

Versione approvata da Giunta AIDIC–marzo 2026



Gruppo di Lavoro AIDIC Energia Nucleare

Presidente: Raffaele Avella

Componenti del Gruppo che hanno partecipato alla redazione del documento: Luigi Mazzocchi, Agostino Cavanna, Fausto Zambardi, Fabio Giannetti, Renzo Colombo, Guido Carcano, Giorgio Mingrone, Mario Mariani, Pierluigi Totaro, Alessandro Clerici, Riccardo De Salvo, Antonio Razionale

Associazione Italiana Di Ingegneria Chimica

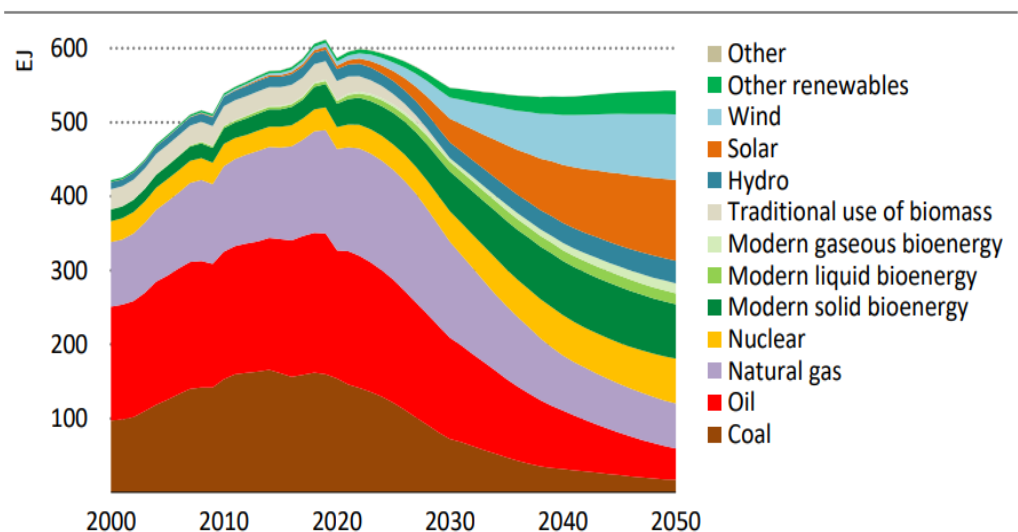
- Premessa
- Ruolo dell'energia nucleare nella transizione energetica e a confronto con le rinnovabili
- Prospettive della fissione e programmi di produzione
- Sicurezza ed emissioni climalteranti
- Ciclo del combustibile e decommissioning
- Aspetti legislativi e regolatori
- Ricerca e sviluppo
- Comunicazione
- Conclusioni

- L'argomento è all'attenzione di diversi enti istituzionali, dell'accademia, dell'industria, di associazioni e di singoli interessati
- Suscita l'interesse dell'AIDIC perché fa parte integrante della transizione energetica e può avere un impatto importante sui futuri costi dell'energia
- Non avendo la presunzione di poter coprire tutti gli aspetti, questo Position Paper si concentrerà prevalentemente sui punti oggi maggiormente all'attenzione della pubblica opinione e sui problemi aperti, per rappresentare **la posizione dell'AIDIC sull'energia nucleare**
- AIDIC è interessata ai settori industriali tradizionalmente caratterizzati da importanti consumi energetici . È pertanto da un lato ben consapevole della necessità di una transizione, dall'altro non può prescindere dalla competitività

Ruolo dell'energia nucleare nella transizione energetica 1/3

La transizione energetica impone la progressiva sostituzione degli impianti di generazione di energia elettrica che utilizzano fonti fossili: o con fonti che non emettono CO2 (tra cui il nucleare) o applicando la cattura e stoccaggio/riutilizzo della CO2 (CCUS) a impianti termoelettrici, alimentati da fonti fossili o biomasse o rifiuti.

Figure 2.5 ▶ Total energy supply in the NZE



IEA. All rights reserved.

Renewables and nuclear power displace most fossil fuel use in the NZE, and the share of fossil fuels falls from 80% in 2020 to just over 20% in 2050

Il nucleare, non avendo emissioni di gas serra, ha un posto importante nel futuro dell'energy supply.

La IEA prevede nel 2050 il mix di energia mostrato in tabella (1), per il caso «NZE - Net Zero Emissions».

