

Prof. Aurelio Angelini, Sociologo dell’Ambiente e del territorio, già professore ordinario, università di Palermo.

Audizione alle Commissioni riunite VIII e X della Camera dei deputati sul disegno di legge delega sul nucleare

Con il Disegno di Legge 2669, presentato dal presidente del Consiglio dei Ministri (Meloni) e dal Ministro dell’Ambiente e della Sicurezza Energetica (Pichetto Fratin), delega al Governo in materia di energia nucleare sostenibile, si punta ad “archiviare” i referendum popolari del 1987 e 2011. Per due volte consecutive il voto dei cittadini ha indirizzato le scelte di governo verso tecnologie energetiche meno rischiose e più sostenibili sia sul piano ambientale che economico. Da quei due pronunciamenti popolari è nato – col primo – la chiusura delle centrali a carbone a favore del gas e – con il secondo – lo sviluppo delle energie rinnovabili. Tali consultazioni hanno assunto un ruolo strutturale nel definire l’identità energetica del Paese. Il rilancio del “nuovo nucleare” sollecita un’analisi articolata, che va dal diritto costituzionale alle scienze dell’ambiente, dalle politiche energetiche alla governance del rischio tecnologico.

Il dibattito sul nucleare in Italia si riattiva ciclicamente, spesso in connessione con shock energetici o con la necessità di perseguire obiettivi climatici ambiziosi. Il ddl delega proposto si inserisce in questo contesto, segnando un cambio di prospettiva rispetto all’indirizzo espresso dal corpo elettorale nei referendum del 1987 e del 2011, nei quali era stata esclusa la presenza del nucleare nel mix energetico nazionale. Pur non essendo giuridicamente vincolanti in senso permanente, tali consultazioni hanno assunto un ruolo strutturale nel definire l’identità energetica del Paese. La loro riapertura sollecita un’analisi articolata, che va dal diritto costituzionale alle scienze sociali e dell’ambiente, dalle politiche energetiche alla governance del rischio tecnologico e all’autonomia energetica. È utile richiamarli e analizzarli, pur brevemente.

Struttura normativa e finalità del disegno di legge

Il Disegno di legge istituisce un Programma nazionale per lo sviluppo dell’energia nucleare sostenibile, concettualmente fondato su tre obiettivi: decarbonizzazione, sicurezza energetica e competitività del sistema Paese. La delega attribuita al Governo comprende: autorizzazione alla costruzione e gestione di impianti di fissione di nuova generazione (III+ e IV gen.), SMR (Small Modular Reactor) e AMR (Advanced Modular Reactor) disciplina del ciclo del combustibile, incluse le operazioni di riprocessamento e lo smaltimento definitivo; creazione di strumenti di garanzia finanziaria e di possibili incentivi economici; procedure autorizzative accentrate e semplificate presso il Mase (ministero per l’Ambiente e la Sostenibilità energetica); qualificazione degli impianti come opere di pubblica utilità, urgenti e indifferibili. L’ampiezza della delega — che consente la riscrittura dell’intera normativa nucleare — configura un potenziale mutamento strutturale dell’indirizzo energetico nazionale.

Il rischio nucleare e la prospettiva del principio di precauzione

La letteratura sui low-probability/high-impact events colloca il rischio nucleare in una categoria peculiare: eventi rari ma catastrofici, le cui conseguenze superano la capacità di intervento tecnologico e politico. Ciò sollecita l’applicazione del principio di precauzione, cardine del diritto ambientale europeo e implicitamente richiamato dagli artt. 9, 32 e 41 della Costituzione. La qualificazione governativa del nucleare di nuova generazione come “non comparabile” con quello del passato ridimensiona i rischi, ma non li elimina. Il rischio residuo rimane, per definizione, non eliminabile, e ciò differenzia sostanzialmente la sostenibilità della tecnologia nucleare dalle fonti rinnovabili.

