

ROBERTO ADINOLFI
MICHELA PECCHIONI
SILVIA BRUZZI

**IL SETTORE NUCLEARE
NELL'UNIONE EUROPEA:
GLI SMRs QUALE
OPPORTUNITÀ DI RILANCIO**

1/2022



Associazione Universitaria di Studi Europei
ECSA-Italy

With the support of the
Erasmus+ Programme
of the European Union



Scientific Committee

Salvatore Aloisio, Fulvio Attinà, Léonce Bekemans, Silvia Bruzzi,
Daniela Felisini, Bart De Schutter, Jacqueline Gower,
Ariane Landuyt, Giuliana Laschi, Francesca Longo, Bruno Marasà,
Umberto Morelli, Stelios Perrakis, Fausto Pocar, Franco Praussello,
Carlo Secchi, Antonio Tizzano, Peter Xuereb

Editorial Board

Lara Piccardo, Francesco Velo

© Associazione Universitaria di Studi Europei
Via Columbia, 1 – 00133 ROMA - ITALY
Internet Site: www.ause.eu



This project has been funded with support from the European Commission, Erasmus + Jean Monnet Programme – EACEA, Education, Audiovisual and Culture Executive Agency. This publication reflects the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

Project: “Italian Association of European Studies” (EACEA Project no. 621343)

ISBN 978-88-99051-11-2

Copyright © 2022 by Associazione Universitaria di Studi Europei (AUSE), Roma. Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere fotocopiata, riprodotta, archiviata, memorizzata o trasmessa in qualsiasi forma o mezzo – elettronico, meccanico, reprografico, digitale – se non nei termini previsti dalla legge che tutela il Diritto d’Autore.

SOMMARIO

<i>Abstract</i>	p.	4
1 <i>Premessa</i>	»	6
2. <i>Gli Small Modular Reactors: una nuova frontiera del nucleare</i>	»	9
3. <i>Le specificità della supply chain degli SMRs</i>	»	13
4. <i>L'analisi SWOT degli SMRs</i>	»	17
5 <i>Presentazione della ricerca: lo studio della futura SMRs supply chain europea</i>	»	23
5.1 <i>La ricerca: obiettivi e metodologia</i>	»	23
5.2 <i>Descrizione del campione di imprese e delle attività: primi riscontri</i>	»	27
6. <i>Conclusioni: quali prospettive per la filiera europea degli SMRs</i>	»	34
<i>Allegati</i>	»	35
<i>Bibliografia</i>	»	48

ROBERTO ADINOLFI*, MICHELA PECCHIONI**,
SILVIA BRUZZI***

**IL SETTORE NUCLEARE NELL'UNIONE EUROPEA:
GLI SMR_s QUALE OPPORTUNITÀ DI RILANCIO**

Abstract

Il settore nucleare si colloca alle origini del processo di integrazione europea. Per i padri fondatori dell'Unione Europea, povera di fonti energetiche, la tecnologia del nucleare ad usi pacifici rappresentava un ambito in cui investire per favorire l'indipendenza energetica e quindi l'autonomia dell'economia europea. I paesi dell'Unione Europea hanno raggiunto nel XX secolo posizioni di eccellenza, anche in ambiti di frontiera come quello della fusione. Dalla fine del XX secolo il settore nucleare europeo è entrato in una fase di crisi che ne ha determinato il declino. In mancanza di investimenti le imprese hanno progressivamente abbandonato la filiera e le competenze sono andate disperdendosi. In questo quadro il saggio propone i primi risultati di una iniziativa europea di ricerca volta a rilanciare il settore nucleare europeo in un ambito di frontiera, quello dei cosiddetti Small Modular Reactors (SMRs), reattori di piccole dimensioni e a ridotta potenza, che in quanto modulari potrebbero essere prodotti in serie. Si tratta di una sfida che cambia completamente i tradizionali paradigmi produttivi del settore e che tutti i principali paesi stanno affrontando, con Russia e Cina che si collocano in posizione di first comer. La ricerca conferma la debolezza della filiera europea e prefigura delle soluzioni per poterne accelerare la ripresa.