Il nucleare passa da 413 GW nel 2022 a 812GW nel 2050 (2), è prevista un'aggiunta di capacità di circa 23 GW/a negli anni trenta (tenendo in conto le dismissioni), principalmente nelle economie emergenti, con la Cina in primo piano.

(1) IEA NetZeroBy2050-A roadmap for the Global Energy Sector

(2) IEA Nuclear Power and Secure Energy Transitions 2022

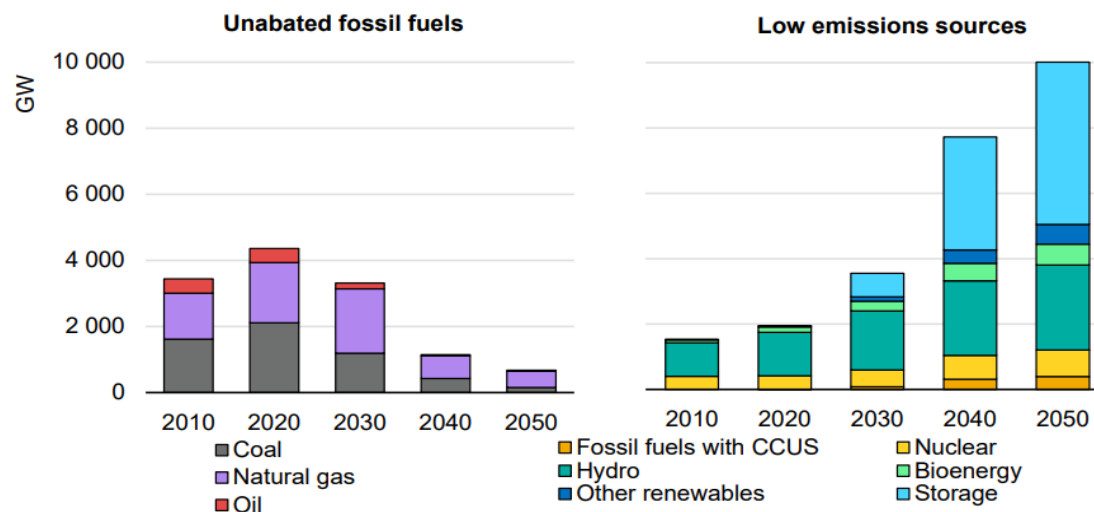
Ruolo dell'energia nucleare nella transizione energetica 2/3

Le fonti eolico e solare sono in forte crescita, però si caratterizzano per essere variabili ed intermittenti e quindi, di per sé, non in grado di assicurare all'utente finale la giusta quantità e qualità di energia nel momento del bisogno.

Ciò deve essere gestito con vari investimenti aggiuntivi tra cui l'installazione di impianti di accumulo (principalmente batterie) e l'adeguamento della rete di distribuzione, con relativo aumento dei costi, ma non si può evitare comunque di disporre di impianti di generazione programmabile.

- Il nucleare, in quanto fonte programmabile, può giocare un ruolo importante nel garantire la sicurezza e la stabilità della fornitura elettrica agli utenti ⁽²⁾.
- Ciò è particolarmente importante in quanto è prevista una forte accelerazione dell'elettrificazione dei consumi finali, dal circa 22% attuale al 50% nel 2050 (scenario NZE).

Global dispatchable power capacity by type in the Net Zero Emissions by 2050 Scenario



IEA. All rights reserved.

Note: Storage includes hydrogen, ammonia and batteries. Pumped storage is included in the hydro total. Storage is not inherently low emissions, but depends on the primary source, which is increasingly low emissions in the NZE.

Source: IEA (2021), [Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector](#).