Scorie radioattive e sostenibilità intergenerazionale

Nonostante il riferimento a tecnologie di riprocessamento e a reattori capaci di “chiudere il ciclo”, la questione delle scorie alta-attività non trova soluzione definitiva. La loro gestione comporta: potenziale pericolosità per tempi superiori a mille anni che dovrebbero gestirle; assenza, in Italia, del Deposito nazionale per i rifiuti esistenti, nessuna regione finora ha voluto indicare un sito; accumulo di responsabilità verso generazioni future prive di rappresentanza politica. Questo contrasta con la versione aggiornata dell’art. 9 Cost., che tutela ambiente ed ecosistemi nell’interesse delle generazioni future.

Tempi e costi: un’analisi comparativa

Gli studi dell’Agenzia Internazionale per l’Energia mostrano che: i tempi medi di realizzazione per nuove centrali superano il decennio; i costi di costruzione e smantellamento sono soggetti a forti incertezze; il nucleare richiede significative garanzie pubbliche, difficilmente compatibili con i vincoli di bilancio. Gli stessi anni hanno visto la rapida diffusione delle fonti rinnovabili e un incremento dell’efficienza degli accumuli, riducendo ulteriormente la competitività economica del nucleare.

Governance e ruolo dei territori

La procedura autorizzativa centralizzata prevista dal Ddl limita la partecipazione degli enti territoriali, nonostante la natura ambientale e territoriale della materia richieda un modello di governance multilivello. Questo crea una potenziale frattura con principi consolidati di leale collaborazione (art. 117 Cost.) e con la giurisprudenza costituzionale.

Profili costituzionali: referendum, valori fondamentali e limiti impliciti

I referendum del 1987 e del 2011 hanno eliminato specifiche norme, non un divieto astratto al nucleare. Tuttavia, essi rappresentano: una manifestazione inequivocabile della volontà popolare; un elemento interpretativo della direzione politica del Paese; un vincolo “simil-costituzionale” nella definizione delle politiche energetiche. Reintrodurre il nucleare può essere considerato politicamente e costituzionalmente problematico, sebbene non formalmente illecito. Difatti, l’articolo 1 della Costituzione stabilisce la sovranità popolare come indirizzo sostanziale, pur mediata dalle istituzioni rappresentative, non può essere disattesa in modo radicale. La riapertura del nucleare rappresenta un mutamento dell’identità energetica nazionale che inciderebbe su due pronunciamenti diretti del corpo elettorale.

Art. 9, 32 e 41 della Costituzione su ambiente, salute, impresa e precauzione

La riforma del 2022 ha ampliato la portata dell’art. 9, includendo la tutela dell’ambiente, degli ecosistemi, della biodiversità e del benessere come obiettivo delle politiche sanitarie, nell’interesse delle future generazioni. Inoltre, le attività economiche devono svolgersi nei limiti dell’utilità sociale, dignità umana, salute e ambiente. L’adozione del nucleare deve quindi essere valutata con un criterio di massima tutela possibile. Le alternative oggi disponibili — rinnovabili e accumulo — riducono la giustificabilità del rischio nucleare.

Sostenibilità finanziaria

L’onerosità dei progetti nucleari solleva dubbi sulla coerenza con i vincoli di finanza pubblica e con il principio di buon andamento dell’amministrazione, specialmente in assenza di una valutazione dettagliata dei costi complessivi e del rischio di cost overrun. Inoltre, il disegno di legge riduce l’autonomia regionale in un ambito che coinvolge competenze concorrenti (ambiente, energia, governo del territorio). Questo potrebbe aprire contenziosi di tipo costituzionale.

Il confronto con le rinnovabili

Le fonti rinnovabili hanno raggiunto livelli di efficienza e affidabilità tali da: garantire una significativa penetrazione nel mix elettrico; ridurre i costi di produzione in modo strutturale; essere integrate con sistemi di accumulo in continua evoluzione; favorire modelli decentralizzati e partecipativi di generazione. Il confronto con il nucleare, pertanto, non riguarda solo gli aspetti tecnici, ma anche la filosofia della transizione energetica: centralizzata *versus* distribuita, ad alto rischio *versus* rischio contenuto, intensiva in capitale *versus* modulare.