Key-words: integrazione europea; settore e filiera nucleari; SMRs; innovazione

* Presidente Ansaldo Nucleare

** Assegnista di Ricerca, Dipartimento Economia, Università di Genova

*** Professore Associato, Dipartimento di Economia, Università di Genova

Abstract

The nuclear sector is placed at the origins of the European integration process. For the founding fathers of the European Union, which was poor in energy sources, peaceful nuclear technology was an area in which to invest to promote energy independence and thus the autonomy of the European economy. In the 20th century, EU countries achieved positions of excellence, even in frontier areas such as fusion. Since the end of the 20th century, the European nuclear industry has entered a crisis phase that has led to its decline. In the absence of investment, enterprises have gradually abandoned the industry and skills have been dispersed. In this context, the paper proposes the first results of a European research initiative aimed at revitalising the European nuclear sector in a frontier area, that of the so-called Small Modular Reactors (SMRs), small, low-power reactors which, as modular, could be series-manufactured. This is a challenge that completely changes the sector's traditional production paradigms, and one that all the major countries are facing, with Russia and China ranking as first comers. The research confirms the weakness of the European supply chain and discusses solutions to accelerate its recovery.

Key-words: European integration; nuclear sector&supply chain; SMRs; innovation

1. Premessa

Il settore nucleare ha rivestito un ruolo importante in Unione Europea per tutto il XX secolo. Ancora oggi il nucleare fornisce il 25% dell'elettricità consumata in Unione Europea, contro il 10% a livello mondiale.

La sua importanza è economica, dal momento che per l'Unione Europea povera di fonti naturali, il nucleare è una tecnologia che ha permesso di ridurre la propria dipendenza energetica, ma anche politica dal momento che il nucleare è uno degli ambiti in cui l'Unione Europea ha raggiunto il livello di integrazione più elevato.

Il nucleare è stato oggetto del primo trattato di politica industriale europea, che resta unico ancora oggi nel panorama istituzionale europeo. Il Trattato Euratom istitutivo della Comunità Europea dell'Energia Atomica del 1957 aveva infatti l'obiettivo di creare le condizioni per lo sviluppo di una industria nucleare che potesse competere a livello internazionale e al contempo garantisse indipendenza energetica all'Europa. Il settore nucleare era visto come un mezzo per garantire pace e benessere alla popolazione europea (Bruzzi, 2006).

Il settore nucleare europeo, sotto l'egida di Euratom, ha raggiunto una posizione di leadership a livello mondiale, anche permettendo all'Unione Europea di raggiungere l'eccellenza in ambiti di frontiera come quello della fusione. Il più grande progetto di Big Science oggi in corso per la costruzione del reattore sperimentale a fusione ITER ha infatti sede in Unione Europea (Francia), dove si trova una delle più importanti comunità fusionistiche ricerca-industria del mondo. Euratom ha posto le basi di questo risultato, disegnando modalità di collaborazione pubblico-privato e ricerca-industria che restano tuttora innovative (Bruzzi e Pechioni, 2022).

La produzione di energia nucleare in Europa è cresciuta per tutta la seconda metà del XX secolo, con un forte rallentamento dopo il disastro di Chernobyl. Con i primi anni 2000 è iniziato un periodo di calo.

L'andamento della produzione rispecchia il progressivo declino dei paesi OCSE, a cui si è contrapposto lo sviluppo dei paesi non OCSE, che oggi rappresentano il 32% della produzione mondiale e hanno reattori con età media molto inferiore rispetto a quella dei paesi OCSE.

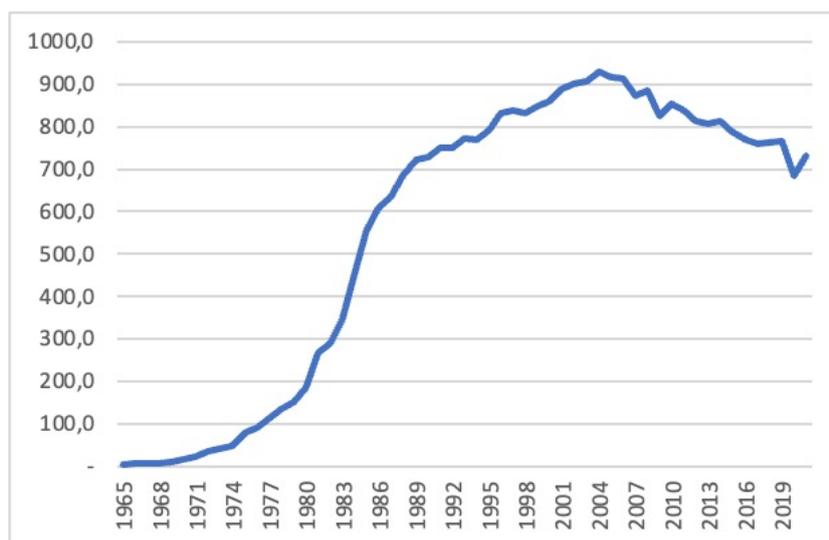


Figura 1 - La produzione di energia nucleare, 1965-2021 (Fonte: ns elaborazione da BP, 2022)