(2) IEA Nuclear Power and Secure Energy Transitions 2022

Ruolo dell'energia nucleare nella transizione energetica 3/3

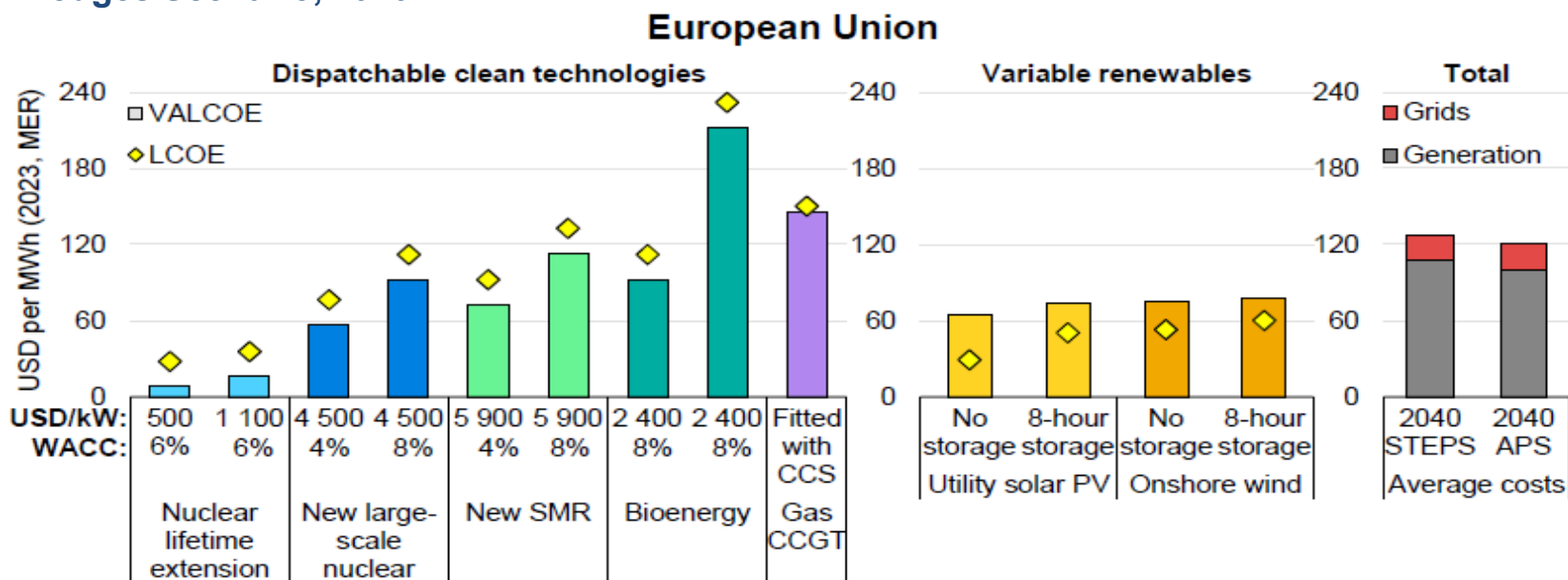
Per l'Europa viene qui riportato l'andamento dei costi complessivi del MWh di varie tecnologie includendo anche lo stoccaggio di energia elettrica ⁽²⁾ IEA Nuclear Power and Secure Energy Transition Report Sep. 2022, pag.57

Per le rinnovabili si assume uno stoccaggio pari al 25% della potenza nominale dell'impianto per 8

L'estensione della vita degli impianti nucleari esistenti risulta competitiva rispetto ad ogni altro caso.

Figure 2.7 LCOE and VALCOE of nuclear and other selected technologies in selected regions in the Announced Pledges Scenario, 2040 ⁽⁷⁾

⁽⁷⁾ IEA The Path to a New Era for Nuclear Energy 2025



Notes: LCOE = levelised cost of electricity; VALCOE = value-adjusted LCOE; USD/kW = USD costs per kilowatt for construction; CCS = carbon capture and storage; CCGT = combined-cycle gas turbine; WACC = weighted average cost of capital; SMR = small modular reactor. The average nuclear capacity factor is assumed to be 75-90%. Biomass capacity factor was assumed to be 50% and 25% for hydro. The WACC for solar PV is assumed to be 4-5%. Fuel costs for biomass range from USD 5 per gigajoule (GJ) to USD 20/GJ. Coal capacity factors were assumed to be 50% and 30-50% for gas CCGT. Technology costs and VALCOE for solar PV are from IEA (2024), [World Energy Outlook 2024](#).

Ruolo dell'energia nucleare vs. le fonti rinnovabili variabili 1/2

In un confronto vanno valutate le possibilità e gli oneri delle sfide tecnologiche ed economiche che ciascun vettore energetico comporta per:

- le quantità di materiali critici e strategici impiegati;
- le aree occupate dagli impianti a parità di elettricità prodotta;
- le tempistiche di realizzazione dei progetti;
- il contributo alle emissioni climalteranti;
- l'upgrading o la sostituzione delle infrastrutture di trasporto elettrico esistenti;
- le modifiche ai sistemi/apparecchi di consumo elettrici per le situazioni transitorie;
- lo sviluppo di tecnologie supplementari, tra cui lo stoccaggio per la fornitura sicura, affidabile e di qualità agli utenti finali dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili variabili, con una visione ed approccio di tipo intersettoriale e globale.