Stime comparative

Costi indicativi (€/MWh, valori reali o stimati 2023–2025)		
Tecnologia	grandezza €/MWh	Stato reale
SMR (PWR tipo NuScale / AP300 / NuWard)	~100–180+ €/MWh	Nessun impianto commerciale operativo in Occidente; primo progetto NuScale cancellato per costi
Grandi reattori Gen III+ (EPR / AP1000)	~110–180+ €/MWh	Pochi impianti completati, forti ritardi e sforamenti di budget
Eolico onshore	~30–60 €/MWh	Maturo e largamente installato
Fotovoltaico utility scale	~25–50 €/MWh	Maturo e in rapida crescita
Eolico offshore	~50–90 €/MWh	In espansione

In sintesi, il Ddl del governo Meloni rappresenta un tentativo sistemico e politicamente rilevante di reintrodurre il nucleare nell’ordinamento italiano. Da un punto di vista strettamente giuridico, l’operazione rientra nei margini formali consentiti dal sistema costituzionale, pur muovendosi sul limite interpretativo definito dalla giurisprudenza sui referendum abrogativi. Tuttavia, l’analisi multidisciplinare condotta mostra come: le criticità tecniche (rischio, scorie, costi, tempi) non siano superate dalle tecnologie di “nuova generazione”; il quadro costituzionale, nella sua evoluzione recente, ponga la tutela dell’ambiente e delle generazioni future come criterio dirimente; le alternative rinnovabili offrano oggi soluzioni più rapide, meno rischiose e più coerenti con la sostenibilità economica; l’impianto del Ddl sia in potenziale tensione con la sovranità popolare e con l’assetto delle competenze territoriali. Ne deriva che la reintroduzione del nucleare, così come delineata, appare difficilmente giustificabile sia sul piano dell’efficacia energetica, sia sul piano della coerenza costituzionale. Un mutamento di tale portata richiederebbe un ampio consenso democratico e una valutazione scientifica più approfondita, capace di misurarsi con l’intero spettro delle opzioni disponibili per la transizione energetica. Ed è quello che occorrerà fare in un esteso e capillare dibattito sociale in concomitanza con il dibattito istituzionale.

Impianti di fissione di nuova generazione Stato dell’arte

I 4 reattori francesi EPR, reattore di generazione III+ basati sulla tecnologia ad acqua pressurizzata (PWR) si è riusciti a costruirne solo uno e con grandissimi ritardi a Flamanville: cantiere iniziato nel 2007, l’impianto ha iniziato le operazioni di connessione alla rete solo nel 2026. Lo scorso gennaio la Corte dei conti francese ha certificato un costo complessivo di 23,7 miliardi di euro a fronte di una previsione iniziale di 3,3 e un costo dell’elettricità tra 122 e 176 €/MWh ai valori 2023.

Non è andata meglio negli USA: il “rinascimento” del nucleare fu promosso già dai tempi di Reagan e ripreso da George W. Bush nel 2000: si puntava a una trentina di reattori AP1000 della Toshiba-Westinghouse. Dopo diversi anni ne furono ordinati solo 4. Due di questi furono cancellati per i costi eccessivi che portarono al fallimento l'azienda. Altri due sono stati completati (centrale di Vogtle in Georgia) con costi elevatissimi. Secondo la banca d'affari Lazard, il costo dell'elettricità di questi reattori è di 190 \$/MWh, completamente fuori mercato. Entrambi questi reattori – EPR e AP1000 – rimangono ancora adesso lo “stato dell'arte” della tecnologia nucleare. Del programma dei reattori di IV generazione, programma anch'esso lanciato nel 2000 da Bush, nessuna tecnologia è andata oltre lo stadio prototipale e diverse nemmeno al prototipo.

La verità è che l'industria nucleare è in profonda crisi, specie in occidente. La quota nucleare sulla produzione globale è scesa dal picco del 17,5% a circa il 9% e la produzione complessiva è rimasta pressoché stabile.

