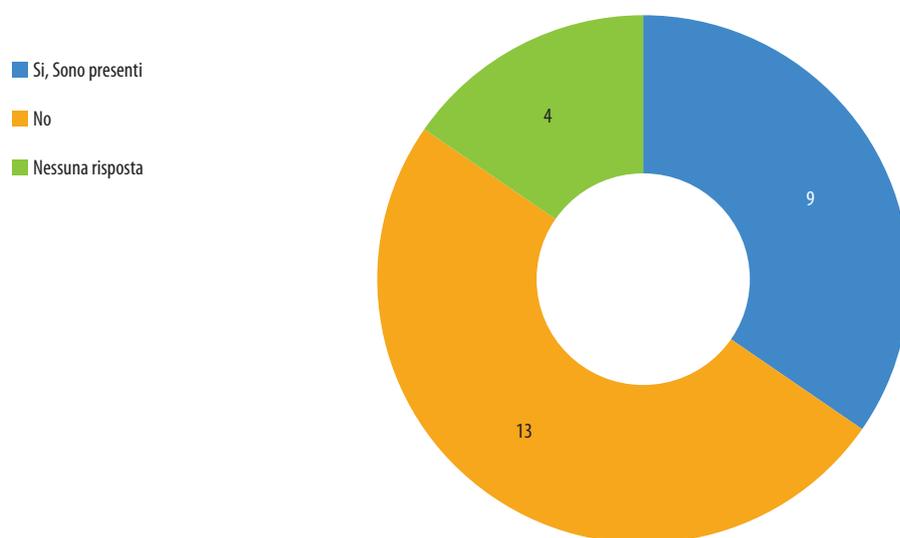
Espandendo la visione a livello globale, il database Nuclear Trade Atlas riporta una visione macroscopica dei flussi commerciali a livello globale di merci e prodotti legati al settore nucleare. In questo database sono raccolti i dati relativi a 165 Paesi nell'arco temporale tra il 2018 e i 2022. In questo quadro, l'Italia si classifica 27° su 165 paesi, con **un valore totale delle esportazioni italiane di € 140 milioni**. Escludendo la produzione del combustibile, l'Italia si posiziona come il 18° paese al mondo per esportazioni a livello globale. Nel biennio 2021/22 le esportazioni della filiera italiana sono più che raddoppiate rispetto agli anni precedenti (+106% rispetto al biennio 2018/19). Analizzando l'intero periodo, il 75% delle esportazioni della filiera italiana è destinato ai paesi appartenenti dell'UE.

Dall'analisi delle risposte pervenute al questionario si evince che del 46% di aziende ha dichiarato accordi o programmi in essere nella filiera nucleare nazionale ed internazionale (Figura 5.4), il 35% indica che sono inoltre presenti dei programmi per incrementare tale capacità produttiva (Figura 5.5), a conferma dell'interesse del tessuto nazionale nel mercato della filiera nucleare.

**Figura 5.4**  
**Accordi o contratti in essere nell'ambito della filiera nucleare nazionale ed internazionale**  
(analisi quesito 5 del questionario di indagine)



**Figura 5.5**  
**Presenza di programmi per incrementare la capacità produttiva nell'ambito della filiera nucleare**  
(analisi quesito 8 del questionario di indagine)



## 5.2.2 Programmi di investimento già in essere o pianificati

Il rilancio di una filiera produttiva caratterizzata da grandi quote di investimento quale il nucleare, richiede necessariamente l'**adozione di misure pubbliche di riduzione dei rischi**, considerando che il nucleare rappresenta un'industria strategica per il sistema Paese. Tali interventi sono essenziali non solo per attenuare l'esposizione del capitale privato, ma anche per attivare un ecosistema industriale con potenziali benefici lungo l'intera catena del valore, dalla ricerca e sviluppo alla produzione, fino alla creazione di occupazione qualificata e al rafforzamento della sicurezza energetica nazionale.

Guardando al panorama degli incentivi esistenti, la filiera nucleare potrebbe essere finanziata attraverso l'impiego di contratti/accordi di sviluppo dedicati, sull'esempio dei cosiddetti "sportelli tematici" che hanno caratterizzato la misura negli ultimi anni, favorendo la **creazione/salvaguardia di 260.450 posti di lavoro e l'attivazione di nuovi investimenti per € 17,7 miliardi**<sup>39</sup>. Trattandosi di un meccanismo di incentivazione esistente, l'implementazione potrebbe beneficiare di tempi di realizzazione più immediati, supportando le aziende nucleari di settore già nel breve periodo (2025-2030).

Guardando ai nuovi schemi di supporto all'investimento attivati nell'ambito del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) gli investimenti di capitale di rischio (*venture capital*) diretti e indiretti possono rappresentare una valida opportunità, ai fini della crescita dell'ecosistema innovativo italiano in ambito nucleare. Si veda ad esempio il *Green Transition Fund* (PNRR-M2C2-Inv. 5.4), creato con l'obiettivo di supporto a *start-up* e *venture capital* attivi nella transizione ecologica, ma nel solo perimetro delle energie rinnovabili, idrogeno e mobilità sostenibile.

Recentemente sono stati attivati, nell'ambito del "Programma Mission Innovation 2.0" di cui al decreto del Ministro dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica 17 novembre 2023, n. 386, l'Accordo di Programma MASE-ENEA del 16/07/2024 per la definizione del Programma Ricerca Nucleare (PRN) ai fini dell'attuazione delle attività e dei progetti di ricerca e sviluppo per dimostrare l'applicabilità delle tecnologie sviluppate al settore nucleare. Tale accordo rappresenta un primo passo nel cammino di riforma normativa e gestionale degli incentivi di supporto alle imprese, attraverso la promozione di un approccio integrato per la realizzazione di interventi strategici, la creazione di reti collaborative, la formazione continua e la semplificazione burocratica. Questo approccio supporta non solo la realizzazione di nuove filiere del valore ma contribuisce anche a creare una forza lavoro qualificata e pronta ad affrontare le sfide della transizione energetica.

Infine, è necessario considerare anche le ricadute sulle aziende del territorio nazionale degli **investimenti nel programma di ricerca e sviluppo e industrializzazione per reattori nucleari a fusione**. L'attuazione di progetti come la realizzazione della facility DTT (Divertor Tokamak Test) nel territorio nazionale ha determinato una ricaduta sulle aziende nazionali in termini di sviluppo di competenze specifiche in vari settori della filiera nucleare. Un approccio sinergico alla *supply chain* nucleare non può che portare benefici all'industria nazionale.

<sup>39</sup> Dati Invitalia al 01/02/2024, <https://www.invitalia.it/cosa-facciamo/sosteniamo-grandi-investimenti/contratto-di-sviluppo/risultati>.

### 5.2.3 Necessità di investimento nell'industria nazionale

L'Italia presenta un significativo potenziale nei vari settori della *supply chain* nucleare, ma per supportare efficacemente un programma nucleare su larga scala è necessaria una trasformazione strutturale. Le principali azioni raccomandate includono:

- **investimenti mirati** in formazione e sviluppo delle competenze, con un focus sulle discipline nucleari e ingegneristiche;
- **incentivazioni all'industria nazionale** per la qualifica dei processi e l'innovazione degli stessi, per consentirle di competere alla pari con le industrie non solo europee che si affacceranno sul mercato degli SMR;
- **incentivi per la collaborazione internazionale**, sfruttando il Net Zero Industry Act e altre iniziative UE;
- **politiche industriali** che incentivino l'integrazione tra i diversi attori della filiera e la creazione di consorzi per affrontare progetti complessi su larga scala.

Questi interventi strategici potrebbero consentire all'Italia di sviluppare una filiera ingegneristica nucleare competitiva e sostenibile, capace di contribuire sia al programma nazionale che a quello internazionale.