- Le regole del mercato elettrico andrebbero riviste, al fine di introdurre criteri che minimizzino il costo del kWh all'utenza finale, ad esempio remunerando tecnologie che non hanno bisogno di costosi interventi addizionali per programmabilità e stoccaggi
- Fra le fonti a basse emissioni, le energie rinnovabili presentano il costo di produzione più basso, mentre il nucleare ha il pregio della continuità e programmabilità
- Si deduce che le energie da fonti rinnovabili e nucleare vanno considerate **complementari** e non **alternative** ed è proprio da una giusta combinazione delle due può arrivare il mix energetico più efficiente per il costo del kWh all'utente e a minor impatto sull'ambiente e sulla salute pubblica

AIDIC non ha l'ambizione di proporre scelte di filiera, né tantomeno di specifici progetti.

Si ritiene tuttavia doveroso riportare alcune considerazioni espresse a maggioranza dal GdL interno ad AIDIC:

- Al fine di accelerare la ripartenza del nucleare, è bene adottare soluzioni prontamente disponibili e referenziate
- Ne deriva la priorità ai reattori moderati e refrigerati ad acqua naturale (BWR e PWR)
- Sistemi di sicurezza quanto più possibile affidati a meccanismi passivi
- Preferenza per tecniche costruttive modulari, che abbrevino i tempi di costruzione e favoriscano la qualità