I costi delle nuove tecnologie sono sempre stati in crescita e persino per l'EPR, come ha scritto Robert Wright sul Financial Times del 10 febbraio del 2025, i costi sono andati aumentando dal primo costruito in Finlandia a quello di Flamanville e quelli in costruzione nel Regno Unito: una vera e propria “curva di disapprendimento” per esattamente lo stesso tipo di reattore. Invece di imparare dagli errori commessi nei cantieri precedenti, i costi sono continuati a crescere.

Gli SMR: i “piccoli reattori modulari”

Il piano energia e clima del governo Meloni punta sui “piccoli reattori modulari”, (Small Modular Reactors, SMR) e cioè l'idea, vecchia di 30 anni, di fare dei reattori più piccoli da produrre in serie e montare in situ. Siccome i costi dei nuovi impianti sono proibitivi, anziché puntare sulle grandi taglie – l'EPR è il reattore di maggior potenza mai costruito, 1.630 MW netti – l'idea è di ridurre i costi con una produzione in serie.

L'evoluzione delle tecnologie commerciali verso impianti di taglia sempre maggiore è stata guidata dall'obiettivo di ridurre i costi dell'elettricità prodotta con l'economia di scala. Obiettivo fallito, come si è visto. Va però detto subito che gli SMR, dei quali ci sono un'ottantina di progetti sulla carta di diverse tecnologie, ancora non ne esiste neanche uno in nessun Paese occidentale, nemmeno allo stadio di prototipo.

Progetti di SMR furono avviati anche in Italia, come ricorda Giovanbattista Zorzoli, per molti anni docente di Fisica del reattore al Politecnico di Milano. Zorzoli ricorda che si promossero due progetti, uno al Politecnico di Milano (reattore IRIS) e uno alla Sapienza di Roma. Il progetto IRIS “non era solo una invenzione universitaria, perché vi partecipavano diverse imprese, italiane e internazionali, ed è andato avanti per anni con finanziamenti importanti. Alla fine, è stato abbandonato perché si è visto che, malgrado l'idea dell'assemblaggio in fabbrica, con i costi erano proibitivi”. Così, entrambi i progetti furono abbandonati.

Se oggi esistono un'ottantina di progetti diversi allo studio, sono pochissimi i prototipi di SMR funzionanti. Uno in Russia, un reattore di seconda generazione, due di IV generazione in Cina in funzione dal 2021. Entrambi hanno registrato costi tra il triplo e il quadruplo del previsto. Un altro in costruzione da oltre 10 anni in Argentina – il CAREM 5 – un piccolo reattore anche questo basato sulla tecnologia convenzionale ad acqua pressurizzata, ha già registrato costi 7 volte superiori al previsto.

Che un piano governativo pretenda di includere una tecnologia inesistente – gli SMR – per coprire una quota dell'11-20% del fabbisogno elettrico suona come un falso ideologico bello e buono. Se poi si volesse sapere quale volume di SMR occorra perché il costo del kWh diventi economicamente competitivo rispetto al nucleare convenzionale, le stime variano molto e sono dell'ordine di almeno diverse centinaia se non qualche migliaio di SMR. Oggi abbiamo nel mondo 410 reattori commerciali in funzione (al 2025).

Stato reale dei principali progetti SMR

Gli SMR oggi disponibili o in sviluppo non rappresentano una svolta tecnologica: sono reattori PWR più piccoli, finora bloccati da problemi di costo, senza vantaggi chiari su sicurezza e con il serio rischio di produrre molte più scorie per la stessa quantità di elettricità:

Gli SMR (Small Modular Reactors) sono presentati come alternativa ai grandi reattori, ma per sostituire un impianto tipo EPR (~1600 MW) servirebbero almeno 5 reattori da ~300 MW. Quindi non si tratta di “micro-reattori”, bensì di centrali comunque molto grandi, solo spezzettate in più unità.

I progetti oggi considerati “più avanzati” restano tutti basati sulla vecchia tecnologia PWR (reattori ad acqua pressurizzata):

NuWard, promosso da EDF (con partecipazioni industriali europee): il progetto originale da 170 MW è stato abbandonato dopo anni di R&S perché basato su tecnologie non mature; è stato poi ripensato da zero come PWR da circa 400 MW.