### 5.2.4 Strumenti richiesti a supporto dello sviluppo della filiera

#### 5.2.4.1 Strumenti di incentivazione e di sviluppo della filiera

Nell'ambito delle tecnologie nucleari, l'industria e la filiera italiana sono riconosciute a livello globale per competenze e maturità tecnologiche. Per mantenere questa posizione strategica e rafforzare la competitività, è fondamentale adottare una visione di lungo termine che sostenga tutte le tecnologie capaci di affrontare le attuali sfide connesse all'energia, come la decarbonizzazione, la sicurezza di approvvigionamento e la sostenibilità economica. In questo contesto, risulta prioritario mettere in campo strumenti di supporto ed incentivazione per favorire lo sviluppo e il consolidamento di questa filiera.

Attualmente sono disponibili numerosi strumenti finanziari e di incentivazione che, se esplicitamente ed effettivamente abilitati all'impiego anche al settore nucleare, potrebbero attivare nuovi investimenti del comparto stimolando l'innovazione tecnologica ed il rafforzamento delle competenze e capacità produttive industriali.

**Le tecnologie nucleari rientrano nella Tassonomia UE** (il Regolamento Complementary Climate 2022/1214 include il nucleare nella classificazione) **e, di conseguenza, possono beneficiare di forme di finanziamento per gli investimenti a supporto della filiera** (come i *Green Bonds*).

È importante che la filiera produttiva del settore nucleare sia eleggibile per accedere ai fondi rilevanti dell'UE, come il programma InvestEU, il Just Transition Fund ed i futuri strumenti finanziari previsti dal prossimo Quadro Finanziario Pluriennale (Multiannual Financial Framework), oltre a meccanismi di finanziamento specifici come il supporto rafforzato della Banca Europea per gli Investimenti (BEI).

Inoltre, si ritiene particolarmente importante l'abilitazione di uno o più Progetti di Comune Interesse Europeo (IPCEI) in ambito nucleare avanzato. Gli IPCEI supportano il raggiungimento di obiettivi di innovazione radicale e di grande rilevanza tecnologica e produttiva, con uno sforzo condiviso del settore privato

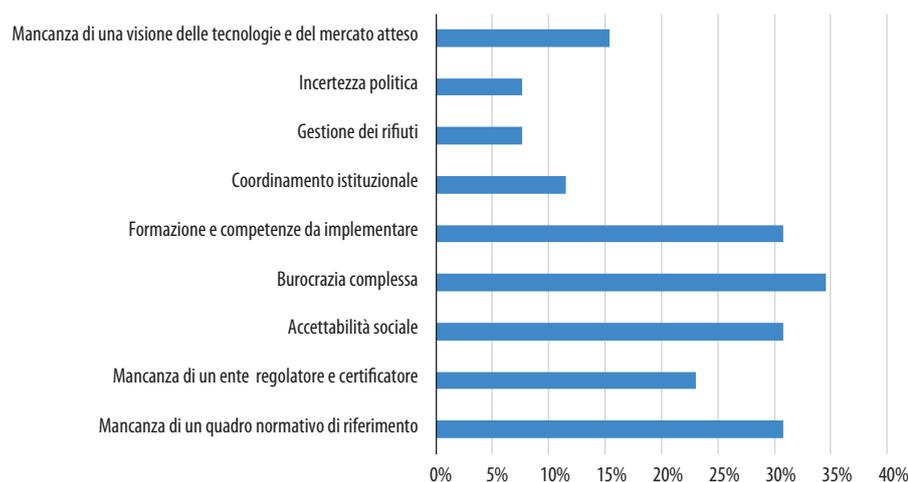
e del settore pubblico nell'ambito delle catene del valore strategiche per l'industria europea. L'inclusione del nucleare in questi progetti è possibile essendo questi coerenti con sfide comuni per la crescita sostenibile e per la competitività dell'economia nazionale ed europea. Per tali progetti è, infatti, richiesta una partecipazione significativa delle autorità pubbliche per promuovere le iniziative, sostenere finanziariamente l'esecuzione ed il raggiungimento degli obiettivi delle stesse, ed aumentare le ricadute industriali e tecnologiche sul sistema produttivo. Tali progetti abiliterebbero, quindi, delle risorse per rafforzare l'impianto tecnologico italiano e consentire la costituzione di nuove filiere produttive strategiche per il comparto italiano in ottica di abilitazione delle tecnologie nucleari innovative sul territorio nazionale, ma anche per rafforzare le esportazioni dell'industria nazionale verso paesi terzi.

Si ritiene, infine, importante che le istituzioni aprano tavoli di interlocuzione con le aziende della filiera al fine di indirizzare al meglio ed in maniera efficiente gli investimenti e i relativi meccanismi di supporto lungo tutta la supply chain.

#### 5.2.4.2 Barriere non economiche all'investimento

Di particolare interesse è l'analisi delle risposte del questionario pervenute al quesito relativo alle **barriere non economiche** all'investimento nella filiera del nucleare, che identifica come **principali ostacoli** (Figura 5.6):

- la burocrazia complessa (auspicando in uno snellimento ed accelerazione delle procedure per l'approvazione dello sviluppo degli impianti e per il potenziamento della capacità produttiva della filiera nucleare),
- l'accettabilità sociale,
- la mancanza di un quadro normativo di riferimento,
- la formazione e competenze da implementare,
- la mancanza di un ente regolatore e certificatore.



**Figura 5.6**  
**Barriere non economiche all'investimento**  
(analisi quesito 11 del questionario di indagine)

Dall'analisi delle risposte pervenute emerge un'opinione comune e condivisa circa la necessità di definire una strategia in ambito nucleare, che permetta alla filiera italiana di pianificare interventi e investimenti, nonché lo sviluppo di competenze per far fronte all'espansione della domanda nel settore sia a livello europeo che italiano.

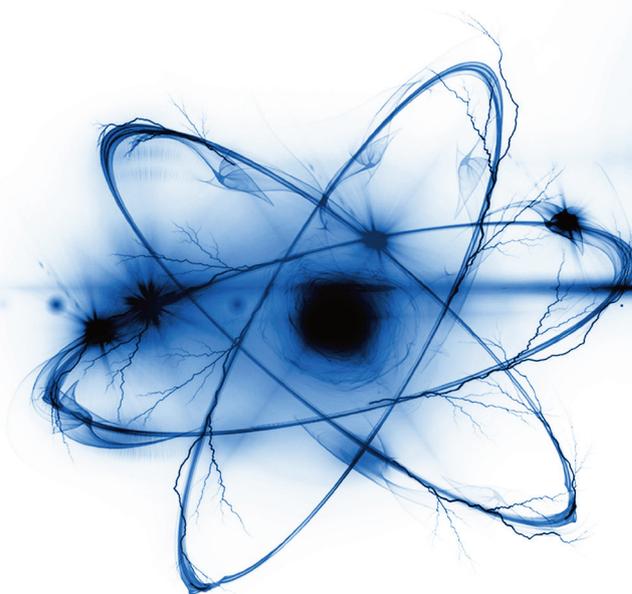
#### 5.2.4.3 Collaborazioni e accordi

L'Italia ha l'opportunità di rafforzare la propria competitività attraverso collaborazioni strategiche con Paesi operanti nel settore nucleare, come Francia, Romania, Inghilterra, USA, Svezia e Polonia. In particolare, la partecipazione attiva all'European Industrial Alliance on SMR potrebbe accelerare il trasferimento tecnologico e l'adozione di standard comuni, facilitando anche i processi di *licensing* a livello europeo.

**L'Italia è inoltre fortemente radicata nel contesto internazionale degli SMR e degli AMR**, e per questo coinvolta in numerose collaborazioni e accordi internazionali in svariati settori. Si citano, ad esempio:

- il protocollo d'intesa (MoU) tra EdF (Électricité de France SA), Edison ed ENEA, con l'obiettivo di implementare tecnologie nucleari innovative di piccola taglia, come gli SMR nelle applicazioni industriali;
- il consorzio FALCON (Ansaldo Nucleare in collaborazione con ENEA, l'Istituto romeno per le ricerche nucleari RATEN e con la partecipazione dell'ente di ricerca belga SCK CEN) per la realizzazione del prototipo di LFR di Generazione IV ALFRED;
- l'accordo di non riservatezza (NDA) tra EdF, NUWARD (Francia), Edison, Ansaldo Nucleare, Nomisma Energia, ENEA e Politecnico di Milano per uno studio sulla possibilità di realizzare in Italia impianti SMR e AMR;
- l'accordo ENEA-*newcleo* per progettazione e servizi nel campo della ricerca e sviluppo per il settore nucleare, in particolare sistemi di quarta generazione raffreddati al piombo.
- il coordinamento dell'intero gruppo di lavoro sugli SMR della IAEA

## 6. FORMAZIONE COMPETENZE, RICERCA E COMUNICAZIONE



La pianificazione a medio-lungo termine e la necessità di coordinare lo sviluppo dell'intera *supply chain* e del capitale umano evidenziano l'importanza di un approccio sistemico che integri politiche industriali e di finanziamento, per cogliere i benefici del nucleare sostenibile per il sistema Paese, la filiera italiana e i cittadini.