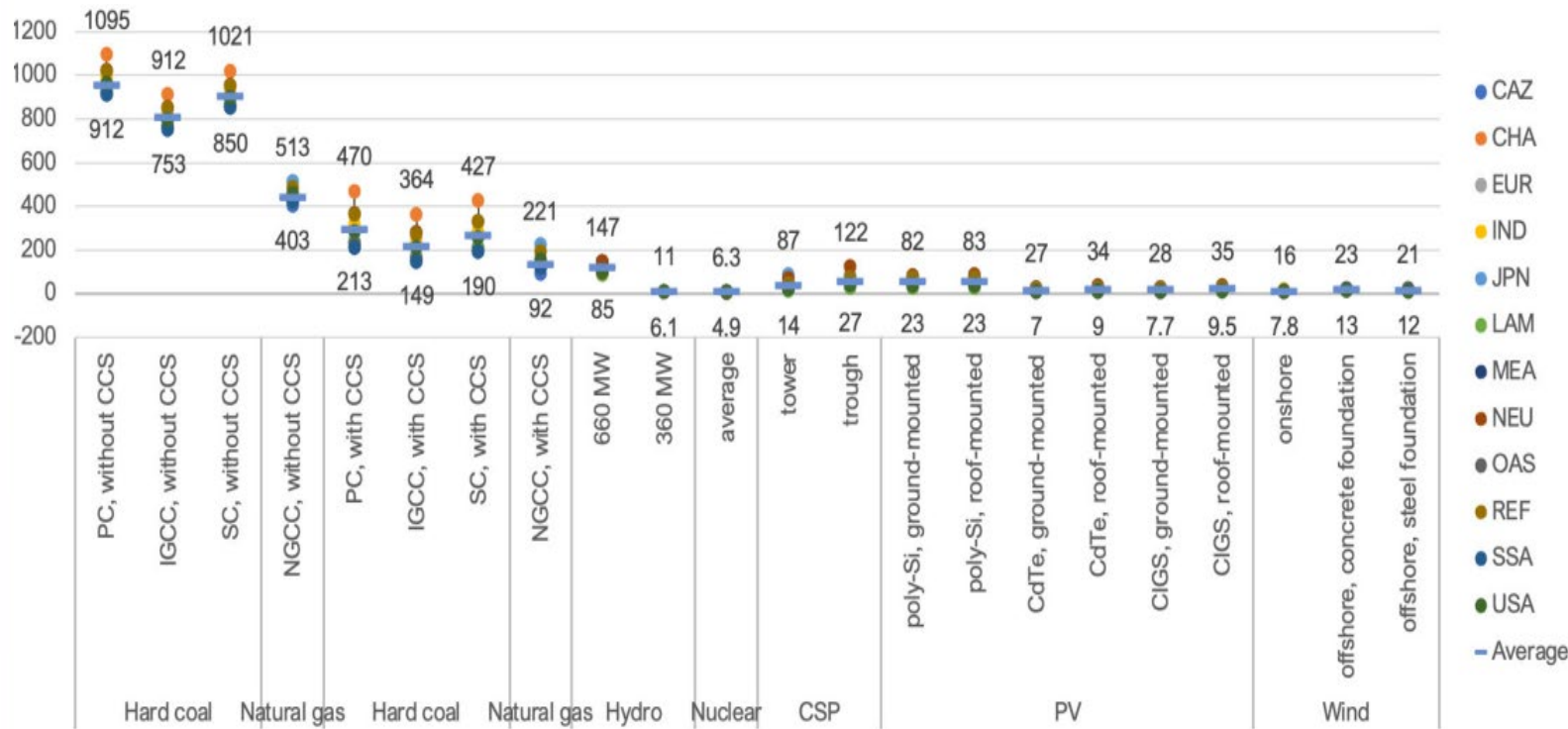
Programmi di produzione 1/2

- L'attuale contesto, tenendo conto della necessità di ridurre le emissioni di CO₂ e delle esigenze energetiche future, rende concreta la possibilità di reintrodurre in Italia la tecnologia nucleare accanto alle fonti rinnovabili (FER) e ai combustibili fossili, essenzialmente il gas, come fonti fondamentali per la transizione
- Mentre il gas naturale e l'idroelettrico a serbatoio in prospettiva si prestano a bilanciare le carenze di produzione delle FER intermittenti per la parte di carico variabile richiesto dalla rete, l'energia nucleare insieme all'idroelettrico ad acqua fluente e al geotermico può assicurare il carico di base
- In questo contesto l'attuazione del piano energetico dovrebbe prevedere l'installazione, in un arco auspicabile di 10 – 15 anni, di un minimo numero di reattori nucleari tali da coprire parte (25-30 %) del fabbisogno notturno (attualmente circa 25 GWe), essendo il resto affidato all'idroelettrico, alla cogenerazione e al nucleare importato.

Programmi di produzione 2/2

- Per far questo bisognerebbe avviare a breve l'iter tecnico ed autorizzativo per collocare sul territorio dei reattori nucleari di adeguata potenza e di pronto impiego e lanciare un piano nazionale di ricerca e sviluppo.
- Nel medio termine (a partire dal 2030 fino al 2050) si potrebbero cominciare a costruire impianti e infrastrutture per la produzione di energia nucleare.
- Insieme a nuovi impianti di energia da fonti rinnovabili, in quel periodo si potrebbero installare reattori nucleari di grande e piccola taglia, per un totale al 2050 (valutazione prudenziale del PNIEC 2024) di 8 GWe, che fornirebbero almeno 64,2 TWh di energia elettrica (in aggiunta ai 17,7 TWh importati dalla Francia) più 16 TWh di energia termica, e permetterebbero di produrre anche idrogeno sostenibile.

Emissioni di gas climalteranti



Il grafico riporta i tassi di emissioni di gas serra sul ciclo di vita (misurati in gCO₂eq per kWh prodotto) per diverse tecnologie e per dodici aree geografiche: i valori del nucleare risultano di gran lunga inferiori anche a quelli della fonte eolica e della fonte solare.

- CAZ : Canada Australia New Zealand
- CHA : China
- EUR : Europe
- IND : India
- JPN : Japan
- LAM : Latin America
- MEA : Middle East and Africa
- NEU : Non-EU Europe
- OAS : Other Asia
- REF : Reforming Countries (ex USSR)
- SSA : Sub-Saharan Africa
- USA : United States

