AIN

ASSOCIAZIONE
ITALIANA NUCLEARE

DOCUMENTO PROGRAMMATICO

Il rilancio dell'energia nucleare in Italia

Infrastrutture, governance, tecnologia e filiera industriale per un nuovo settore strategico nazionale

Elaborato sulla base delle posizioni espresse da AIN in audizione presso l'8ª Commissione del Senato della Repubblica e integrato con successive considerazioni basate su recenti studi nazionali e internazionali

Novembre 2026

ASSOCIAZIONE ITALIANA NUCLEARE

Il rilancio dell'energia nucleare in Italia

Infrastrutture, governance, tecnologia e filiera industriale per un nuovo settore strategico nazionale

Novembre 2026

Lungotevere Thaon di Revel, 76
00196 Roma

info@associazioneitaliananucleare.it
www.associazioneitaliananucleare.it

Indice

1. Premessa e finalità del documento
2. Energia, geopolitica e competitività industriale
3. La dimensione europea del programma nucleare italiano
4. L'architettura del programma nucleare: i pilastri infrastrutturali
5. Governance e Autorità di Sicurezza Nucleare
6. Scelta tecnologica: criteri e opzioni
7. Filiera industriale italiana: stato attuale e prospettive
8. Nucleare e rinnovabili: complementarità, non alternativa
9. Tempi di realizzazione ed evidenze degli studi di scenario
10. Impatto economico e occupazionale
11. Scelte strategiche ancora da definire
12. L'Italia come "newcomer country" nel campo degli SMR e nella logica di flotta europea: indicazioni operative
13. Roadmap e priorità di azione
14. Riferimenti per la sicurezza e gli standard internazionali
15. Conclusioni e impegni

APPENDICE: Il contributo atteso dalla fusione nucleare

Lungotevere Thaon di Revel, 76
00196 Roma

info@associazioneitaliananucleare.it
www.associazioneitaliananucleare.it

1. Premessa e finalità del documento

Il presente documento programmatico raccoglie ed organizza in forma sistematica la posizione dell'Associazione Italiana Nucleare (AIN) sulla definizione e l'avvio del programma nucleare nazionale, a seguito dell'approvazione definitiva del Disegno di Legge sul Nucleare e sulla base della audizione di AIN svolta presso l'8ª Commissione del Senato XIX Legislatura (v. relativo Documento AIN di accompagnamento pubblicato sul sito della Commissione). Obiettivo del documento è tradurre le posizioni espresse in sede istituzionale in un quadro programmatico organico, utile a orientare l'azione di istituzioni, imprese e mondo della ricerca nella fase attuativa del provvedimento.

La legge sul nucleare rappresenta una svolta storica perché riapre concretamente la possibilità di reintrodurre l'energia nucleare nel mix energetico italiano, affrontando il nodo di fondo delle infrastrutture di base e ridefinendo il quadro legislativo atto a stimolare un nuovo ed accelerato sviluppo di un settore industriale nucleare nazionale. Nei decenni successivi al referendum del 1987, imprese, istituti di ricerca e università italiane hanno continuato a partecipare a progetti internazionali per lo sviluppo e la realizzazione di impianti anche di nuova concezione oltre ad occuparsi, a livello nazionale, di gestione dei rifiuti radioattivi, decommissioning e bonifica delle aree dismesse. Oggi questo patrimonio di competenze attende un programma nazionale e un piano industriale chiaro per tornare a produrre energia nucleare anche nel nostro Paese.

2. Energia, geopolitica e competitività industriale

Il programma nucleare nazionale va letto nel contesto di cambiamenti geopolitici epocali in cui l'energia riveste un ruolo centrale: le tensioni negli stretti di Hormuz e di Bab al-Mandab, il conflitto in Ucraina e la forte dipendenza da paesi extraeuropei mostrano la fragilità del sistema energetico in termini di resilienza e sovranità. A ciò si aggiunge la crescita dei fabbisogni energetici legata allo sviluppo dell'intelligenza artificiale e dei data center, nonché la consolidata sensibilità ambientale che informa le politiche nazionali ed europee in materia.

Il legame tra energia e competitività industriale è da sempre stretto, in particolare per i settori energivori – acciaio, carta, ceramica, vetro, cemento – cruciali per l'economia italiana ed europea. L'emergenza del caro energia, legata alla volatilità dei prezzi di gas e petrolio, penalizza i paesi con maggiore dipendenza dalle fonti fossili: un mix energetico diversificato, che includa il nucleare, consente di ottenere prezzi più bassi e, soprattutto, più stabili.

3. La dimensione europea del programma nucleare italiano

Il programma nucleare nazionale deve essere anche declinato in prospettiva europea per almeno tre ragioni. In primo luogo, sistemi energetici e reti devono essere sempre più integrati a livello continentale, un obiettivo non ancora pienamente raggiunto. In secondo luogo, l'industria nucleare si confronta ormai su mercati internazionali, ed è

attraverso una forte filiera industriale continentale che si possono affrontare le debolezze europee su sicurezza degli approvvigionamenti e prezzi dell'energia, in linea con le indicazioni del Rapporto Draghi del 2024 sulla competitività europea. In terzo luogo, una condizione economica fondamentale per gli *Small Modular Reactor* (SMR) che al momento rappresentano il riferimento nazionale, è che vengano realizzati in larga serie – la cosiddetta scala di flotta o *"fleet approach"* (v. sezione 12). Nessun singolo paese di dimensioni contenute può generare da solo questa economia. L'Italia deve quindi impostare la propria strategia SMR come partecipazione a una pipeline europea di ordini multinazionale, non come programma nazionale isolato.

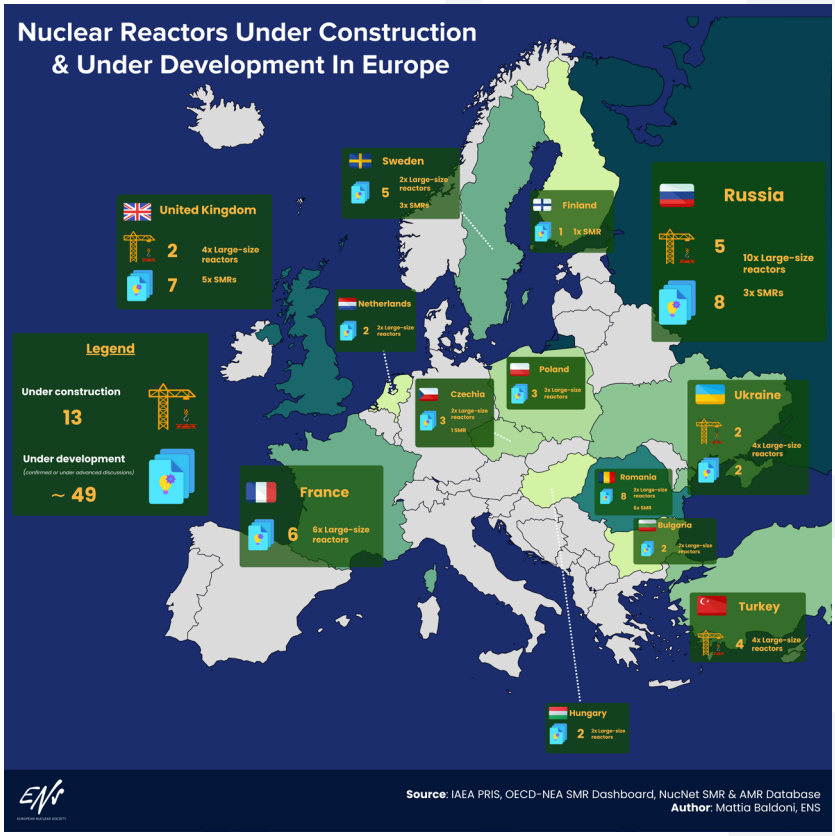


Figura 1: progetti di impianti nucleari in costruzione e previsti in Europa a fine 2025

Varie iniziative europee di realizzazione di impianti nucleari avanzati si stanno già materializzando (v. fig 1): occorre dunque accelerare i tempi del ritorno dell'Italia alla produzione di energia atomica, rafforzando rapidamente le infrastrutture e definendo la scelta tecnologica più adatta al Paese ed al suo sistema industriale.