La **collaborazione** tra Istituti di formazione, ricerca, istruzione e industria è cruciale per sviluppare nuove tecnologie e formare la prossima generazione di professionisti qualificati per affrontare le sfide future, in Italia, nel campo dell'energia nucleare e delle tecnologie correlate. La disponibilità di programmi di istruzione, formazione, addestramento ed aggiornamento ad ampio spettro garantisce l'acquisizione e il mantenimento delle competenze al passo con le evoluzioni tecnologiche e normative.

Inoltre, è importante continuare a **promuovere la comunicazione efficace** con le parti interessate, inclusi gli enti regolatori, le comunità locali e i media, per promuovere lo sviluppo di conoscenza, consapevolezza ed opinioni informate a vantaggio di un dibattito costruttivo. A tal fine sarà necessario **formare professionisti ad-hoc**.

## 6.1 Spettro delle capacità e competenze richieste dall'industria

Il settore industriale avrà bisogno della **continua iniezione (e turnover) di risorse umane** dotate di competenze specialistiche e costantemente aggiornate in ambito nucleare. Il naturale bacino di utenza per tale finalità non può che essere il settore dell'istruzione, scuole ed università, in grado di creare giovani generazioni che possano rendere sostenibile un programma di lungo termine.

### 6.1.1 Capacità di investimento dell'industria nazionale

La ripartenza del settore nucleare in Italia richiede una **mappatura** dettagliata e continuamente aggiornata **delle professionalità necessarie**.

Un'analisi delle tipologie di competenze necessarie porta ad individuare quattro principali *cluster* per il personale coinvolto:

- **professionisti e tecnici nucleari**, esperti delle discipline tecniche specifiche del settore (es. progettazione e analisi dell'isola nucleare, sicurezza nucleare, operazione e manutenzione d'impianto, ricerca);
- **tecnici non-nucleari**, esperti nelle discipline tecniche convenzionali ma con solide conoscenze del settore nucleare (es. progettazione delle aree convenzionali d'impianto, operazione e manutenzione del sistema di conversione della potenza);
- **professionisti non-nucleari**, esperti nelle discipline non tecniche di supporto a tutte le attività previste in un programma nucleare, ma con una forte conoscenza del contesto ed una chiara consapevolezza della sicurezza nucleare (es. regolamentazione e normativa nucleare, gestione di progetti nucleari, gestione della qualità);
- **operatori nucleari**, con solide conoscenze nucleari, know-how e cultura della sicurezza (es. direttori operativi di impianto, personale di sala controllo, operatori sul campo e addetti alla manutenzione nucleare, sia interni che dalla supply chain).

Questi quattro gruppi di personale coinvolto e i relativi livelli di preparazione trovano applicazione in tutte le fasi della catena del valore, a partire dall'analisi di contesto e di studi di fattibilità, passando per la progettazione, l'approvvigionamento e la costruzione, fino all'esercizio e la dismissione.

Al fine di poter contribuire all'implementazione di un programma nucleare, nel mondo industriale sono necessarie alcune **specifiche competenze tecnico-gestionali**, quali per esempio<sup>40</sup>:

- **esercizio e gestione operativa di impianti nucleari**: conoscenze e competenze specifiche relative alla tipologia di impianto;
- **ingegneria e fisica nucleare**: conoscenze approfondite in fisica del reattore nucleare, progettazione di reattori, termoidraulica, termomeccanica e materiali nucleari;
- **altre discipline ingegneristiche o specialistiche** (quali ingegneria civile, elettrica, meccanica, energetica, informatica, elettronica, chimica e ambientale): conoscenza delle tematiche di base che prevedono un loro utilizzo nel settore nucleare (es.: criteri di sicurezza, certificazioni, ecc.);
- **controllo qualità e verifica di conformità tecnica**: conoscenza delle pratiche e delle procedure richieste in ambito qualità, particolarmente stringenti nel settore nucleare, sia in ambito progetto che gestione della *supply chain*;
- **sicurezza nucleare<sup>41</sup> e radioprotezione**: conoscenze delle normative e delle pratiche di sicurezza nucleare, inclusa la gestione dei rifiuti radioattivi e la protezione dalle radiazioni;
- **supervisione di attività di cantiere**: capacità gestionali e di coordinamento per le attività di costruzione, manutenzione e smantellamento (*decommissioning*) di impianti nucleari – luoghi e momenti nei quali, tra l'altro, è previsto il picco di presenza in sito;
- **previsione/monitoraggio/controllo costi e pianificazione**: capacità di *planning*, *cost estimation* e *cost controlling*, essenziali per la corretta previsione e gestione economico-finanziaria di progetti nucleari;
- **gestione di programmi e progetti**: competenze nella pianificazione, esecuzione e monitoraggio dei progetti, compreso l'approccio BIM (*building information modeling*) e tutte le fasi di collaudo dell'impianto;
- **definizione del modello di business per impianto<sup>42</sup>**: competenze di natura impiantistica, economica, gestionale e commerciale a supporto della configurazione dei distretti industriali (sia lato impianto nucleare, sia lato clienti industriali/comunità locale);
- **definizione e costituzione del soggetto investitore ed operatore<sup>43</sup>**: la strutturazione per progetto richiederà competenze di natura economico-finanziaria, gestionale e legale a supporto delle attività di costituzione, di finanziamento e di gestione nel tempo;

<sup>40</sup> "Nuclear Job Taxonomy-Final Report. A competence-oriented classification of jobs in nuclear power plants", Rapporto Tecnico JRC, <https://www.semanticscholar.org/paper/Nuclear-Job-Taxonomy-Final-Report.-A-classification-Rafael/bf268058784e8d87806ba9311927ce9232664dbd>.

<sup>41</sup> Sicurezza nucleare intesa come Nuclear Safety, Nuclear Security e Safeguards.

<sup>42</sup> Pur operando con impianti SMR/AMR standard, la possibilità di operare in modalità cogenerativa richiede di configurare per singolo distretto industriale il deployment di almeno una parte degli impianti (tutto elettrico, ibrido elettrico e termico, fornitura H2, teleriscaldamento).

<sup>43</sup> Lo sviluppo del nuovo nucleare in Italia, pensato per essere attuato da soggetti privati, ben si presta all'utilizzo di modalità consortili o di partnership che coinvolgano più operatori energetici, clienti energivori ed operatori finanziari.

- **ricerca e sviluppo:** capacità di condurre e gestire attività di ricerca per sviluppare nuove tecnologie nucleari, migliorare l'efficienza dei reattori esistenti e risolvere problemi tecnici complessi;
- **regolamentazione, *licensing* e conformità:** conoscenza delle leggi e delle regolamentazioni nazionali e internazionali relative all'energia nucleare (es.: individuazione del sito, rilascio dei permessi);
- **comunicazione e gestione delle relazioni:** abilità nella comunicazione con le parti interessate, inclusi governi, comunità locali e organizzazioni non governative;
- **formazione e sviluppo delle competenze:** capacità di sviluppare e implementare programmi di formazione per il personale tecnico e gestionale (personale nucleare, personale nuclearizzato e personale consapevole del nucleare, definiti in Figura 6.1);
- **sostenibilità e gestione ambientale:** conoscenze sulle pratiche di sostenibilità e gestione ambientale, inclusa la valutazione dell'impatto ambientale e la gestione delle risorse naturali.