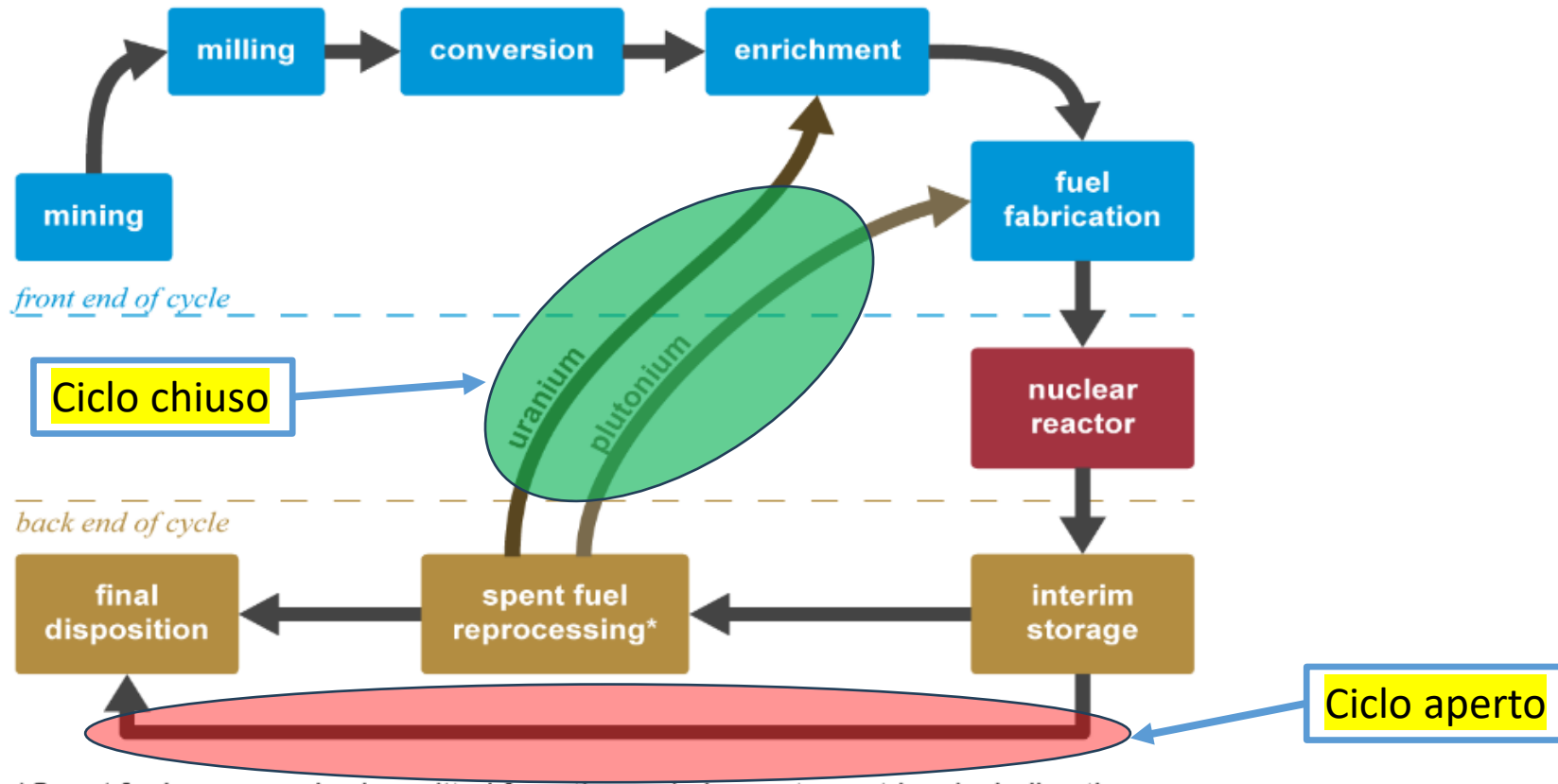
Fonte: Carbon Neutrality in UNECE Region: Integrated Life-cycle Assessment of Electricity Sources

- Pur essendo da sempre elevata l'attenzione alla sicurezza da parte dell'industria nucleare, le differenze tra le tecnologie di controllo e di emergenza adottate nelle vecchie e nelle nuove generazioni di reattori possono essere apprezzate anche da non esperti.
- Le misure oggi impiegate come:
 - criteri di progettazione a sicurezza passiva,
 - barriere fisiche multiple contro la fuoriuscita di sostanze radioattive e sistemi di emergenza ridondanti, ognuno indipendente dagli altri,
 - in taluni casi, raffreddamento a circolazione naturale,rappresentano un notevole miglioramento nella sicurezza in termini di riduzione del rischio e mitigazioni della conseguenze del rischio residuo.