AP300, versione ridotta dell’AP1000 sviluppata da Westinghouse Electric Company: proposta anche per vecchi siti nucleari italiani, senza riscontri concreti dal governo.

NuScale, principale startup USA sugli SMR: dopo oltre 16 anni di sviluppo, il primo progetto reale (Utah, 6 moduli da 77 MW) è stato cancellato nel 2023 perché troppo costoso, con costi al kW superiori persino al già problematico AP1000. La società è stata inoltre coinvolta in una class action degli investitori.

Punto chiave: non c’è nulla di “rivoluzionario” in questi SMR. Sono sempre reattori ad acqua pressurizzata, come EPR e AP1000: non sono intrinsecamente sicuri, sono solo più piccoli.

Per ottenere la stessa energia bisogna costruirne molti di più, quindi, il presunto vantaggio in termini di rischio resta tutto da dimostrare.

Le singole unità SMR citate hanno potenze paragonabili o superiori a quelle di alcune vecchie centrali italiane. Per questo, l’idea di installarne uno in una grande città come Milano viene giudicata priva di logica tecnica.

SMR vs grandi reattori nucleari (Generazione III+)

Voce	SMR (Small Modular Reactors)	Grandi reattori (EPR / AP1000)
Taglia tipica	70–400 MW per modulo	1100–1650 MW per singola unità
Tecnologia	Quasi sempre PWR (acqua pressurizzata)	PWR (acqua pressurizzata)
Novità tecnologica	Molto limitata: stessi principi dei grandi reattori	Idem
“Sicurezza intrinseca”	✗ No (solo sistemi di sicurezza passivi aggiuntivi)	✗ No
Numero di unità per eguagliare 1 EPR	~4–6 SMR	1 solo reattore
Stato reale dei progetti	Nessun impianto commerciale operativo in Occidente; primi progetti cancellati per costi	Pochi impianti completati, con forti ritardi e sforamenti di budget
Costi stimati	Finora al kW più alti del previsto; in alcuni casi superiori ai grandi reattori	Molto elevati, con storici extra-costi
Tempi di realizzazione	Ancora teorici; nessuna dimostrazione industriale	Molto lunghi (10–17 anni reali)
Produzione di scorie (a parità di energia)	Da ~2× fino a ~30× in più (secondo studi USA)	Inferiore rispetto agli SMR
Scalabilità reale	Problematica: servono molti moduli	Centralizzata, ma con grandi investimenti iniziali
Promessa principale	Produzione in fabbrica + modularità	Economia di scala
Risultato finora	Promesse non dimostrate	Costruzioni lente e molto costose

I reattori avanzati

I “reattori avanzati” vengono riproposti ciclicamente da decenni, ma non hanno mai prodotto uno standard industriale né ridotto i costi; il sostegno pubblico ai reattori veloci al piombo appare come una scommessa ad alto rischio, che riecheggia fallimenti passati (Superphénix, ASTRID) più che una soluzione energetica concreta a breve–medio termine.

Gli SMR non sono più convenienti

Gli SMR non risultano oggi più economici dei grandi reattori, anzi: il progetto di NuScale Power è stato cancellato proprio perché il costo al kW superava quello dell'AP1000.

- I grandi reattori (come quelli sviluppati da Westinghouse Electric Company e EDF) mostrano storicamente tempi lunghissimi e costi molto alti.
- Le rinnovabili risultano nettamente più economiche e rapide da installare.

Timeline rapida degli SMR (anni 2000 → oggi)

Inizio anni 2000, nasce l'idea degli SMR moderni: piccoli reattori PWR modulari, prodotti in fabbrica per ridurre costi e tempi.

2005–2015, partono grandi programmi concettuali (IRIS, NuScale, NuWard).

Molti studi universitari + consorzi industriali ma nessuna costruzione reale.

2016–2022, NuScale ottiene approvazioni regolatorie preliminari negli USA.

EDF lancia NuWard in Europa. Westinghouse presenta AP300.