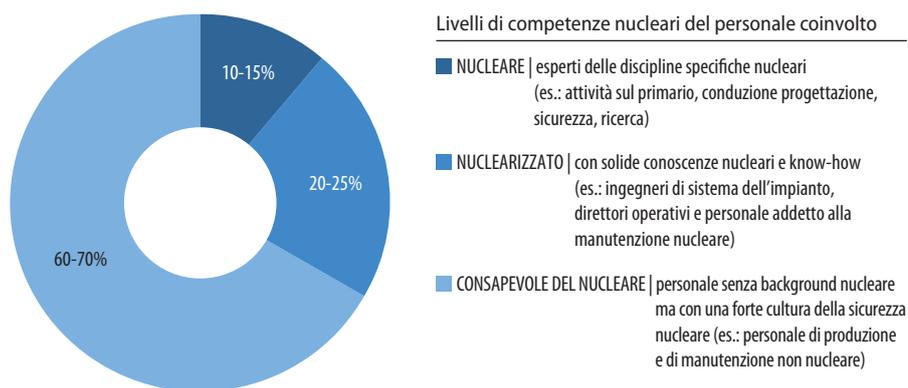
Ulteriori dettagli sono disponibili nel già citato Rapporto Tecnico JRC dal titolo "Nuclear Job Taxonomy-Final Report. A competence-oriented classification of jobs in nuclear power plants", incluso l'approccio *knowledge skills abilities* (KSA) per conoscenze, abilità e attitudini. Restano inclusi nella lista anche tutti i **mestieri tipici della conduzione di una grande impresa** (ad esempio, salute e sicurezza sui luoghi di lavoro, controllo costi, *cybersecurity*).

### 6.1.2 Previsione della richiesta di nuova formazione

La transizione di potenziamento dell'industria nucleare richiede una previsione accurata della domanda di nuova formazione.

Per avere un'idea del volume occupazionale previsto, il già citato studio effettuato in collaborazione tra Studio Ambrosetti<sup>44</sup>, EDISON ed Ansaldo Nucleare, prevede che l'adesione al nuovo nucleare possa generare fino a circa 117.000 nuovi posti di lavoro (comprensivo di diretti e indiretti). Tale dato fa riferimento al caso di sviluppo della tecnologia nucleare sul territorio nazionale indicato nel PNIEC (giugno 2024) ed allo scenario di introduzione di impianti nucleari pari a circa il 22% del mix energetico al 2050. Una prima stima suggerisce, per gli occupati diretti nella filiera nucleare (si ritiene nello studio che saranno circa 39.000), una ripartizione come in Figura 6-1. I restanti 78.000 posti di lavoro deriverebbero da occupazioni indirette e indotte.

<sup>44</sup> Studio disponibile qui.



**Figura 6.1**  
Stima della ripartizione dei livelli di competenze nucleari<sup>45</sup>

L'industria italiana, in sinergia con università, scuole e enti/istituti di ricerca, può avere un ruolo chiave nella **formazione** di personale altamente qualificato sostenendo la creazione di posti di lavoro adeguati.

Le capacità e le competenze necessarie sono già in parte presenti sul territorio nazionale e mantenute attive, grazie alla resilienza di aziende, università e enti/istituti di ricerca. L'Italia vanta già una *supply chain* competitiva a livello internazionale nonché enti/istituti di ricerca e università di eccellenza.

Risulta, tuttavia, necessario **rafforzare alcuni aspetti**, quali ad esempio:

- corsi specializzanti in materia nucleare e corpo docente nelle università italiane;
- percorsi ad-hoc (e.g. Master Universitari di II livello, corsi professionali, anche di *upskilling* e *reskilling*) per abilitare all'ambito nucleare professionisti provenienti da settori diversi, incluso un percorso di addestramento sul campo;
- formazione professionale a livello di scuola secondaria, istituti tecnici e scuole professionali, essendo necessario affiancare alle competenze di massimo livello anche nuove generazioni di tecnici specializzati nella manutenzione di una centrale nucleare e in grado di dare adeguato supporto allo sviluppo della *supply chain*;
- formazione aggiuntiva, abilitante, per figure professionali particolari (ad esempio, operatori specializzati di centrale), beneficiando – ove possibile – di programmi di scambio tramite aziende/istituzioni operanti in Paesi con una consolidata tradizione nucleare;
- infrastrutture e laboratori per la formazione e l'addestramento.

### 6.1.3 Strategie per soddisfare la necessità di competenze

Per soddisfare la necessità di competenze nella *supply chain* italiana e per **rafforzare le competenze esistenti**, si possono adottare diverse strategie e metodologie mirate alla definizione di un piano industriale con una visione a medio e lungo termine che integri e sostenga l'intera filiera industriale italiana, delineando in parallelo **piani di formazione specialistici su tutti i livelli**, sia universitario che professionale, con una visione estesa a tutte le figure professionali

<sup>45</sup> I valori indicati in questa stima sono il risultato di elaborazione di dati provenienti dalle seguenti fonti:  
<https://www.framatome.com/fr/clients/nucleaire/flamanville-3/>;  
<https://www.edfenergy.com/media-centre/news-releases/five-years-22000-workers-britain-are-work-hin-kley-point-c>;  
<https://www.seas.sk/wp-content/uploads/2022/06/npp-operation-report-2020-en.pdf>.

necessarie ad un programma nucleare, previa individuazione delle aree più carenti su cui intervenire per garantire competenze qualitativamente e quantitativamente adeguate.

Sarà, quindi, necessario sviluppare ed investire in percorsi di formazione continua del personale e di mantenimento di adeguati livelli di preparazione del personale esistente tramite programmi di aggiornamento, in modo da sviluppare e garantire una solida base di competenze. **La formazione dovrà coprire tutti gli aspetti del ciclo di vita delle centrali nucleari**, dalla progettazione alla dismissione, includendo la gestione dei rifiuti radioattivi e la sostenibilità ambientale.

La collaborazione tra industria, istituzioni accademiche, istituzioni scolastiche, enti di formazione e ricerca è fondamentale per creare un ecosistema di apprendimento rispondente alle necessità delle imprese del settore. In particolare, mediante *partnership* con il mondo della ricerca e delle università, l'industria promuove tirocini, periodi di esperienza in azienda, collaborazioni per la stesura di tesi specialistiche e di dottorato.

Per sviluppare un adeguato programma formativo, oltre alle forti competenze già presenti su territorio nazionale, è opportuno sfruttare quei canali europei ed internazionali che già offrono percorsi formativi di elevata specializzazione. Sia l'IAEA che l'OCSE-NEA, ad esempio, organizzano regolarmente *workshop* e *training course* volti a rafforzare le competenze necessarie al settore nucleare. Lo sviluppo di un programma nucleare italiano deve avvenire col supporto delle agenzie internazionali preposte.

A titolo di esempio, si citano gli specifici percorsi didattici proposti dal centro di formazione di Sogin, come la Radwaste Management School (RaMS), che propone un'offerta formativa basata sulle esperienze condivise a livello internazionale attraverso i gruppi di lavoro della IAEA. In questo contesto, la RaMS potrebbe essere affiancata da un soggetto giuridico distinto da Sogin, nelle modalità ad esempio di una fondazione, con una missione dedicata alle attività di formazione qualificata e riconosciuta dal mercato. Questa nuova entità potrebbe diventare un interlocutore qualificato per la formazione sia del ciclo di scuola superiore sia per le specializzazioni post-laurea.