- I criteri di prevenzione e mitigazione dei rischi di qualsiasi origine impiegati nella progettazione, costruzione e gestione degli impianti e dei rifiuti rendono la fonte nucleare tra le meno impattanti fra le fonti di energia, portandola ad un elevato grado di sicurezza, come confermato dall'inclusione di tale fonte nella tassonomia europea delle attività sostenibili (*JRC Technical assessment of nuclear energy with respect to the "do not significant harm" criteria Taxonomy Regulation. DOI: 10.2760/665806*) ; le analisi condotte dal Comitato Scientifico delle Nazioni Unite sugli effetti delle radiazioni ionizzanti (UNSCEAR), creato nel 1955 per analizzare questi temi permettono un ulteriore approfondimento sul tema.
- L'evoluzione dei sistemi di sicurezza adottati nelle soluzioni tecnologiche più recenti riduce ulteriormente i margini di rischio rispetto a quelli degli impianti già realizzati nel mondo.

* [Markandya & Wilkinson \(2007\)](#); [Sovacool et al. \(2016\)](#); [UNSCEAR \(2008 & 2018\)](#); [UNSCEAR 2020_21 Appendix B, Table B1](#)

Nuclear fuel cycle



*Spent fuel reprocessing is omitted from the cycle in most countries, including the United States.

- **Prospettive**

Sono previste profonde revisioni del ciclo in relazione allo sviluppo di nuovi reattori:

- per i nuovi reattori autofertilizzanti, consumo di combustibile fresco ridotto, limitazione dei rifiuti ed eventuale utilizzo del torio

- **Problemi aperti:**

- l'individuazione e l'allestimento di siti per lo stoccaggio profondo

- **Opportunità:**

- l'estrazione del minerale con tecniche migliorate oppure dalla acqua di mare
- il contenimento della spesa per l'acquisto del combustibile fresco, anche se al momento è solo una componente minore del costo dell'energia prodotta

- Delle 1.864 ton di combustibile irraggiato prodotto dalle centrali nucleari in Italia, la maggior parte è stata già inviata (da Enel e poi da Sogin) all'estero (UK e Francia) per le attività di riprocessamento. I residui del riprocessamento (280 ton), saranno restituiti all'Italia e gestiti nel Deposito Nazionale
- Oltre ai prodotti di fissione, resi sotto forma di residui vetrificati, ci sono anche i materiali irraggiati (sostanzialmente metallo) che verranno resi come residui compattati; il materiale fissile è invece trattenuto all'estero
- Complessivamente nel Deposito Nazionale, **la cui localizzazione rappresenta forse l'aspetto più complesso, ma comunque ineludibile, del programma**, dovranno essere gestiti:
 - ai fini dello smaltimento (sistemazione definitiva) e in sicurezza, circa 84.000 mc di rifiuti radioattivi ad attività bassa e molto bassa;
 - ai fini dello stoccaggio di lunga durata, circa 14.000 mc di rifiuti ad alta e media attività, per essere trasferiti nei decenni successivi in un deposito geologico idoneo.

Per sviluppare e portare avanti un nuovo programma nucleare nazionale, occorre prioritariamente ripristinare da qui ai prossimi anni i ruoli del legislatore, regolatore, operatore e la relativa normativa tecnica/ gestionale, come peraltro richiesto dalla Direttiva 71/2009/EURATOM.

- **Quadro legislativo e regolatorio**

Il quadro legislativo italiano va aggiornato, reso efficiente e adeguato agli standard internazionali. L'ultima disposizione promulgata è il D. Lgs 101/2020, ma si attende l'approvazione parlamentare del nuovo Disegno di Legge Delega (DDL) su tutti gli aspetti rilevanti ai fini della ripresa della produzione di energia da fonte nucleare.

- **SMR (Gen III+):** la ricerca nel mondo è in fase avanzata e cominciano ad essere disponibili reattori dimostrativi, spesso al servizio di zone industriali e per la produzione, oltre che di energia elettrica, di (i) vapore, (ii) calore per il teleriscaldamento.

In Italia non abbiamo attività significative in questo ambito.