4. L'architettura del programma nucleare: i pilastri infrastrutturali

AIN ha presentato nella sopra citata audizione alla 8ª Commissione del Senato l'immagine del "ponte dell'architettura del programma nucleare" riportata qui di seguito.



Figura 2: rappresentazione grafica di un programma nucleare di successo. Dallo sviluppo delle infrastrutture di base alle condizioni necessarie per permettere gli investimenti, fino alla realizzazione del progetto

L'immagine rappresenta l'insieme delle infrastrutture, materiali e immateriali, necessarie a rendere operativo il rilancio del nucleare in Italia.

Non è graficamente rappresentata la infrastruttura immateriale più rilevante ovvero quella relativa alle **risorse umane qualificate ad ogni livello**: si tratta di una infrastruttura pervasiva e trasversale che riguarda l'intero programma e che per l'Italia risulta particolarmente critica in quanto occorre rispondere, in tempi sincronizzati col cronoprogramma delle attività, alle necessità di molteplici stakeholders: istituzioni e, in particolare, autorità di sicurezza e TSO *(Technical Support Organization)*, industria sistemistica e manifatturiera, università e ITS (docenti e formatori professionali), enti di ricerca, utilizzatori finali, soggetti del mondo economico e finanziario, ecc.. Tutto questo in un conteso altamente competitivo in cui molti soggetti europei ed extra-europei cercano di attrarre i migliori talenti italiani per le loro crescenti necessità.

Con riferimento a questo quadro generale e omnicomprensivo, il presente position paper individua i seguenti pilastri prioritari.

4.1 Infrastrutture immateriali

I punti prioritari e urgenti del programma riguardano:

- La decisione strategica sul programma nucleare: spetta a istituzioni, politica e mondo industriale compiere questo passo, senza il quale si rischia l'ennesima legge inattuata o destinata ad essere modificata ad ogni cambio di governo. Un programma nucleare di lungo respiro, i cui orizzonti temporali superano di gran lunga quelli

di una singola legislatura, non può essere percepito come espressione di una sola parte del Parlamento: deve piuttosto fondarsi su un consenso il più possibile ampio e condiviso, costruito con un approccio bipartisan, così da garantirne la continuità e la stabilità indipendentemente dall'alternanza delle maggioranze di governo.

- Una comunicazione istituzionale adeguata, tanto più necessaria in un Paese in cui l'energia atomica era stata archiviata per volontà referendaria[1].
- Un quadro regolatorio certo, con regole precise per la certificazione dei reattori e un'autorità indipendente per la sicurezza nucleare in grado di garantire certificazioni e *licensing* in tempi definiti.
- Schemi di *project funding and financing* adeguati a sostenere gli investimenti del settore.
- Potenziamento delle risorse umane, considerata l'infrastruttura immateriale più importante: servono non solo ingegneri nucleari, ma anche ingegneri meccanici, elettrotecnici, chimici, civili, fisici, chimici, economisti dell'energia, tecnici altamente specializzati, esperti di diritto e di comunicazione. Come già sopra ricordato, si tratta di uno sforzo paese enorme che dovrà essere supportato e sopportato non solo dalle istituzioni preposte alla formazione ma anche dalle imprese e dagli enti di ricerca.

4.2 Infrastrutture materiali

Fra queste infrastrutture materiali, occorre concentrarsi con coraggio e determinazione su:

[1] In realtà i quesiti referendari del 1987 non disponevano direttamente la cessazione della produzione elettronucleare, mentre il referendum del 2011 intervenne sul quadro normativo allora predisposto per il rilancio del nucleare. Va peraltro osservato che il contesto energetico, geopolitico, tecnologico e demografico è, nel frattempo, profondamente cambiato.

- Selezione e riqualificazione dei siti destinati a ospitare i nuovi impianti.
- Organizzazione di una supply chain italiana solida, anche nel caso - almeno nella prima fase - di acquisizione di tecnologie straniere.
- Creazione di un hub tecnologico che metta a sistema tutte le infrastrutture fisiche e sperimentali del Paese e supporti la qualifica e certificazione dei più rilevanti prodotti e processi della catena di fornitura, nonché la formazione professionale.

5. Governance e Autorità di Sicurezza Nucleare

La costituzione di un'Autorità di Sicurezza Nazionale **realmente** indipendente è considerata un passaggio imprescindibile. Gradualmente, l'Autorità dovrà contare a regime su almeno 200-300 persone, esperte non solo di normativa di sicurezza e security nucleare nonché di salvaguardie e radioprotezione, ma in grado di operare anche come organo tecnico di supporto, effettuando analisi e verifiche indipendenti su sistemi e componenti, con un livello di competenza comparabile a quello dei progettisti dei reattori.

Le tempistiche di costituzione saranno definite da apposito decreto attuativo, con l'obiettivo di rendere l'Autorità pienamente operativa entro la metà del 2027. Il percorso non parte da zero: potranno essere messe a sistema le competenze già presenti nell'Ispettorato Nazionale per la Sicurezza Nucleare e la Radioprotezione (ISIN), nell'ENEA e in altri soggetti nazionali.

Obiettivo: Autorità di sicurezza nucleare pienamente operativa entro la metà del 2027, quale precondizione per l'avvio del programma.

Coerentemente con questo obiettivo, l'Autorità dovrebbe fin da subito richiedere lo status di osservatore presso i regolatori dei paesi partner sui progetti tecnologici di interesse italiano, e avviare una "joint early review", in modo da riutilizzare le valutazioni tecniche già svolte altrove e ridurre il lavoro duplicato nelle fasi successive (cfr. Sezione 12.3).

6. Scelta tecnologica: criteri e opzioni

La legge indica, correttamente, solo linee di indirizzo generali – reattori avanzati, *Small Modular Reactor* (SMR), *Advanced Modular Reactor* (AMR) e fusione – lasciando la scelta tecnologica al futuro proprietario ed esercente, nel rispetto degli obiettivi strategici e della normativa nazionale. Ad oggi risultano certificati nel mondo 16 reattori ad acqua di grande taglia di tipo avanzato (Light Water Reactor), di cui nove già in esercizio (due anche nell'UE); degli SMR avanzati sono invece operative solo poche unità, in Cina e in Russia, mentre il primo esemplare occidentale di potenza rilevante per il caso italiano (sono dunque esclusi i microreattori messi recentemente in esercizio in USA) è in costruzione a Darlington, in Ontario, con tecnologia General Electric/Hitachi.

Per quanto riguarda la fusione, la Piattaforma Nazionale per il Nucleare Sostenibile (PNNS) ha riconosciuto un suo possibile contributo all'energy mix italiano a partire dal 2050, con costruzione nel decennio 2040: le considerazioni sviluppate nel seguito del documento, mirate alla definizione di una strategia di breve-medio termine, prescindono da questa fonte, alla quale peraltro è dedicata una breve

nota specifica allegata in Appendice.