Oltre al potenziamento dei programmi di formazione, si ritiene utile e necessario promuovere ricerca e **programmi di assunzione per trattenere le nuove generazioni in Italia**, favorendo l'attrattività del contesto italiano. Si suggerisce di prestare particolare attenzione alle risorse con formazione italiana che negli anni si sono spostate all'estero per seguire opportunità professionali nell'ambito nucleare. Il ritorno al nucleare in Italia potrebbe essere un'**occasione di rimpatrio** per alcuni di questi professionisti e un'opportunità per disporre di risorse altamente qualificate. Si ritiene comunque necessario integrare la strategia di reperimento di risorse attingendo dai Paesi con consolidata esperienza nel settore nucleare. La Francia potrebbe rappresentare il principale Paese europeo di riferimento. Tuttavia, non sarà semplice attrarre in Italia competenze francesi a fronte della potenziale carenza di competenze e della difficoltà nel reperire personale qualificato che anche la Francia potrebbe sperimentare in futuro. In secondo luogo, si potrebbero considerare anche altri paesi con una consolidata tradizione nucleare e relativa prossimità geografica (ad esempio UK, Repubblica Ceca, Slovacchia, Romania, Slovenia e Svizzera). Inoltre, particolarmente interessante potrebbe essere l'attrazione di figure professionali provenienti da Paesi che hanno optato o stanno optando per il *phase-out* del nucleare. Per le figure professionali più tecniche (maestranze tipo saldatori) sarà probabilmente necessario attingere all'intero bacino mondiale per assicurarsi un numero adeguato di operatori qualificati.

### 6.1.3.1 Corsi specializzanti in materia nucleare

Nonostante la già presente e diffusa specializzazione di alcune università italiane o relativi consorzi (con riferimento al CIRTEN, Consorzio Interuniversitario per la Ricerca Tecnologica Nucleare, che unisce il Politecnico di Milano, il Politecnico di Torino, l'Università di Bologna, l'Università di Padova, l'Università di Palermo, l'Università di Pisa e l'Università di Roma "La Sapienza"), attualmente il numero degli immatricolati in ingegneria nucleare in Italia è intorno alle 350 unità all'anno, con una distribuzione tra le università citate molto eterogenea. Per **incrementare l'offerta** nei settori che al momento risultano meno rappresentati, e al fine di garantire la formazione anche sul lungo periodo, si ritiene che occorra in primis rafforzare e potenziare i percorsi di laurea e di dottorato in ambito nucleare nelle sedi attuali, indi valutare, anche con il supporto del comparto industriale, l'eventuale necessità di incrementare l'offerta formativa in altre sedi universitarie, considerandone adeguatamente la sostenibilità nel lungo termine.

Alla formazione universitaria, può essere opportuno associare una fase di specializzazione, da progettare in collaborazione con il comparto industriale in funzione delle proprie esigenze, nonché una fase di addestramento, per quelle figure che ne necessitano, da condurre presso impianti nucleari, aziende ed enti di ricerca pertinenti, che consentano ai nuovi laureati di acquisire conoscenze operative sui temi di interesse, costituendo così una base rilevante di esperienza operativa che ne acceleri la capacità di intervenire proficuamente nel contesto lavorativo. Per progettare e rendere sistematica la possibilità di fruire di simili percorsi di specializzazione e addestramento, si ritiene necessario promuovere o, dove già in essere, estendere gli accordi tra università e aziende o enti di ricerca capaci di fornire tali servizi, includendo esplicitamente disposizioni specifiche in materia, oltre che la disponibilità di strumenti di supporto (quali borse di studio dedicate). Ai percorsi tradizionali di specializzazione e addestramento (quali tutoraggio di tirocinanti e tesisti) o di dottorandi al livello superiore di istruzione, potrebbe essere anche opportuno aggiungerne altri, post-laurea, da configurarsi in modo strutturale come estensione dell'offerta formativa delle università.

A supporto di entrambe le fasi di formazione e addestramento, sarebbe auspicabile prevedere il rafforzamento del corpo docente e lo sviluppo degli addestratori (ad esempio, con punti organico straordinari vincolati su piani universitari straordinari per professori/ricercatori in settori scientifico-disciplinari nucleari, nuovi concorsi in enti di ricerca) per consolidare sia le sedi dove sono storicamente già presenti esperti di formazione sulle tecnologie nucleari (ad esempio CIRTEN) e gruppi di ricerca tecnologica (ad esempio ENEA) sia quelle dove, in maniera trasversale, si portano avanti già ora attività in tali ambiti (come l'Università di Genova, Università di Pavia, Università di Padova, INFN, ecc.).

### 6.1.3.2 Percorsi ad-hoc per abilitare all'ambito nucleare

Si ritiene necessario sostenere ed estendere il programma di attività formative per i *cluster* dei tecnici e professionisti non-nucleari, che consenta ad addetti e professionisti già formati in altri settori di maturare ulteriori competenze, necessarie per poter operare nel settore nucleare (**reskilling**). Occorre promuovere e incentivare tali attività formative, condotte dalle università e da enti di ricerca

su temi specifici, attraverso la **creazione di strumenti dedicati**, quali master professionalizzanti e corsi progettati in collaborazione con *stakeholder* industriali, includendo periodi di *internship* presso aziende o enti di ricerca<sup>46</sup>.

Relativamente ai profili non tecnici, occorre promuovere iniziative per rafforzare le capacità per una *leadership* forte e competente, fondamentale per coordinare gruppi multidisciplinari e gestire progetti complessi<sup>47</sup>.

Inoltre, occorre introdurre iniziative dedicate alle tematiche nucleari nei corsi di specializzazione e nei percorsi formativi del settore economico-finanziario e giuridico:

- **economia dell'energia**, con focus su analisi costi-benefici, gestione finanziaria di progetti nucleari, e sviluppo di competenze in economia sostenibile applicata al settore energetico;
- **diritto dell'energia e del nucleare**, con corsi specifici sulla normativa nazionale e internazionale, regolamentazione della sicurezza, e gestione legale dei progetti nucleari.

Per quanto riguarda le competenze specifiche in ambito normativo e regolatorio e quelle specialistiche in ambito di gestione del ciclo del combustibile e dei rifiuti radioattivi, si ritiene che esse possano essere reperite e maturate anche tramite collaborazioni internazionali con Paesi nuclearizzati, valorizzando le esperienze nazionali ove presenti.

Risulta quindi fondamentale sostenere l'attrazione e la formazione di capitale umano, valorizzando le competenze formative esistenti, incluse quelle dell'innovazione e della ricerca nelle tematiche nucleari e la cooperazione dell'Italia nei progetti di ricerca internazionali. Inoltre, è importante **consolidare le già esistenti collaborazioni e partecipazioni** ai programmi di formazione nucleare forniti da altri Paesi e dagli organismi internazionali, come ad esempio IAEA, OCSE-NEA e, a livello della comunità europea, EURATOM ed ENEN (European Nuclear Education Network).

Ad esempio, Newcleo ha già avviato iniziative di sviluppo delle competenze nel settore nucleare, collaborando con partner strategici come il Cnam (Conservatoire National d'Arts et Métiers), ONET Technologies, NEEEXT Engineering e Thorizon. In particolare, le strategie di formazione e attrazione delle risorse umane necessarie alla realizzazione di progetti SMR e AMR in Europa, sono oggetto, nella European Industrial Alliance on SMR, di uno specifico gruppo di lavoro (TWG-4), coordinato dall'Italia: i lavori e i risultati di tale gruppo potranno essere adeguatamente considerati per la strategia nazionale.

### 6.1.3.3 *Formazione professionale a livello di scuola secondaria e di livello intermedio*

Insieme alla formazione di livello universitario è di fondamentale importanza sostenere lo sviluppo dell'intera filiera delle competenze, a cominciare dalle scuole professionali, per assicurare la disponibilità di figure che possono altrimenti rivelarsi

<sup>46</sup> Si citano alcuni esempi:

- master universitario di II livello "Fondamenti e Applicazioni dell'Energia Nucleare", proposto dall'Università di Bologna, in collaborazione con ENEA;
- master universitario di II livello "Next-Gen Nuclear Power: Fusion and Advanced Reactors", proposto dal Politecnico di Torino, in collaborazione con Eni;
- in Ansaldo Nucleare è in programma l'attivazione nel 2025 di un Master Corporate, in collaborazione con CIRTEN;
- master universitario in Nuclear Safeguards, erogato dal Politecnico di Milano in collaborazione con ENEN;
- nel 2025, inoltre, è pianificato l'avvio della European School on Nuclear Safety and Safeguards Management, in collaborazione tra l'Università Côte d'Azur, la SKEMA Business School e il Politecnico di Milano.