	1970	1980	1990	2000	2010	2020	2021
OECD	93%	87%	87%	87%	83%	69%	68%
Non-OECD	7%	13%	13%	13%	17%	31%	32%

Tabella 1 - La produzione di energia nucleare paesi OCSE vs paesi non-OCSE, 1970-2021 (Fonte: ns elaborazione da BP, 2022)

La crescita dei paesi non OCSE è inoltre destinata ad aumentare, considerato che dei 54 reattori attualmente in costruzione solo 3 è in costruzione in Unione Europea (Francia e Slovacchia) e 2 sono in costruzione in USA, contro 21 in Cina, 8 in India e 3 in Russia (WNA, 2022a).

Russia e Cina sono gli attori che stanno imponendosi sul mercato internazionale anche a livello di supply chain. I punti di forza non riguardano solo la disponibilità delle terre rare, ma sono anche tecnologici. Politiche industriali che supportano la costruzione dei reattori agiscono infatti nella direzione di irrobustire tutte le industrie che ruotano attorno al nucleare migliorandone la competitività su scala internazionale. Se la Cina sta diventando gradualmente autonoma nella produzione di reattori domestici, la Russia è il più grande esportatore di tecnologia nucleare: 42 dei 439 reattori operativi nel 2021 sono modelli russi PWR/VVER, men-

tre altri 15 con design russo sono in costruzione (Bowen e Dabbar, 2022).

Il peso della Russia a livello globale è quindi molto forte nella supply chain dei reattori VVER, con un ruolo chiave giocato da Rosatom, l'impresa pubblica russa specializzata nel nucleare, che è entrata anche nell'ambito delle rinnovabili (eolico) e dell'idrogeno, divenendo un pilastro della più ampia politica energetica del Paese.

A fronte di questa ascesa, l'Unione Europea ha visto un declino del proprio settore nucleare, con un impoverimento delle supply chain. In assenza di investimenti industriali, le imprese si sono progressivamente allontanate e le competenze sono andate disperdendosi (ESNII+, 2016).

Negli ultimi tempi si sta assistendo ad un rinnovato interesse nei confronti del nucleare. Un report dell'EIA del 2020, rivisto nel 2022, invita i paesi a considerare le opportunità che il nucleare può offrire al perseguimento degli obiettivi di decarbonizzazione e quindi a supportare gli investimenti in questo settore (IEA, 2022).

Il nucleare è infatti una tecnologia low carbon. Secondo uno studio del 2014 del Gruppo intergovernativo sul cambiamento climatico (Ipcc) i reattori nucleari producono al massimo 110g di CO2 equivalente per kWh, contro i 910 del carbone e i 650 del gas (Schlömer et al., 2014). Secondo l'IEA il nucleare ha contribuito in modo determinante alla riduzione di emissioni di CO2 dal 1971 al 2020 di 66 Gt. Il contributo proviene soprattutto dalle economie avanzate: in Unione Europea in particolare è stata evitata la produzione di 20 Gt di CO2 e negli Stati Uniti di 24 Gt (IEA, 2022).

A fronte di queste considerazioni, e anche alla luce del contributo che il nucleare può dare all'economia europea nell'attuale crisi energetica, le istituzioni europee hanno recentemente adottato una azione a supporto del nucleare inserendo questa tecnologia, insieme a quella del gas, nella lista (la cosiddetta Tassonomia Europea) delle attività economiche considerate sostenibili, che quindi possono essere finanziate per poter realizzare la transizione verso un'economia a basso impatto ambientale (Minopoli, 2022).

Si tratta di una iniziativa importante, che, utilizzando solo lo strumento dell'incentivo, sposta però prevalentemente sul privato l'onere di rilanciare un settore in un momento nel quale le sfide da affrontare sono molte e la competizione è molto agguerrita.

Il settore nucleare sta infatti affrontando una svolta tecnologica importante, destinata a modificare profondamente le dinamiche del mercato, quella dei reattori di quarta generazione, che dovrebbero essere disponibili indicativamente tra il 2035-2040, e dei reattori di piccole dimen-

sioni (Small Modular Reactors e microreattori), di cui due sono già operativi in Cina e Russia e molti altri sono in fase di sviluppo.