6.1 Criteri di Selezione

Il processo di scelta delle tecnologie nucleari per l'Italia è un processo complesso che compete in primis ai futuri possessori di impianto/esercenti, peraltro nel rispetto degli obiettivi di *policy* nazionale fissati da Governo e Parlamento. Non è compito di una Associazione come AIN svolgere direttamente attività di *Reactor Technology Assessment* più consona a soggetti industriali, sulla base di ben precisi requisiti di progetto. Tuttavia AIN, nell'interesse del Paese e con riferimento ad approcci di successo implementati a livello internazionale, ritiene di poter suggerire i seguenti criteri generali di riferimento:

- La selezione delle tecnologie deve essere guidata dagli obiettivi finali, dalle necessità del sistema Paese e dalle condizioni al contorno, incluse quelle di carattere geopolitico. Gli obiettivi di progetto e le necessità devono includere sia istanze dei cittadini quali il perseguimento sistematico dei più alti livelli di sicurezza, *security*, salvaguardia, radioprotezione e sostenibilità, sia di *business* fra cui, di primaria importanza, il rispetto dei tempi e dei costi di realizzazione e la minimizzazione dei rischi finanziari anche per le prime unità. Un aspetto particolarmente rilevante nella selezione delle tecnologie riveste comunque la ricaduta sull'economia nazionale (in termini di PIL, di occupazione generata, ecc.) dei rilevanti investimenti, pubblici e privati, che il Piano comporta: ciò a beneficio dei cittadini, ma anche a protezione del *business* nel lungo termine (ad es. capacità di sostegno all'esercizio da parte di una *supply chain* nazionale).
- Sugli obiettivi di *business*, occorre fare una netta differenziazione

fra tecnologie che richiedono ancora notevoli sforzi di ricerca, sviluppo e sperimentazione e per le quali manca nella nostra regione di appartenenza (Europa occidentale) una esperienza operativa di riferimento, e le tecnologie già mature che richiedono al più ingegnerizzazione e certificazione. Sebbene il supporto pubblico e privato per le prime debba essere garantito in maniera continuativa per assicurarne il possibile deployment nel futuro, è opportuno che la selezione per le iniziali unità da realizzare sul suolo italiano si focalizzi solo sulle seconde, ovvero le tecnologie più mature.

- I criteri, le metodologie e gli strumenti di selezione devono avere respiro internazionale/europeo e rifuggire da approcci autoctoni non supportati dalla necessaria esperienza sul campo. Da questo punto vista e rispetto agli obiettivi di business, AIN supporta l'approccio di Nuclitalia, con un proprio apporto ad un Comitato Tecnico avente tutte le competenze necessarie per fornire ai decisori un quadro esaustivo e robusto.
- Per varie ragioni già elaborate in ambito PNNS, rapporto TEHA, documento Confindustria-ENEA, ecc. l'ecosistema italiano è, al momento, orientato verso le tecnologie di tipo SMR-LWR e, in prospettiva, AMR e fusione. Questo orientamento è lecito anche in considerazione dei criteri di localizzazione e massimizzazione delle ricadute sul sistema Paese. Tuttavia, sarebbe erroneo escludere a priori i reattori avanzati di tipo LWR di grande taglia (cosiddetti reattori di generazione III+) già in esercizio e comunque disponibili sul mercato con grande varietà (come già osservato, sono attualmente disponibili 16 opzioni tecnologiche di reattori già certificati e in buona parte già in esercizio nel mondo). Tali tecnologie hanno già raggiunto altissimi livelli di sicurezza e affidabilità, incomparabilmente superiori

rispetto a quelli dei reattori tipo Fukushima-Daiichi, e rappresentano la scelta preferenziale della maggior parte dei 38 Paesi che hanno dichiarato la volontà di triplicare la potenza nucleare installata all'orizzonte del 2050. Anche in Italia è opportuno lasciare aperta la porta a queste tecnologie avanzate già provate.

- La scelta della tecnologia deve tener conto della maturità non solo della tecnologia reattore ma anche del relativo combustibile e ciclo del combustibile, inclusa la disponibilità del combustibile e relative facility sui mercati occidentali e la capacità di gestione del ciclo con tecniche consolidate e alla portata della nostra industria nazionale.
- Occorre dare un peso rilevante a quelle tecnologie sufficientemente mature che possono massimizzare l'approccio di flotta e la standardizzazione, anche al di fuori dei confini nazionali: ciò a garanzia della economicità della scelta nonché della massimizzazione dei ritorni economici e industriali per le aziende nazionali.

6.2 Il posizionamento italiano

Pur non disponendo di una tecnologia di reattore nazionale impiegabile nel breve-medio termine, l'Italia può ritagliarsi uno spazio significativo attraverso il co-sviluppo di tecnologie estere. È il caso, a titolo puramente esemplificativo, del progetto francese Nuward, guidato da EDF, un impianto modulare da 400 MW elettrici raffreddato ad acqua e in grado di funzionare anche in modalità cogenerativa, per il quale Ansaldo Nucleare e Edison hanno firmato un accordo di co-sviluppo con la parte francese.

Anche scegliendo tecnologie non europee – americane, inglesi o coreane – l'Italia, secondo sistema industriale nucleare d'Europa, può aff-

ermarsi come fornitore di ingegneria, servizi, componenti e sistemi, contrattando un'adeguata partecipazione del sistema industriale nazionale nelle fasi di progettazione, realizzazione ed esercizio. AIN ritiene non conveniente, né tatticamente né strategicamente, affidarsi, seppure solo nella fase iniziale di rilancio di un programma nazionale, a fornitori esteri di impianti chiavi in mano. E' invece favorevole a scelte di partenariato che massimizzino il coinvolgimento industriale italiano in modo strutturale.

Questa impostazione è coerente con la logica di *pipeline* multinazionale descritta nella Sezione 12: impegnarsi su un progetto di riferimento già in fase di adozione da parte di altri paesi europei (come il sopra menzionato Nuward, o altri concetti di SMR su cui si sta formando una domanda transfrontaliera) consente all'Italia di catturare più rapidamente l'apprendimento di flotta, a condizione di resistere alla tentazione di personalizzare il progetto oltre quanto strettamente richiesto dalle condizioni di sito o di rete nazionali.

7. Filiera industriale italiana: stato attuale e prospettive

Il settore conta già un centinaio di imprese – la maggior parte delle quali iscritte ad AIN - attive con successo sui mercati internazionali tra cui Ansaldo Nucleare, SIMIC, ATB Riva Calzoni, IBF Group, Tectubi Raccordi, Walter Tosto, SIET, RINA, ecc. Si tratta di un numero in costante crescita anche grazie a imprese provenienti da altri settori, in particolare oil & gas, che intendono qualificarsi rapidamente per il comparto nucleare.

Il ruolo di AIN si concentra su due obiettivi principali: ampliare le opportunità delle imprese italiane nei progetti internazionali e favorire l'integrazione di sistema per le realizzazioni sul territorio nazionale, individuando un capofila e un integratore di sistema. In questa direzione si colloca il supporto tecnico-scientifico di AIN a Nuclitalia, la joint venture costituita nel 2025 da Enel (51%), Ansaldo Energia (39%) e Leonardo (10%), incaricata di analizzare le tecnologie disponibili sul mercato e valutare la capacità della *supply chain* nazionale. Ad essa si affianca l'accordo siglato a dicembre con ANIMA Confindustria per abilitare il settore della meccanica, e in particolare l'*oil & gas*, alla transizione verso il nucleare. Per quanto riguarda l'ampliamento delle opportunità all'estero, AIN ha siglato vari accordi con GIFEN e EDF (Francia), ROMATOM (Romania), IGEOS (Polonia), CNS (Canada) ed è membro della *European SMR Industrial Alliance*.

L'obiettivo dichiarato è far crescere il numero di imprese della filiera dalle circa 100 attuali a 400-500 unità, coinvolgendo ingegneria, strumentazione e controllo, componentistica meccanica, opere civili, montaggi, test non distruttivi, certificazioni e gestione dei rifiuti radioattivi. Il settore nucleare è multidisciplinare e multisettoriale: l'esperienza francese ha mappato 93 diverse professionalità tecniche necessarie, cui si aggiungono competenze legali, economico-finanziarie e di comunicazione e stakeholder engagement.