<sup>47</sup> A titolo di esempio, si citano la WNA (World Nuclear Association) e la WNU (World Nuclear University), con le loro iniziative mirate a sviluppare competenze di leadership per i futuri leaders nell'industria nucleare.

critiche da reperire (ad esempio i saldatori qualificati al settore nucleare). In particolare, si sottolinea la necessità di provvedere alla formazione di maestranze e profili professionali operativi, che svolgeranno un ruolo chiave per lo sviluppo del programma e l'adeguata crescita dell'indotto. La preparazione delle varie professionalità dovrà, dunque, accompagnarsi alla definizione di proposte formative e percorsi specifici per le maestranze e profili professionali operativi con particolare riferimento agli istituti tecnici, ai corsi di formazione professionale, a livello di scuola secondaria, istituti tecnici e scuole professionali, con attività di formazione continua e *training on the job*. Da questo punto di vista sarebbe opportuno incentivare e promuovere le campagne di informazione per avvicinare gli studenti delle scuole superiori ai corsi tecnologici (STEM – *science, technology, engineering and mathematics*).

Occorre **incentivare l'incremento e la diversificazione dei percorsi professionalizzanti** per profili intermedi, come ad esempio corsi specializzanti quali ITS Academy, in collaborazione con le imprese e gli ordini professionali di riferimento, come anche il potenziamento delle scuole di alta formazione e certificazione di personale qualificato per la gestione degli impianti nucleari. Nel caso particolare degli operatori di centrali nucleari, serviranno percorsi specializzanti e abilitanti (in seno alla relazione *vendor-operator*), con addestramento, ad esempio, su simulatori specifici per ogni tipologia di impianto.

**Tutti questi programmi di formazione tecnica avanzata dovrebbero essere sviluppati in collaborazione con le imprese del settore**, mirati alla preparazione di tecnici specializzati nella gestione e manutenzione degli impianti nucleari. Ciò include corsi di formazione continua e l'aggiornamento delle competenze per i lavoratori già in servizio.

#### 6.1.3.4 Infrastrutture e laboratori per la formazione e l'addestramento

Le sinergie tra la filiera industriale, le università e gli enti/istituti di ricerca possono essere ulteriormente valorizzate mettendo a disposizione infrastrutture per la formazione, nonché strutture per la qualifica dei componenti presso i centri nazionali di ricerca e sviluppo (ad esempio ENEA e SIET) e presso le università, come elementi essenziali per la promozione dell'innovazione di prodotto e per la formazione di competenze specialistiche. Ciò può essere realizzato attraverso il potenziamento e la creazione ex-novo di laboratori didattici sperimentali, magari progettati e gestiti in collaborazione con le aziende sul territorio, anche incentivando l'utilizzo delle strutture esistenti per la formazione e addestramento, in particolare quelle con carattere di unicità nel contesto nazionale come, ad esempio, i reattori nucleari di ricerca TRIGA e TAPIRO di ENEA, presso il centro ricerche di Casaccia, e il TRIGA dell'Università di Pavia. Uno strumento potenzialmente interessante in tal senso potrebbe essere la creazione di un "Italian Nuclear Training Centre" in stretta collaborazione con le imprese, e possibilmente collegato all'iniziativa "EU Nuclear Academy" nell'ambito del Net-Zero Industry Act.

Un centro di eccellenza per la ricerca applicata e per la formazione in sinergia con la filiera nucleare è rappresentato dal parco tecnologico annesso al deposito nazionale per la gestione dei rifiuti radioattivi, la cui realizzazione è affidata a Sogin. Oltre a un centro di ricerca, il progetto prevede un laboratorio ambientale e una scuola di formazione. L'attività formativa sarà dedicata ad erogare corsi di aggiornamento e formazione su tematiche quali la radioprotezione, la gestione dei rifiuti radioattivi, la sicurezza e la salvaguardia dell'ambiente in accordo con quanto previsto dalla normativa vigente. Specifici corsi di formazione sulle tecniche di *decommissioning* delle centrali nucleari costituiranno un polo di attrazione per occupazione qualificata. Potranno essere sviluppati percorsi formativi in collaborazione con le università del territorio e a livello internazionale.

## 6.2 Ricerca e sviluppo a supporto dell'industria nazionale

**L'Italia dispone di un sistema di ricerca all'avanguardia**, con diversi centri di eccellenza presenti su tutto il territorio, tra cui ENEA, numerose università (ad esempio quelle consorziate nel CIRTEN) e realtà imprenditoriali (ad esempio Ansaldo Nucleare, *newcleo*, SIET, Enel, ...) che collaborano nello studio e sviluppo di tecnologie nucleari, con particolare riferimento ai sistemi SMR e AMR, impegnandosi nel supporto di progetti internazionali, per contribuire allo sviluppo del nuovo nucleare in Europa e favorirne la diffusione, in prospettiva anche in Italia.

A dimostrazione dello stretto legame tra enti di diversa natura, si elencano qui alcuni esempi di queste collaborazioni (anche sotto forma di progetti collaborativi di ricerca) che vedono coinvolti enti pubblici e privati a livello nazionale e internazionale:

- protocollo d'intesa (MoU) tra ENEL e Ansaldo Nucleare per esaminare e valutare nuove tecnologie e modelli di business per la produzione di energia dall'atomo e la loro applicabilità industriale;
- accordo ENEA-IRSN (Institut de Radioprotection et de Sùreté Nucléaire) per la cooperazione su sicurezza nucleare attiva e passiva, modellistica, codici di calcolo e radioprotezione;
- accordo di cooperazione tra Edison, Framatome e Politecnico di Milano per la ricerca scientifica e tecnologica e per la formazione nel campo dell'energia nucleare;
- coordinamento degli studi sulla fisica del reattore e sulla termoidraulica di nocciolo, aventi a riferimento il prototipo di LFR ALFRED, condotti nei gruppi di lavoro EGPRS ed EGTHM dell'OCSE-NEA, rispettivamente;
- nell'ambito dei programmi quadro EURATOM e di gruppi di lavoro internazionali, svariati progetti per
  - lo studio di sistemi prototipali, in particolare di sicurezza passiva, per SMR, e la dimostrazione sperimentale del loro funzionamento presso i laboratori SIET di Piacenza;
  - lo studio della termo-fluidodinamica del refrigerante dei reattori AMR e della sua compatibilità con i materiali strutturali come, ad esempio, le azioni supportate nell'ambito del Joint Programme on Nuclear Materials (EERA-JPNM) o il partenariato europeo sui materiali nucleari CONNECT-NM;
  - lo sviluppo di modelli per la valutazione di sicurezza e operativa di SMR/AMR in configurazione cogenerativa e lo studio di sistemi energetici ibridi (nucleare & rinnovabili);
  - lo sviluppo e l'applicazione di metodologie per la preparazione e gestione di emergenze radiologiche e nucleari e l'analisi degli incidenti gravi;
  - lo sviluppo e l'applicazione di approcci e metodi per le valutazioni di sicurezza di impianti attuali e reattori innovativi;
- progetti sulla gestione dei rifiuti radioattivi nell'ambito del partenariato EURATOM EURAD-2;
- attività di supporto alle Istituzioni per la sicurezza nucleare (safety, security, safeguards), la non-proliferazione nucleare e, più in generale, la riduzione dei rischi nucleari, radiologici, chimici e biologici a supporto dell'Autorità Nazionale (MAECI) e la gestione del Centro Dati Nazionale.

Un ulteriore spazio di confronto e coordinamento è costituito dalle Associazioni di categoria (come ad esempio Confindustria) e altre associazioni tecnico-scientifiche, come ad esempio l'Associazione Italiana Nucleare (AIN), che rappresenta tutti i centri di competenza esistenti in Italia nel campo dell'energia e delle tecnologie nucleari e si propone di costituire un punto d'incontro, di discussione e di unione tra quanti – enti, istituzioni, imprese e persone fisiche – sono interessati allo sviluppo delle applicazioni pacifiche dell'energia e della tecnologia nucleare.