- **AMR (Gen IV):** società italiane sono coinvolte in alcune iniziative selezionate dall'«European Industrial Alliance on SMR (SMRs)» proprio per gli AMR:
 1. European LFR AS: Newcleo sta sviluppando, in stretta collaborazione con ENEA presso il centro ricerche di Brasimone (BO), il progetto PRECURSOR di un dimostratore elettrico (non nucleare), che aprirà la strada ad un dimostratore in Francia dopo il 2030.
 2. EU-SMR-LFR: ANSALDO Nucleare, in collaborazione con ENEA, SCK-CEN e RATEN, ha definito e guida il progetto ALFRED, che prevede due prototipi (FALCON e LEANDREA), un dimostratore elettrico realizzato in Romania e un dimostratore industriale in Belgio

- La rivalutazione dell'opzione nucleare per il nostro Paese rappresenta una sfida tecnologica ed economica che richiede, quale presupposto imprescindibile, un vero e proprio cambio di paradigma culturale.
- Di fronte agli obiettivi da raggiungere entro il 2050 per la transizione energetica, che andranno inevitabilmente a impattare sulla vita di tutti i cittadini, le campagne di informazione e la costruzione di una cultura della responsabilità rappresentano un tassello fondamentale e spesso sottovalutato.
- A tale riguardo è importante che il DDL preveda e disponga dei fondi specifici per le campagne di informazione corretta e imparziale dei cittadini e di consultazione delle popolazioni interessate.

- I temi della decarbonizzazione e della transizione energetica devono rappresentare la base di partenza nella definizione dei contenuti di un piano di comunicazione.
- Occorre che la campagna di informazione inquadri più in generale il concetto di **sostenibilità energetica** e tratti pertanto le possibili soluzioni tecnologiche utili nel loro insieme e nel giusto «mix».
- Questo porterebbe ad evitare contrapposizioni tra le diverse tecnologie energetiche («rinnovabili vs. nucleare») e a disinnescare quell'approccio polarizzante che finisce per disinformare ed allontanare le persone, confinandole nelle loro posizioni di partenza.

- L'energia nucleare può svolgere un ruolo importante nell'ambito della transizione energetica, in quanto non ha emissioni di gas serra e, a differenza dalle fonti rinnovabili quali eolico e solare, è programmabile e sufficientemente flessibile, garantendo la sicurezza della rete
- E' necessario migliorare la gestione degli investimenti, riducendo costi e tempi della costruzione, in linea con quanto si vede in alcuni paesi non europei. Ciò consentirebbe:
 - di ridurre i rischi finanziari e di abbassare il WACC del capitale investito, facilitando le decisioni di investimento,
 - di massimizzare i benefici per gli utenti finali in termini di e di emissioni climalteranti
- L'opportunità di fornire calore, a scopo civile e industriale, e di produrre idrogeno a basse emissioni di carbonio, possono incrementare i benefici della scelta nucleare, anche al fine di mantenere elevato il fattore di utilizzo degli impianti pur seguendo la curva di domanda elettrica

Conclusioni 2/3

- Le prospettive in Italia negli anni 2030 – 2050: impianti a fissione di Gen III+ non sono da escludere, in quanto implementabili da subito, laddove le tecnologie SMR potrebbero esserlo tra breve e gli impianti di Gen IV LFR (raffreddati a piombo liquido) risultano particolarmente promettenti
- La fusione rappresenta una soluzione a lungo termine che vale la pena continuare ad esplorare attraverso la ricerca e la prototipazione, perché può essere anch'essa una strada che si seguirà effettivamente dopo gli anni 2050 sulla base dei risultati dei primi reattori
- Le emissioni radioattive , in condizioni di normale esercizio o a seguito di malfunzionamenti, sono sotto adeguato controllo, mentre le problematiche del miglioramento del ciclo combustibile e del decommissioning, incluso il final waste disposal, sono tecnicamente già gestite o superabili

Conclusioni 3/3

- È necessario costruire una consapevolezza ed un consenso politico il più ampio possibile, dal momento che un programma nucleare richiede scelte stabili e coerenti su un orizzonte pluridecennale
- Allo stato attuale l'attenzione va posta in via prioritaria sugli aspetti legislativi e regolatori, sull'aggiornamento dell'autorità di settore, in particolare per gli aspetti autorizzativi, nonché sulla comunicazione, perché sono questi aspetti che consentiranno all'opzione nucleare di svilupparsi e di diventare in concreto praticabile
- Occorre destinare adeguate risorse pubbliche alla formazione del personale per l'intera filiera.
- Occorre inoltre organizzare un dibattito, a livello nazionale e locale, riportando l'attenzione del pubblico su pregi, costi e rischi dell'opzione nucleare.

Grazie dell'attenzione!

Rimani aggiornato sulle nostre novità
e cerca **AIDIC** su:



Instagram



LinkedIn



Facebook