8. Nucleare e rinnovabili: complementarità, non alternativa

AIN ritiene non corretto rappresentare il nucleare come alternativo alle rinnovabili: le due tecnologie sono complementari. Eolico e fotovoltaico dipendono da vento e sole e sono pertanto intermittenti e non programmabili, mentre il nucleare fornisce energia decarbonizzata in maniera continuativa, programmabile e dispacciabile. Grazie a incentivi pubblici per oltre 200 miliardi di euro, le rinnovabili intermittenti sono passate dallo 0,1% dell'elettricità prodotta in Italia a inizio millennio a una media attuale del 20%, con un costo di generazione oggi inferiore a quello del gas; restano tuttavia elevati, e crescenti in modo esponenziale, i costi di sistema che gravano sui consumatori finali. Un mix bilanciato con il nucleare consente di controbilanciare questo effetto.

Il nucleare da fissione di nuova costruzione (quindi non già completamente ammortizzato) presenta un costo di produzione spesso superiore alle fonti di energia rinnovabile, ma costi di sistema largamente inferiori. Il costo livellato dell'energia (LCOE) varia in base al contesto: in Francia, dove il sistema industriale è maturo e i costi di impianto sono già ammortizzati, si attesta intorno ai 50 euro/MWh, mentre per un paese che avvia oggi un programma industriale un target realistico è di circa 100 euro/MWh. Grazie ai contenuti costi di sistema, il nucleare risulta competitivo anche rispetto alla combinazione rinnovabili più accumulo, contribuendo inoltre alla stabilità delle reti e occupando superfici fino a cento volte inferiori a parità di energia prodotta, circostanza rilevante per un Paese con antropizzazione superiore alla media europea.

Questa complementarità implica anche di non cercare un vantaggio per il nucleare penalizzando le tecnologie rinnovabili: un trattamento punitivo delle rinnovabili rischierebbe di alienare le stesse *utility*, la cui cooperazione è necessaria al programma nucleare. L'approccio più solido è la parità degli strumenti di sostegno tra le due tecnologie.

9. Tempi di realizzazione ed evidenze degli studi di scenario

Sui tempi di realizzazione, se le rinnovabili possono essere installate rapidamente, gli obiettivi del PNIEC 2024 richiedono comunque decenni per realizzare centinaia di GWe di capacità intermittente, oltre ai relativi sistemi di accumulo ed adeguamento delle reti. I tempi complessivi di *deployment* risultano quindi sostanzialmente equivalenti tra le due tecnologie: le rinnovabili entrano in esercizio gradualmente e in piccole frazioni, mentre il nucleare richiede tempi di realizzazione più lunghi ma, una volta operativo, fornisce grandi quantità di energia in tempi rapidi.

Le analisi condotte nell'ambito della Piattaforma Nazionale per il Nucleare Sostenibile (PNNS), della *Joint Research Partnership* di POLIMI-AIN, e dello studio *The European House Ambrosetti* offrono evidenze rilevanti a supporto del programma. In uno scenario basato al 100% su rinnovabili, l'analisi oraria della domanda elettrica evidenzia rischi di *blackout* fino a 18 giorni consecutivi in caso di assenza prolungata di vento e sole – condizione già verificatasi in Italia nel 2014.

Indicatore	Evidenza dello Studio (Joint Research Partnersihip)
Scenario 100% Rinnovabili	Rischio blackout fino a 18 giorni consecutivi (evento tipo 2014)
Fabbisogno di accumulo	Oltre 17.000 GWh (~1.000 volte la capacità attuale)
Costo di sistema attualizzato	Oltre 1.400 miliardi di euro (~25.000 €/residente)

Nell'anno più sfavorevole sarebbero necessari sistemi di accumulo per oltre 17.000 GWh, circa mille volte la capacità attuale, con un costo attualizzato di sistema stimato in oltre 1.400 miliardi di euro (circa 25.000 euro per ogni residente).

L'evidenza complessiva indica che l'assenza del nucleare nel mix energetico aumenta sia i rischi di sicurezza dell'approvvigionamento sia i costi complessivi di sistema, mentre il ritorno al nucleare rafforza al contempo una nuova filiera industriale nazionale.

10. Impatto economico e occupazionale

Recenti studi in Italia mostrano che ogni euro investito nel settore nucleare generi 2,6 euro di indotto. Lo studio di *The European House Ambrosetti* sopra menzionato quantifica una potenzialità pari al 2,5% del PIL, sulla base di un'ipotesi di quota nucleare nel mix elettrico compresa tra il 10% e il 20%. In questo scenario e nell'ipotesi di forte localizzazione, al 2050 sarebbero necessarie circa 117.000 persone quali-

ficate per il settore, con una ricaduta positiva significativa in termini di formazione e occupazione qualificata del capitale umano nazionale.

Uno scenario ragionevole per l'Italia al 2050 prevede una quota di energia elettrica da fonte nucleare compresa tra il 10% e il 20%, con il resto della produzione coperto da rinnovabili e una componente di gas dotata di cattura e sequestro della CO2 (CCS) – una configurazione simile a quella oggi presente in Spagna – coerente con gli scenari del PNIEC 2024 al 2050, che ipotizzano una domanda di energia elettrica doppia rispetto a quella attuale, in linea con gli obiettivi dell'Unione Europea.

11. Scelte strategiche ancora da definire

AIN ritiene che, accanto agli obiettivi di business che gli operatori industriali vorranno perseguire – in primis la minimizzazione dei rischi in termini di tempi e costi – debbano essere fissati altrettanti obiettivi strategici di sistema Paese. Le principali opzioni ancora aperte riguardano:

- Se il nucleare debba essere destinato prioritariamente alla produzione elettrica *base-load* e *land-based* o anche ad altre applicazioni.
- Se sviluppare un modello di nucleare più distribuito e integrato con le rinnovabili, con la necessaria flessibilità di esercizio.
- L'applicabilità del nucleare all'alimentazione di data center e alle applicazioni navali, e la relativa priorità rispetto alle altre finalità.
- Il peso relativo fra la necessità di arrivare alla produzione nucleare in Italia nel più breve tempo possibile e l'obiettivo, altrettanto rile-

vante, di creare un sistema industriale robusto e resiliente, attraverso un partenariato con un *technology holder* estero, orientato ad una collaborazione sull'intera filiera.

Le due decisioni di fondo da assumere riguardano, quindi, la composizione prospettica del mix energetico ottimale e la tipologia di programma nucleare più conveniente e prioritaria per il sistema Paese. Come illustrato nella Sezione 12.1, questa decisione sullo scopo d'uso degli SMR dovrebbe precedere qualsiasi conversazione con i fornitori, poiché determina la taglia dell'unità, il tipo di sito e l'urgenza del programma.

12. L'Italia come *"newcomer country"* nel campo degli SMR e nella logica di flotta europea: indicazioni operative

Questa sezione è dedicata a ciò che un paese "neofita" – privo di reattori oggi in esercizio, in una fase ancora precoce del proprio percorso, senza una tecnologia propria provata e una struttura di finanziamento o un'organizzazione già fissate – dovrebbe fare per partecipare con successo allo sviluppo europeo degli SMR. La conclusione centrale è che l'economia degli SMR dipende dalla ripetizione – *fleet approach* e finanziamento a rischio ridotto – che nessun singolo paese di dimensioni contenute può generare da solo. Il compito dell'Italia non è quindi costruire un programma nazionale SMR in isolamento, ma unirsi a - o contribuire a - creare una *pipeline* di ordini multinazionale prima che le proprie scelte (regole di appalto, fasi di licenza, impegni sul contenuto locale) precludano questa possibilità.

Le indicazioni che seguono sono organizzate come una sequenza di decisioni, non come un elenco da completare tutto insieme: ogni fase dipende deliberatamente da quella precedente.