L'industria stabilisce relazioni strutturate con il mondo dell'università e della ricerca, nel suo ruolo di collettore e distributore delle necessità di mercato, presenti e potenzialmente future, traducendole in sempre maggiori opportunità di studio e ricerca sia di base che avanzata/specialistica in tutti i settori trasversali.

Attualmente, l'Italia investe già significativamente in ricerca e sviluppo per la transizione energetica sostenibile, ma si ritiene necessario **aumentare gli investimenti, in particolare sulla tecnologia nucleare**, per rimanere competitivi a livello internazionale. Occorre promuovere le collaborazioni pubblico-privato ed i partenariati tra università, enti/istituti di ricerca ed industrie nucleari per facilitare il trasferimento tecnologico e l'innovazione. Inoltre, è auspicabile un coordinamento ai massimi livelli di *governance*, che permetta una regia sinergica tra le varie entità coinvolte al fine di massimizzare l'efficacia nel raggiungimento dell'obiettivo, anche traendo vantaggio dall'esperienza internazionale, partecipando alle discussioni sul nucleare europeo e coltivando rapporti con le agenzie nucleari europee e internazionali.

### 6.2.1 Ambito accademico e del settore della ricerca

Come evidenziato nel già citato Rapporto Strategico<sup>48</sup> realizzato da TEHA Group in collaborazione con Edison e Ansaldo Nucleare, oggi l'Italia rappresenta l'unico Paese a produrre volumi rilevanti di pubblicazioni scientifiche, pur non avendo centrali nucleari attive. 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).

Per quanto riguarda la **ricerca tecnologica nucleare nelle università italiane**, un importante contributo è fornito dalle università del consorzio CIRTEN, che collaborano con ENEA e imprese (come, ad esempio, Ansaldo Nucleare) in attività di ricerca e sviluppo in tematiche nucleari, quali ad esempio la sicurezza nucleare, la radioprotezione, lo smantellamento (*decommissioning*) degli impianti e la gestione dei rifiuti radioattivi.

Il settore nucleare, come altri ambiti dell'energia rinnovabile e dell'ingegneria impiantistica, sta investendo anche nella **digitalizzazione**<sup>49</sup>, ad esempio attraverso lo sviluppo di modelli digitali completi (*digital twin*), con impatti significativi su analisi dati, gestione del rischio, integrazione energetica, decisioni operative e formazione. A supporto di questa evoluzione, il Politecnico di Milano ha inaugurato nel 2020 il laboratorio EYEducation Lab<sup>50</sup>, che permette agli studenti di accedere a simulazioni immersive di impianti reali. Il mondo accademico sta progressivamente integrando realtà virtuale e aumentata nei percorsi formativi, con l'obiettivo di lanciare nuove lauree triennali dal 2026/2027 per formare specialisti nel nucleare. Entro il 2030 si prevede l'implementazione di *digital twin* dedicati alla gestione di SMR e, entro il 2035, di AMR.

<sup>48</sup> Studio disponibile qui.

<sup>49</sup> Galeazzi, A., Marengi, P., Duò, L., Galardo, M., Rota, R., Sancassani, S., Manenti, F., Virtual Reality and Digital Twins for Enhanced Learning in Chemical Engineering, *Computer Aided Chemical Engineering*, 53, 3535–3540, 2024.

<sup>50</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=17VALGP06VI>.

Tra gli enti/istituti impegnati nella ricerca per il nucleare di nuova generazione, ENEA riveste un ruolo riconosciuto a livello internazionale, con particolare riferimento alle attività di ricerca nelle tecnologie SMR e AMR. Si citano, ad esempio, attività di simulazione e modellistica per la progettazione di sistemi nucleari ed analisi di sicurezza presso il centro ENEA di Bologna, i laboratori del centro ENEA di Brasimone (Bologna) per prove sperimentali di sviluppo della tecnologia dei reattori raffreddati a piombo, ed i reattori di ricerca TRIGA e TAPIRO del centro ENEA Casaccia (Roma) impiegati per la validazione di codici e qualificazione di componenti e strumentazione. Inoltre, ENEA partecipa ai principali contesti internazionali (ad esempio, IAEA e NEA) con ruoli di rappresentanza nazionale, oltre alla presenza ai gruppi di lavoro del GIF (Generation IV International Forum) in qualità di membro EURATOM.

Si ritiene che occorra sostenere la ricerca svolta da enti/istituti di ricerca ed università sul territorio italiano, valorizzandone le competenze e i risultati, e consolidando la cooperazione nei progetti di ricerca internazionali. In particolare, la ripartenza del settore nucleare in Italia richiede un forte impegno in ricerca e sviluppo per mantenere la competitività a livello globale.

Le **azioni richieste** possono essere suddivise in diverse fasi temporali:

- **Breve termine (1-2 anni)**  
*Incremento dei finanziamenti:* aumentare i fondi destinati alla ricerca nucleare di base e applicata, con un focus particolare sulla sicurezza, la sostenibilità e la gestione dei rifiuti radioattivi; sarà necessario rendere sempre più attrattivo il campo della ricerca nucleare in ambito accademico e degli enti di ricerca (ad esempio, prevedendo nuovi ingressi, progressioni di carriera, ecc.).
- **Medio termine (3-5 anni)**  
*Infrastrutture di ricerca:* investire nella creazione, nel consolidamento e nel potenziamento di infrastrutture di ricerca avanzate, come laboratori di simulazione nucleare e centri di eccellenza, centri dedicati ai test e alla validazione di sistemi e componenti.
- **Lungo termine (5-10 anni)**  
*Sostenibilità e innovazione:* sviluppare tecnologie nucleari sostenibili e innovative che possano essere applicate su larga scala, insieme a tutte le tecnologie di supporto richieste lungo l'intero ciclo del combustibile; questo include la ricerca su reattori di nuova generazione, l'ampliamento dei campi applicativi (es.: produzione di idrogeno e di calore ad alta temperatura, ecc.) e la riduzione dell'impatto ambientale dei processi nucleari (aumento della sostenibilità e dell'accettabilità sociale).  
*Internazionalizzazione:* rafforzare la presenza italiana nel panorama della ricerca nucleare internazionale attraverso la partecipazione a progetti europei e internazionali.

### 6.2.2 Contributo dell'industria

Il contributo dell'industria può essere articolato in diverse azioni volte a uno sviluppo macroscopico della filiera.

La prima direzione di azione è quella rivolta dall'industria verso sé stessa. L'industria, infatti, opera costantemente nel campo della ricerca per il potenziamento e/o il miglioramento della propria capacità produttiva. In previsione di un programma nucleare, **l'industria dovrà analizzare le nuove filiere di produzione** – anche in relazione alle tecnologie e ai progetti selezionati per il contesto nazionale, come indicato nel Capitolo 3 – **e dovrà evolversi per potersi**



l'ambiente e per i lavoratori, nuove soluzioni di trattamento e condizionamento dei rifiuti speciali, attività di ricerca sullo smaltimento geologico italiano, uso della scienza nucleare per risolvere problemi in campo convenzionale, nuove soluzioni in campo medico-ospedaliero, ecc. Tutte le attività di ricerca saranno aperte a collaborazioni internazionali che renderanno il parco tecnologico un centro di eccellenza per la ricerca e lo sviluppo avanzato in materia nucleare.

### 6.3 Comunicazione e stakeholder engagement

La complessità del tema nucleare e la sua percezione pubblica, influenzata da eventi storici e informazioni spesso frammentarie, evidenziano la necessità di un **piano di comunicazione** e di coinvolgimento strutturato per fasi e conseguentemente sviluppato. Questo piano dovrebbe rivolgersi sia agli *stakeholder* istituzionali direttamente impattati sia a un pubblico più ampio, garantendo una divulgazione chiara e accessibile.

A fronte degli ingenti investimenti richiesti, della complessità di ricreare un indotto completo e proficuo per lo sviluppo del settore nucleare e dei tempi che una tale impresa comporta, un corretto e tempestivo coinvolgimento degli *stakeholder* è elemento imprescindibile, non solo per il traguardo della costruzione di un impianto, ma per creare un meccanismo virtuoso di progresso condiviso e di ricadute ambientali, sociali e finanziarie che sia solido, partecipato con la società e duraturo.