Le promesse principali: modularità; cantieri rapidi; costi più bassi

2023, NuScale abbandona il primo progetto commerciale (Utah) per eccesso di costo. Partono azioni legali degli investitori.

2024–2025, NuWard viene ripensato da zero (da 170 MW a ~400 MW).

AP300 resta su carta. Nessun SMR occidentale entra in esercizio commerciale.

Dopo oltre 20 anni, gli SMR restano prototipi progettuali, non una filiera industriale.

Gli SMR non sono una nuova tecnologia: sono PWR più piccoli.

Non hanno ancora dimostrato: riduzione dei costi; rapidità di costruzione e vantaggi chiari sulla sicurezza.

A parità di energia servono molti più reattori e, secondo studi USA, possono produrre molte più scorie.

Oggi sono soprattutto una scommessa industriale, mentre eolico e solare sono già competitivi e scalabili.

Notazione: *per nucleare e SMR parliamo soprattutto di stime ex-ante o consuntivi su pochi progetti, quindi con grande incertezza.*

Rifiuti nucleari

Gli SMR non risolvono il problema delle scorie: al contrario, uno studio della National Academy of Sciences conclude che, a parità di energia prodotta, diverse tipologie di piccoli reattori modulari (raffreddati ad acqua, sodio o sali fusi) potrebbero generare da almeno il doppio fino a trenta volte più rifiuti radioattivi rispetto ai reattori nucleari convenzionali.

Gli SMR producono più rifiuti:

1. Peggior “bruciamento” del combustibile (burnup più basso)

I nuclei più piccoli e le geometrie compatte tipiche degli SMR portano spesso a estrarre il combustibile prima che sia sfruttato quanto nei grandi reattori. Risultato: più combustibile esaurito per ogni MWh prodotto.

2. Maggiore rapporto superficie/potenza

3. A parità di energia totale, tanti reattori piccoli hanno molta più struttura metallica (contenitori, vessel, tubazioni) rispetto a pochi reattori grandi. Queste parti si attivano neutronicamente e diventano rifiuti radioattivi da smaltire.

4. Arricchimenti più elevati in diversi progetti

5. Molti SMR prevedono combustibile più arricchito dell'attuale standard dei grandi PWR. Questo genera flussi di scorie più complessi e con isotopi più problematici.
6. Moltiplicazione delle unità. Per sostituire un grande reattore servono 4–6 SMR (o più) Ogni modulo ha il proprio circuito, schermature, componenti irradiati. La quantità di rifiuti “di impianto” cresce rapidamente.
7. Nei design “avanzati” il problema può peggiorare ancora SMR raffreddati a sodio o sali fusi producono flussi di rifiuti chimicamente e radiologicamente più difficili da trattare, per i quali non esiste oggi una filiera industriale di smaltimento. Gli SMR non “chiudono il ciclo”: consumano peggio il combustibile e moltiplicano le parti irradiate, per questo rischiano di lasciare più scorie, non meno. Se vuoi, posso spiegarti anche perché questo vale soprattutto per gli SMR ad acqua pressurizzata (PWR) — quelli che oggi vengono proposti in Europa — oppure prepararti una mini-scheda tecnica da usare in audizione o comunicazione pubblica.

Bibliografia e note

- Cour des Comptes (FR), *Le coût de l'EPR de Flamanville*, 2025.
- International Energy Agency, *Projected Costs of Generating Electricity*, ultime edizioni.
- Lazard, *Levelized Cost of Energy Analysis*, 2024–2025.
- National Academy of Sciences (USA), *Waste Management for Advanced Nuclear Reactors*, 2022.
- World Nuclear Industry Status Report, edizioni 2023–2024.
- Connessione di Flamanville 3: dicembre 2024; costo stimato Corte dei conti francese ~23,7 mld €.
- Progetto NuScale Utah cancellato nel novembre 2023.
- Studio NAS USA su SMR: aumento significativo delle scorie per kWh prodotto.
- Dati Lazard su LCOE nucleare aggiornati al 2024–2025.