12.1 Posizionamento strategico, prima di qualsiasi impegno

- **Decidere a cosa servono gli SMR per l'Italia, prima di decidere quale SMR acquistare.** Stabilire, anche a livello di Sistema Paese, il problema specifico che gli SMR devono risolvere per l'Italia e fissare alcune priorità nell'interesse dei cittadini, delle imprese e degli utilizzatori finali. Queste scelte determinano il tipo di sito, la taglia dell'unità e l'urgenza, e, assieme agli *utility requirements* di competenza del futuro operatore, dovrebbero precedere qualsiasi conversazione con i *technology holder*.
- **Puntare su un progetto già scelto – o vicino a essere scelto – da altri paesi.** È opportuno individuare i progetti di reattore per cui si sta già formando una *pipeline* transfrontaliera. Un possibile esempio di riferimento è rappresentato dagli impegni pressoché simultanei assunti da più paesi europei sullo stesso progetto Rolls-Royce SMR; per l'Italia, l'accordo di co-sviluppo tra Ansaldo Nucleare, Edison ed EDF sul progetto Nuward (Sezione 6.2) potrebbe rappresentare un percorso analogo, da consolidare e allargare a più partner europei. Un altro esempio è rappresentato dal progetto BWRX-300 di GE/Hitachi che, essendo già in fase di realizzazione in Canada nonché l'SMR di riferimento per vari paesi EU, rappresenta un caso assai interessante di concetto standardizzato con approccio di filiera transnazionale.

- **Riconoscere la "prima unità" per quello che è.** Il primo impianto italiano (il cosiddetto "*First in the Country*", FITC) non sarà ottimizzato né competitivo: è invece necessario per dimostrare il concetto e acquisire apprendimento per la flotta. Il budget, la comunicazione pubblica e le aspettative politiche dovrebbero essere impostati di conseguenza fin dal primo giorno, non corretti quando si verificasse un superamento dei costi e dei tempi.
- **Costruire per tempo un sostegno politico e pubblico duraturo.** La durabilità politica è un fattore abilitante fondamentale, distinto dalle condizioni tecniche o finanziarie. Ciò include la strategia di localizzazione dei siti: riutilizzare siti esistenti, a carbone o industriali, dove disponibili, riduce sia l'attrito autorizzativo sia l'opposizione locale.

12.2 Unirsi a una *pipeline*, non costruire da soli

- Aggregare la domanda con altri paesi prima di fissare le specifiche nazionali. Secondo recenti studi internazionali, l'effetto di flotta richiede circa 5-8 GWe (circa 12-20 unità per un tipico SMR da circa 3-400 MWe) per catturare la maggior parte della riduzione di costo ottenibile. Nessun singolo programma nazionale, incluso quello italiano, raggiunge da solo e nell'immediato questa soglia (il PNIEC2024 indica questo obbiettivo per l'Italia all'orizzonte del 2050): è dunque necessario trovare paesi partner che convergano sullo stesso progetto e negoziare un portafoglio ordini condiviso prima che le regole di appalto nazionali e i percorsi di licenza divergano.
- Impegnarsi su un progetto di riferimento e resistere alle richieste di personalizzarlo. Ogni modifica tecnica unilaterale riduce la stan-

dardizzazione che produce i risparmi di flotta. L'adattamento italiano dovrebbe limitarsi a quanto strettamente richiesto dalle condizioni di sito e di rete, non a preferenze di progetto.

- Scegliere la taglia dell'unità come decisione tecnica e strategica dell'utility, non come preferenza politica. L'Italia dovrebbe valutare le proprie effettive condizioni di sito e di rete e le varie necessità dei molteplici end-users industriali, piuttosto che optare per la taglia più discussa politicamente.

12.3 Prontezza regolatoria

- Non attendere né aspettarsi una licenza UE unica. Un regolatore nucleare centralizzato a livello UE è giudicato irrealistico, sia dal punto di vista istituzionale sia politico, nel breve termine, e non è necessario perché l'effetto di flotta funzioni. La futura Autorità di Sicurezza Nazionale italiana (Sezione 5) dovrebbe pianificare il proprio percorso assumendo che la concessione delle licenze resti una prerogativa sovrana del singolo Paese.
- Richiedere il prima possibile lo status di osservatore e una revisione congiunta anticipata sul progetto scelto. La cooperazione strutturata – ad esempio affiancare la valutazione di progetto generico (Generic Design Assessment) di un altro regolatore, Joint Early Review, riutilizzo delle valutazioni tecniche – offre la maggior parte dell'efficienza ottenibile senza richiedere un'armonizzazione legale. Prima l'Autorità italiana si unisce a questo processo, minore sarà il lavoro di valutazione duplicato che dovrà svolgere in seguito.
- Dotare esplicitamente il regolatore delle risorse per questo lavoro. Il riutilizzo e la revisione congiunta anticipano lo sforzo regolatorio in cambio di risparmi successivi: sottofinanziare l'Autorità in questa

fase – anche rispetto all'obiettivo dei 200-300 addetti indicato, in prospettiva, nella Sezione 5 – mina l'intera strategia.

12.4 Filiera e forza lavoro

- Non attendere di costruire una filiera nazionale prima di iniziare. Attingere fin dal primo progetto ai fornitori nazionali già qualificati e attivi nel settore nucleare e, ove necessario, a fornitori qualificati operanti altrove nell'UE, costruendo, allo stesso tempo, le condizioni per le quali la filiera italiana maturi in sequenza (v. Sezione 7), partecipando all'apprendimento condiviso della flotta.
- Aspettarsi – e pianificare per – un problema di "uovo e gallina" sulla forza lavoro. Le imprese non investiranno in capacità formativa di livello nucleare senza una *pipeline* di ordini visibile e credibile, ma la credibilità della *pipeline* dipende in parte dall'esistenza già di una forza lavoro formata. L'impegno del governo sulla *pipeline* (Sezione 12.2) è la precondizione per sbloccare l'investimento privato nella formazione, non il contrario.
- Perseguire una formazione congiunta e transfrontaliera. Curricula universitari condivisi, qualifiche e programmi transfrontalieri di apprendistato o certificazione per i mestieri di livello nucleare (saldatori, elettricisti, ruoli artigianali specialistici) distribuiscono costi e tempi, e sono utili anche per l'Italia rispetto alla costruzione di un sistema formativo interamente nazionale per una flotta modesta.
- Pianificare filiera e forza lavoro sull'intero ciclo di vita dell'impianto. Includere esercizio e manutenzione, fornitura del combustibile, *decommissioning* e gestione dei rifiuti nella pianificazione iniziale della forza lavoro e dei fornitori – non solo la costruzione.

12.5 Finanziamento e allocazione del rischio

- La struttura di finanziamento, non la tecnologia, è di norma la leva più importante sul costo. I vari studi condotti, inclusi quelli riguardanti gli SMR, indicano che il costo del capitale e gli interessi durante la costruzione sono i due fattori dominanti del costo livellato dell'elettricità (LCOE), molto più di O&M, combustibile o *decommissioning.* L'Italia dovrebbe trattare la definizione del finanziamento come una decisione strategica di primo ordine, non come un ripensamento successivo alla scelta della tecnologia.
- Indirizzare il sostegno pubblico verso i rischi che il mercato non può gestire. L'incertezza regolatoria e l'instabilità dei ricavi della prima flotta sono obiettivi appropriati per strumenti pubblici (CfD, RAB, prestiti garantiti dallo Stato, co-investimento pubblico, prestiti di tipo BEI). La gestione della costruzione, il controllo qualità e la disciplina sui tempi dovrebbero invece restare soggetti a incentivi di prestazione e pagamenti basati su milestone.
- Ricorrere a un *Contract for Difference* (CfD) bidirezionale o strumento equivalente. Sta diventando lo strumento standard UE di sostegno al nucleare, obbligatorio dalla metà del 2027 per gli schemi ammissibili secondo le regole UE sul disegno di mercato. Il prezzo di esercizio e la durata del contratto saranno vincolati al minimo necessario per colmare il *gap* di finanziamento, e l'approvazione stessa è un processo pluriennale, da considerare fin da ora nella tempistica del programma italiano.
- Concentrare il sostegno sulle prime unità e ridurlo gradualmente man mano che il programma matura. Poiché le prime unità acquistano l'apprendimento della flotta, meritano un prezzo di esercizio

più alto, una durata contrattuale più lunga, una quota di debito garantito maggiore, o una maggiore partecipazione azionaria pubblica rispetto alle unità successive. Questo dovrebbe essere incorporato nel pacchetto di finanziamento fin dall'inizio, anziché rinegoziato unità per unità.