**È necessario che venga promossa e diffusa una narrativa corretta nei dibattiti pubblici**, trasferendo le conoscenze base per comprendere il tema in modo chiaro e diretto per permettere al pubblico di avvicinarsi con maggiore efficacia e minor pregiudizio alle riflessioni sul nucleare.

Un elemento chiave di questa strategia è l'**analisi della percezione della popolazione** italiana sul nucleare, alla luce di dati storici e dei referendum passati. I sondaggi condotti negli ultimi anni mostrano un aumento del consenso verso le tecnologie nucleari, ma anche una diffusa sensazione di scarsa informazione tra i cittadini e una consueta ritrosia a ospitare impianti nucleari sul proprio territorio<sup>51</sup>. Questi studi individuano le principali preoccupazioni (sicurezza e gestione dei rifiuti radioattivi) ed i fattori che contribuirebbero a un parere favorevole (vantaggi ambientali ed economici). Inoltre, evidenziano come la fascia di popolazione più giovane sia mediamente più favorevole rispetto alle generazioni più anziane. Un'analisi approfondita dei dati statistici già disponibili potrebbe costituire il punto di partenza per l'elaborazione di una strategia comunicativa che selezioni efficacemente gli argomenti da trattare e i *target* verso cui rivolgersi.

Per costruire una **strategia di comunicazione e sensibilizzazione** adeguata ed efficace, è fondamentale:

- identificare gli *stakeholder* e le loro rispettive necessità e interessi;
- definire registri, canali e linguaggi idonei per ciascun segmento del pubblico;
- elaborare messaggi chiave che rispondano alle necessità e agli interessi individuati, alle domande e alle preoccupazioni.

<sup>51</sup> <https://nucleareeragione.org/2021/07/05/sondaggio-swg-oltre-un-italiano-su-due-possibilista-sui-nuovi-reattori-nucleari/>.  
<https://nucleareeragione.org/2024/04/26/cosa-pensano-gli-italiani-dellenergia-nucleare-il-nuovo-sondaggio-swg/>.  
<https://primapavia.it/media/2024/04/Nucleare-italiano-per-i-cittadini-le-imprese-e-il-territorio-2024-04-15.pdf>.  
[https://www.i-week.it/wp-content/uploads/2024/10/CS\\_iWeek\\_Nucleare\\_Formazione\\_Industria\\_4\\_SWG\\_251124.pdf](https://www.i-week.it/wp-content/uploads/2024/10/CS_iWeek_Nucleare_Formazione_Industria_4_SWG_251124.pdf).

L'obiettivo principale è quello di creare una cultura più aperta e informata sulle tematiche nucleari e sul loro valore per la società, favorendo una partecipazione attiva del pubblico. Inoltre, questa strategia potrebbe:

- costruire una proficua relazione con l'industria e i fornitori di lavori, beni e servizi, per un processo di crescita virtuosa a beneficio del sistema nazionale nel suo complesso;
- coinvolgere gli *stakeholder* interessati agli aspetti economico-finanziari (quali banche, istituti finanziari, ecc.) per garantire la stabilità economica degli investimenti;
- creare una opinione pubblica informata;
- favorire il supporto di istituzioni politiche e amministrative dello Stato e degli enti locali;
- stimolare l'interesse della comunità scientifica e accademica;
- attirare giovani interessati alle opportunità occupazionali nel settore (disponibilità a prepararsi per diventare professionisti, esperti, maestranze, collaboratori a pieno titolo inseriti nel settore).

A livello nazionale, è opportuno **costituire un gruppo di lavoro** che coinvolga Istituzioni pubbliche, Confindustria, imprese, università ed esperti del settore, per la definizione di un piano di comunicazione efficace, basato su un'analisi approfondita delle necessità dei diversi *stakeholder* per sviluppare contenuti mirati. La prima fase dovrebbe coinvolgere attivamente gli *stakeholder* per evidenziare le discrasie tra il linguaggio tecnico e quello non-tecnico, con l'obiettivo di creare un linguaggio condiviso ed una maggiore comprensione nell'opinione pubblica. Questo richiede l'uso di formati e canali diversificati, con messaggi adattati alle diverse fasce d'età e alle specifiche sensibilità. La coerenza della comunicazione è essenziale: i contenuti diffusi attraverso i *social media* e altri mezzi devono essere chiari e allineati tra loro per stimolare interesse e partecipazione. Inoltre, la presenza di portavoce qualificati e *opinion leader* aiuterà a rendere il dibattito più accessibile e costruttivo.

Un'azione strategica potrebbe includere un **programma educativo per le scuole**, promuovendo percorsi didattici che inseriscano lo studio dell'energia nucleare all'interno della tematica della sostenibilità ambientale, inizialmente sperimentato su un campione ristretto e poi esteso su scala nazionale con il supporto delle Confindustrie territoriali e del Ministero dell'Istruzione. Premi, borse di studio e progetti specifici potrebbero incentivare l'interesse degli studenti e dei docenti. Per sostenere l'iniziativa si suggerisce di stipulare a livello nazionale un protocollo d'intesa con il Ministero dell'Istruzione, coinvolgendo laddove possibile anche le articolazioni territoriali (uffici scolastici regionali). Il piano di comunicazione dovrebbe inoltre inquadrare il nucleare nel contesto più ampio della sostenibilità energetica, evitando una narrazione polarizzante e favorendo un confronto basato su dati oggettivi. L'obiettivo è superare le contrapposizioni tra diverse fonti di energia, promuovendo una visione integrata del sistema per la transizione energetica.

Un elemento centrale della campagna informativa è la **fiducia**. L'autorevolezza degli attori della comunicazione rappresenta un presupposto fondamentale per rafforzare la credibilità dei messaggi trasmessi. È cruciale distinguere tra comunicazione istituzionale e quella promossa dalle aziende del settore, dando, almeno nella prima fase, priorità al ruolo delle istituzioni, delle università, degli enti di ricerca e delle associazioni tecnico-scientifiche (ad es. AIN). Questa strategia ha anche l'obiettivo di ricostruire il rapporto di fiducia dei cittadini nei confronti delle istituzioni, fondamentale per un passaggio efficace delle informazioni.

A livello nazionale c'è una limitata disponibilità di figure professionali specializzate in comunicazione e divulgazione scientifica, che possano rappresentare correttamente al grande pubblico il dibattito sull'opzione nucleare. Tale dinamica si è verificata anche in altri Paesi europei, soggetti come l'Italia a mutevoli orientamenti di pubblica opinione in merito al nucleare. Tuttavia, l'attenzione agli aspetti tecnici di una corretta comunicazione e coinvolgimento degli *stakeholder* si è già sviluppata in Italia, ad esempio nell'ambito della gestione dei rifiuti radioattivi. Inoltre, in numerosi consessi internazionali (IAEA, NEA, Commissione UE) i tavoli tecnici sulla comunicazione per sostenere l'opzione nucleare fanno largo uso sia degli esperti sia della letteratura di riferimento maturata in ambito gestione dei rifiuti radioattivi. In particolare, si cita il FSC (*Forum on Stakeholder Confidence*) della NEA, che dal 2000 ad oggi ha approfondito un'ampia gamma di questioni in tema di comunicazione e di *stakeholder engagement*. Sogin partecipa al FSC dal 2013 e dal 2021 è rappresentata nel *Bureau* che ha funzioni direttive.

Per rafforzare le capacità e le competenze di divulgazione scientifica, è necessario incoraggiare la formazione di figure professionali specializzate anche attraverso master e corsi dedicati<sup>52</sup>.

Infine, il confronto con Paesi già nuclearizzati, come la Francia, potrebbe fornire spunti utili per l'elaborazione di strategie e programmi di comunicazione efficaci.

In sintesi, una strategia di comunicazione efficace dovrà essere inclusiva, chiara e partecipativa, ponendo le basi per una maggiore consapevolezza pubblica e un dibattito costruttivo sul futuro energetico del Paese.

---

<sup>52</sup> Si cita, ad esempio, il Master di II livello in Divulgazione scientifica offerto dall'Università di Siena.



CONFINDUSTRIA