- Sostenere gli strumenti di finanziamento a livello UE, poiché gli attuali strumenti presentano lacune specifiche. Una garanzia UE sul debito rappresenta la singola leva più efficace per comprimere i costi di finanziamento, ma nessuno strumento UE copre attualmente il debito in fase di costruzione per il nucleare su scala di flotta (InvestEU esclude oggi gli investimenti in costruzione nucleare e nel ciclo del combustibile; il tetto di prestito europeo – 200 milioni di Euro - è troppo basso per una diffusione su scala di flotta). L'Italia dovrebbe coordinarsi con i paesi partner per sostenere collettivamente l'innalzamento del tetto di prestito europeo e per includere il nucleare in InvestEU.
- Valutare di proporre, o di aderire a, un meccanismo europeo condiviso per la prima serie di unità (*first fleet*) di riferimento. Una struttura di condivisione del rischio per una *First Fleet* SMR condivisa – assegnata in modo competitivo, finanziata e sostenuta da più Stati membri partecipanti e dall'industria – ridurrebbe la penalità finanziaria e politica di essere il primo paese ospitante, senza predeterminare un vincitore tecnologico permanente. L'Italia, priva oggi di reattori in esercizio, è un candidato naturale a proporre o aderire a un simile meccanismo.
- Non cercare un vantaggio penalizzando altre tecnologie a basse emissioni (cfr. Sezione 8): un trattamento punitivo delle rinnovabili

rischia di alienare le stesse utility la cui cooperazione è necessaria al programma nucleare. L'approccio più solido consiste nel cercare parità degli strumenti di sostegno tra nucleare e rinnovabili.

12.6 Governance e sequenziamento

- Sequenziare la costruzione con i paesi partner anziché costruire simultaneamente. Quando più paesi si impegnano sullo stesso progetto, scaglionare le tempistiche di costruzione consente alla manodopera specializzata ed ai team specialistici di spostarsi tra i progetti, invece che ogni paese competa contemporaneamente per gli stessi *professionals* e gli stessi componenti.
- Cooperare attivamente coi partner invece che competere. Un'Italia che si unisce a una *pipeline* dovrebbe aspettarsi sia di attingere sia di contribuire a capacità condivise di componenti e forza lavoro, invece che gestire il proprio progetto come completamente autosufficiente.
- Verificare i vincoli di trasporto e logistica prima di impegnarsi su una taglia di modulo o un sito. La logistica dei componenti pesanti dipende dall'infrastruttura portuale, fluviale e ferroviaria esistente tanto quanto dalla capacità manifatturiera. L'accessibilità di trasporto di un sito dovrebbe essere valutata come parte della decisione di selezione del sito e di taglia del modulo, non trattata come un dettaglio ingegneristico a valle.

12.7 Sintesi: la logica di sequenziamento per l'Italia

La standardizzazione e la localizzazione sono due esigenze che

devono essere ben equilibrate: spingere sulla localizzazione prima che un progetto sia collaudato e una *pipeline* sia credibile mina entrambi gli obiettivi. Per l'Italia, l'ordine delle operazioni dovrebbe essere:

- Decidere lo scopo d'uso degli SMR e scegliere un progetto che stia già guadagnando trazione multinazionale (Sezione 12.1).
- Unirsi a – o contribuire a - costruire la prima serie di SMR selezionato(i) fino alla scala di flotta (5-8 GWe) con paesi partner (Sezione 12.2).
- Perseguire in parallelo la cooperazione regolatoria e la revisione congiunta su quel progetto, dotando l'Autorità di Sicurezza Nazionale delle risorse necessarie (Sezione 12.3).
- Attingere fin dal primo progetto alla filiera e alla forza lavoro condivise a livello UE, facendo crescere la filiera italiana (Sezione 7) in tale contesto e non in sequenza (Sezione 12.4).
- Progettare il finanziamento a livello di programma, non di singolo impianto, con l'assunzione di rischio pubblico mirato con precisione e concentrato sulle prime unità (Sezione 12.5).
- Far crescere il contenuto nazionale in modo progressivo man mano che la *pipeline* matura (Sezione 12.6).

Nessuno di questi passaggi può essere completato unilateralmente da un fornitore, una utility o un'associazione di settore. Sono questi principalmente compiti per i governi nazionali che agiscono in coordinamento con la Commissione Europea e gli altri Stati membri – un principio che AIN ritiene pienamente applicabile alla fase attuativa del programma nucleare italiano descritta nelle sezioni seguenti.

13. Roadmap e priorità di azione

Il tema del Piano nucleare è all'attenzione del Parlamento dal maggio 2023, quando una mozione parlamentare fu approvata a larga maggioranza; dopo l'approvazione della Camera, il disegno di legge è stato approvato definitivamente dal Senato il 23 settembre 2026. Si apre ora la fase attuativa della delega, che dovrà tradurre rapidamente gli indirizzi legislativi in un quadro regolatorio e industriale operativo, anche valorizzando, ove possibile, le filiere nazionali ed europee, in vista dell'avvio dell'implementazione del programma.

13.1 Tappe principali

- Presa d'atto dell'approvazione definitiva del disegno di legge da parte del Senato il 23 settembre 2026 e tempestivo avvio della fase attuativa.
- Definizione dei decreti attuativi entro la fine dell'anno e loro approvazione entro la primavera del 2027.
- Costituzione e piena operatività dell'Autorità di Sicurezza Nazionale entro la metà del 2027.
- Definizione degli obiettivi strategici di sistema Paese, da tenere in conto da parte dei soggetti attuatori insieme ai propri specifici obiettivi industriali.
- Avvio dell'implementazione del programma industriale nel 2027.
- Avvio dei negoziati con i paesi partner europei per l'aggregazione della domanda SMR e la richiesta di status di osservatore regolatorio sul progetto(i) tecnologico(i) prescelto(i) (cfr. Sezione 12).

La rapidità di esecuzione è considerata un fattore critico: senza un programma nucleare chiaro e definito, nessuna utility si avventurerà

nella FID (*Final Investiment Decision*) di un reattore. Le imprese italiane, che attendono da anni, rischiano di esser penalizzate anche nel loro sforzo di partecipazione alle commesse estere qualora non emergano opportunità sul mercato interno a supporto di partenariati strutturali: solo in Europa sono censiti circa cinquanta nuovi progetti nucleari (v. fig. 1), tra Polonia, Francia, Repubblica Ceca, Bulgaria, Svezia, Regno Unito e Ucraina, sui quali le imprese italiane si stanno già posizionando. L'Italia rischia anche di rimanere indietro nel *ranking* del portafoglio ordini dei *vendors*.

14. Riferimenti per la sicurezza e gli standard internazionali

Alla fine del percorso, il successo del programma nucleare italiano si misurerà sull'effettiva implementazione dei più alti criteri di sicurezza e delle migliori pratiche internazionali, evitando di sperimentare percorsi inediti che comporterebbero il rischio di ritardi e costi elevati. Il riferimento è agli standard e alle raccomandazioni dell'International *Atomic Energy Agency* (IAEA), alle *best practice* della *Nuclear Energy Agency* (NEA) e alla corretta implementazione delle direttive Euratom, insieme alle esperienze operative internazionali di maggior successo.

15 Conclusioni e impegni

AIN ritiene che il traguardo di una produzione nucleare italiana entro un orizzonte di dieci anni sia raggiungibile, a condizione che il quadro

legislativo e regolatorio venga completato rapidamente e che alla governance industriale si affianchi un'altrettanto efficace governance istituzionale, unitamente a un'adeguata Autorità di sicurezza indipendente. A tal fine AIN raccomanda l'istituzione di una cabina di regia per lo sviluppo organico e tempestivo delle varie infrastrutture materiali e immateriali (v. fig. 2).

Il processo è ben avviato: l'impegno delle imprese e delle istituzioni deve ora tradursi in un'azione coordinata e senza esitazioni, secondo le seguenti linee di impegno:

- **Istituzioni:** completare rapidamente l'iter legislativo e i decreti attuativi, costituire l'Autorità di Sicurezza Nazionale, definire gli obiettivi strategici di sistema Paese, costituire una cabina di regia che coordini in maniera integrata tutte le infrastrutture Paese, materiali e immateriali.
- **Imprese:** consolidare la qualificazione industriale e la *nuclear safety culture*, rafforzare la partecipazione ai consorzi e ai programmi internazionali, investire per tempo in capacità produttiva, processi speciali e competenze critiche e sostenere la crescita della filiera verso l'obiettivo di 400-500 imprese, preservando al contempo il ruolo delle aziende italiane già qualificate e attive sui mercati nucleari internazionali.
- **Associazione Italiana Nucleare:** proseguire l'azione di comunicazione, rappresentanza e supporto alla integrazione di sistema, sia nei confronti di Nuclitalia sia di altri possibili soggetti interessati a costruire ed esercire reattori nucleari in Italia e in raccordo con le istituzioni, per massimizzare la partecipazione industriale italiana e accelerare i tempi di attuazione del programma. Proseguire

nell'azione di ampliamento delle possibilità dell'industria italiana per l'acquisizione di commesse all'estero.

- **Tutti gli attori:** adottare la logica di *pipeline* multinazionale descritta nella Sezione 12 come criterio guida per le scelte tecnologiche, regolatorie, industriali e finanziarie dei prossimi anni, evitando di trattare il programma SMR italiano come un percorso isolato dal contesto europeo.

Il programma nucleare italiano rappresenta un'occasione strategica per la sicurezza energetica, la competitività industriale e lo sviluppo occupazionale del Paese. AIN conferma il proprio impegno a favore di un'attuazione rapida, sicura e industrialmente efficace di tale programma.

***

ASSOCIAZIONE ITALIANA NUCLEARE

Il rilancio dell'energia nucleare in Italia

Infrastrutture, governance, tecnologia e filiera industriale per un nuovo settore strategico nazionale

APPENDICE

Il contributo atteso dalla Fusione

Lungotevere Thaon di Revel, 76
00196 Roma

info@associazioneitaliananucleare.it
www.associazioneitaliananucleare.it

A.1 L'interesse strategico dell'Italia per la fusione

L'Italia considera la fusione nucleare un settore strategico per la sicurezza energetica, la competitività industriale e lo sviluppo scientifico nazionale. Tale interesse si basa sulle competenze maturate da ENEA, CNR, INFN, università e industria italiana, che da decenni partecipano ai principali programmi internazionali sulla fusione. Il Paese è tra i maggiori contributori europei al programma EURATOM/EUROfusion e al progetto ITER, nel quale ricopre ruoli di rilievo nello sviluppo di componenti avanzati, sistemi di riscaldamento del plasma e tecnologie reattoristiche. A Padova, il Consorzio RFX ospita SPIDER e MITICA, dedicati allo sviluppo dei sistemi di riscaldamento a fasci neutri per ITER.

L'Italia partecipa attivamente alle iniziative del *Broader Approach* con il Giappone, contribuendo a IFMIF, JT-60SA e IFERC, nonché al progetto europeo correlato DONES, e sta rafforzando la propria posizione attraverso infrastrutture strategiche come il *Divertor Tokamak Test* (DTT) di Frascati. Decine di ricercatori italiani operano inoltre presso ITER, *Fusion for Energy* ed EUROfusion.

Accanto alla ricerca pubblica, si registra un crescente coinvolgimento industriale e privato. Il caso più significativo è la partecipazione di ENI in *Commonwealth Fusion Systems*, sviluppatrice del progetto SPARC, uno dei più promettenti dimostratori privati di fusione magnetica, che è attualmente in costruzione presso il sito di Devens (Boston – USA) e previsto in completamento nel prossimo anno, al quale potrà far seguito un primo impianto commerciale (ARC).

Lungotevere Thaon di Revel, 76
00196 Roma

info@associazioneitalianaanucleare.it
www.associazioneitalianaanucleare.it

In coerenza con gli indirizzi del Piano Nazionale per un Nucleare Sostenibile (PNNS), la fusione è vista come un'opportunità di lungo termine per garantire autonomia tecnologica, sviluppo di competenze ad alta qualificazione, leadership industriale e contributo alla decarbonizzazione del sistema energetico nazionale.

A.2 Capacità della filiera industriale nazionale

L'Italia dispone già di una filiera industriale della fusione con competenze distintive e referenze internazionali consolidate. L'esperienza acquisita nelle forniture per ITER, con commesse dell'ordine dei 2 miliardi di euro, costituisce un patrimonio tecnologico e produttivo di valore strategico, da valorizzare nel percorso verso l'industrializzazione dell'energia da fusione.

Tra i principali operatori figurano, oltre alla già citata ENI: ASG Superconductors, Ansaldo Nucleare, ATB Riva Calzoni, Fincantieri SI, SIMIC, Walter Tosto e Westinghouse Electric Italy (già Mangiarotti), affiancati da imprese specializzate quali Criotec, Nidec ASI, OCEM e Tratos e da una rete di PMI ad alta qualificazione. Le competenze comprendono la progettazione e la realizzazione di magneti e cavi superconduttori, sistemi criogenici, camere da vuoto, componenti del divertore, elettronica di potenza e sistemi per il riscaldamento del plasma, nonché lavorazioni e saldature specialistiche, integrazione e assemblaggi di precisione. Si tratta di capacità sviluppate attraverso la realizzazione di componenti complessi, soggetti a rigorosi requisiti tecnici e qualitativi.

L'esperienza maturata nel progetto ITER ha consentito alla filiera

Lungotevere Thaon di Revel, 76
00196 Roma

info@associazioneitaliananucleare.it
www.associazioneitaliananucleare.it

industriale italiana di affermarsi con successo anche nei programmi internazionali di fusione promossi da operatori privati. Le competenze tecnologiche, le capacità produttive e l'affidabilità dimostrate nelle forniture per ITER si sono tradotte in nuove commesse e collaborazioni industriali, anche nell'ambito dei progetti SPARC, JT-60SA e DTT di Frascati. Questi risultati testimoniano la capacità delle imprese italiane di valorizzare il patrimonio sviluppato nei grandi programmi pubblici di ricerca, contribuendo all'industrializzazione delle tecnologie e al percorso verso la commercializzazione dell'energia da fusione.

La presenza industriale italiana si estende anche ai programmi privati europei: ENI, SIMIC, Walter Tosto e De Pretto Industrie partecipano all'Alpha Alliance promossa da Proxima Fusion per lo sviluppo del dimostratore Alpha, basato sulla tecnologia stellarator. Queste collaborazioni testimoniano il coinvolgimento dell'industria italiana in differenti percorsi tecnologici verso la fusione.

AIN ritiene quindi prioritario consolidare, ampliare e completare una filiera già operativa, sostenendo la qualificazione di nuovi fornitori, gli investimenti produttivi, la formazione specialistica e la partecipazione ai programmi internazionali. Una programmazione pubblica pluriennale, coordinata con ricerca e industria, e accompagnata dal coinvolgimento delle imprese sin dalle prime fasi di progettazione, può rafforzare il ruolo dell'Italia non soltanto come fornitore di componenti, ma come partner nello sviluppo e nell'industrializzazione dei futuri impianti a fusione.

A.3 Aspetti critici e tempistiche attese

I progressi ottenuti negli ultimi decenni nella comprensione teorica dei processi fisici che avvengono nei plasmi termonucleari, nello sviluppo delle tecnologie necessarie e degli strumenti numerici analitico-predittivi, e il grande impegno posto negli esperimenti, hanno portato la fusione ad un grado di maturità tecnologica vicino alla validazione in ambito sperimentale. Nella fusione a confinamento magnetico sono stati condotti esperimenti in cui il processo di fusione è stato ottenuto e controllato in condizioni vicino al breakeven (produzione netta di energia nella reazione di fusione) per tempi relativamente lunghi, e nella fusione inerziale il breakeven è stato raggiunto per la singola reazione.

La ricerca si concentra adesso sull'ottenimento di regimi di fusione a valori elevati di guadagno di potenza, e nel completamento dello sviluppo delle tecnologie necessarie per operare un impianto di potenza in modo continuo.

Per rendere questo possibile, occorre trovare soluzione ad alcuni punti critici. La comunità internazionale ritiene che tali punti possano sintetizzarsi come segue:

- Confinamento stabile del plasma ad altissime temperature (circa 10 volte maggiori di quelle al centro del sole).
- Danneggiamento dei materiali strutturali soggetti a elevatissime fluenze di neutroni (n/cm2) di energia più di 10 volte superiore a quella dei neutroni in un reattore a fissione.
- Rimozione di flussi di potenza termica molto concentrata (MW/m2): in particolare l'impianto DTT in costruzione a Frascati sperimenterà

soluzioni per lo smaltimento della potenza direzionata sul divertore;
- Produzione (*Breeding*) del trizio e sua gestione;
- Sviluppo di materiali a bassa attivazione per ridurre la quantità e la radioattività dei materiali soggetti ad alto flusso neutronico; conseguente manipolazione robotizzata e manutenzione di componenti attivati;

Risolte queste criticità tecnologiche, sarà comunque necessario affrontare la sfida del mercato, mettendo a punto progetti che assicurino fattori di carico significativi e costi capitali gestibili dagli operatori industriali, ed in ultima analisi costi di produzione dell'energia competitivi con le altre fonti (tenendo in debito conto i vantaggi di carattere generale che la fusione comporta). A questo scopo sarà essenziale:

- Disporre di codes&standards per progettazione, test e costruzione di componenti e sistemi tipici per la fusione;
- Definire i requisiti imposti dal futuro operatore di impianto (*Utility requirements*);
- Mettere a punto le infrastrutture di base *"technology neutral"* necessarie per qualsiasi impianto a fusione e relativo ciclo del combustibile (v. IAEA Milestone Approach adattato al caso fusione).

L'accelerazione che oggi si registra su molte di queste criticità, grazie anche al fiorire di iniziative private che vanno ad aggiungersi alla ricerca pubblica, portano a prospettare un'anticipazione ad inizio anni '30 della realizzazione dei primi dimostratori industriali, con successiva commercializzazione della tecnologia così da rendere plausibile lo scenario del PNIEC che prevede un primo contributo dalla fusione anche in Italia entro il 2050.

A.4 Approccio normativo specifico

I recenti sviluppi nella tecnologia hanno evidenziato l'opportunità di definire al più presto un processo autorizzativo e un quadro normativo adeguati alla protezione dei lavoratori, della popolazione e dell'ambiente, armonizzati a livello internazionale per una diffusione rapida e sostenibile dei futuri impianti a fusione.

Partendo dalle specificità della tecnologia degli impianti a fusione, si evidenzia da più parti come necessario un inquadramento normativo commisurato agli specifici livelli di rischio. L'Agenzia Internazionale per l'Energia Atomica (IAEA) ha avviato uno studio interdisciplinare all'interno dell'*International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles* (INPRO) riguardo agli aspetti legali ed istituzionali per l'impiego di impianti a fusione.

Nel panorama internazionale alcuni paesi si stanno muovendo per adeguare il proprio quadro normativo alla futura implementazione di reattori a fusione. In questo contesto, Stati Uniti e Regno Unito rappresentano importanti *benchmark* internazionali, avendo adottato approcci regolatori specifici e proporzionati ai rischi della fusione, distinti da quelli applicabili alla fissione: negli USA, la NRC ha ricondotto le macchine da fusione al *framework* dei *by product materials*, utilizzato per gli acceleratori di particelle, approccio successivamente recepito a livello legislativo dall'ADVANCE Act del 2024; nel Regno Unito, l'Energy Act 2023 ha espressamente escluso gli impianti a fusione dal regime di *nuclear site licensing* previsto per gli impianti a fissione e ha stabilito di attribuire l'autorità per il controllo del settore Fusione non all'*Office for Nuclear Regulation*, bensì ai soggetti di

Lungotevere Thaon di Revel, 76
00196 Roma

info@associazioneitaliananucleare.it
www.associazioneitaliananucleare.it

Health and Safety Executive (HSE) e all'*Environmental Authority* (EA), gli stessi che regolamentano gli acceleratori di particelle. Tali esperienze costituiscono quindi utili riferimenti per la definizione di un quadro normativo chiaro e favorevole allo sviluppo e alla futura commercializzazione della fusione.

Infine, a livello europeo, ENSREG ha istituito nel 2026 una *Task Force* dedicata alla fusione, con l'obiettivo di formulare raccomandazioni per un approccio europeo armonizzato e proporzionato al rischio per la regolamentazione dell'energia da fusione.

Adottare un approccio regolatorio armonizzato a livello internazionale sarà quindi fondamentale per rafforzare l'attrattività del Paese per gli investimenti di imprese e tecnologie anche estere, creando le condizioni per essere tra i primi ad adottare una tecnologia dal significativo potenziale di innovazione, nonché per tutelare la competitività dell'industria italiana, sostenendo la capacità della filiera nazionale di esportare tecnologie e componentistica, facendo leva sul posizionamento già acquisito.

Lungotevere Thaon di Revel, 76
00196 Roma

info@associazioneitalianananucleare.it
www.associazioneitalianananucleare.it

A.5 Fusione o fissione?

Contrapporre fonti di energia è sempre un errore, l'esperienza di questi anni insegna che per far fronte alle sfide energetiche del futuro bisognerà ricorrere a svariate fonti, diversamente adatte a risolvere i molteplici problemi connessi con la sostenibilità, con la sicurezza, con l'economicità.

A ciò si aggiunge la dimensione temporale con la quale ciascuna tecnologia potrà offrire un proprio contributo. Nel caso della fusione e di tutte le tecnologie per generazione di energia, gli obiettivi di decarbonizzazione al 2050, nonché l'urgenza per l'Europa di diminuire la sua dipendenza dall'estero per l'approvvigionamento energetico non sono compatibili con un approccio esclusivo rispetto ad altre tecnologie, come la fissione.

Peraltro, le sinergie tecnologiche che comunque esistono tra impianti a fissione e futuri impianti a fusione consentono di promuovere uno sviluppo coordinato, ciascuno con i propri tempi: buona dimostrazione ne è la significativa partecipazione delle industrie italiane alla realizzazione di ITER, che nell'ultimo decennio ha rappresentato la più significativa palestra per le nostre imprese per aggiornare le proprie competenze e le proprie capacità in campo nucleare, aprendo così opportunità anche nelle nuove iniziative oggi in corso da parte del settore privato.

###

Lungotevere Thaon di Revel, 76
00196 Roma

info@associazioneitalianananucleare.it
www.associazioneitalianananucleare.it