Rispetto ai reattori di terza generazione (quelli attualmente ancora in costruzione) i reattori di quarta generazione mirano a ottimizzare quattro aspetti fondamentali: 1. la sostenibilità, mediante la minimizzazione delle scorie nucleari e l'utilizzo di altre materie prime (ad esempio il torio, la cui disponibilità è da tre a cinque volte superiore a quella dell'uranio), 2. l'efficienza attraverso la semplificazione produttiva, 3. la sicurezza, attraverso una riduzione del rischio di rilascio dei prodotti di fissione e l'implementazione di sistemi di asportazione del calore intrinseci e passivi dal nocciolo del reattore, 4. la non proliferazione nucleare grazie alla possibilità di avere un breeding gain nullo¹ (Haas et al., 2019; Ricotti, 2022).

Anche gli SMRs hanno un forte potenziale dal punto di vista della sicurezza, dei rischi finanziari e degli usi. Come vedremo nel prosieguo, le due caratteristiche principali di questi reattori sono rappresentate dalla potenza ridotta e dalla produzione in moduli e per questo sono destinati a rompere il paradigma convenzionale su cui il nucleare si è sviluppato nel XX secolo.

Come visto Cina e Russia sono gli attori più avanzati. L'Unione Europea sconta invece un forte ritardo e sta oggi cercando di avviare delle iniziative volte a ricostituire una supply chain che possa supportare l'industria nello sviluppo di questi reattori.

2. Gli Small Modular Reactors: una nuova frontiera del nucleare

Gli Small Modular Reactors sono reattori che posseggono due caratteristiche molto peculiari nell'ambito del nucleare: la potenza ridotta e la modularizzazione produttiva.

Tali reattori nucleari posseggono infatti una potenza elettrica tra i 10 MWe e 300 MWe, al contrario dei reattori di grandezza "tradizionale", la cui potenza elettrica si aggira attorno ad un Gigawatt.

Gli SMRs costituiscono un momento di rottura per l'industria nucleare: storicamente, infatti, la potenza degli impianti è cresciuta con ogni

¹ Il breeding gain è la differenza tra la quantità di fissile prodotta e quella consumata nel reattore. Nei reattori di quarta Generazione il fissile prodotto durante il funzionamento dell'impianto viene estratto, riprocessato e riutilizzato come combustibile nucleare che quindi non deve essere trasportato presso un impianto di riprocessamento col rischio che subisca attacchi in questa fase.

nuova generazione, da poche decine di MWe della prima generazione nel 1950 a 1600 MWe dell'attuale terza generazione.

Ridurre le dimensioni dei reattori appare dunque come una scelta strategica in contrasto con quanto fatto finora, in quanto l'aumento della potenza del reattore comporta un aumento dei costi, meno che proporzionale all'aumento delle dimensioni. L'obiettivo di questa tipologia di reattori è quello di penetrare nuovi segmenti di mercato, rendendo più fruibile l'energia nucleare e favorendo nuovi utilizzi.

A questo scopo la modularizzazione costituisce un elemento essenziale: l'idea alla base degli SMRs è che questi vengano infatti progettati in moduli standardizzati costruiti in fabbrica in lotti, successivamente trasportati e assemblati direttamente nel sito dove i reattori verranno utilizzati (NEA, 2021).

Con gli SMR viene ripensata la progettazione e costruzione dell'intero impianto in una serie di "blocchi" o sottosistemi. Questa caratteristica potrebbe portare una semplificazione del layout, ad esempio attraverso l'integrazione dei componenti principali (generatori di vapore, pompe, pressurizzatore) nel recipiente a pressione principale del reattore che ospita il combustibile.

Attualmente, quasi tutte le tecnologie dei reattori nucleari possono essere adattate agli SMRs, dai reattori raffreddati ad acqua più convenzionali fino ai microreattori molto piccoli (tra 5 e 10 MW) e progettati come batterie nucleari.

Ogni design comporta sfide differenti, nonché potenziali benefici. I design degli SMRs, oggi ancora in fase di sviluppo, possono essere classificati sulla base del livello di prontezza tecnologica (technology readiness levels - TRLs) e del livello di prontezza di licensing (licensing readiness levels - LRL) (NEA, 2018)².

L'Agenzia Internazionale per l'Energia Atomica (AIEA) possiede un database dedicato alla breve descrizione delle principali caratteristiche tecniche degli SMRs, aggiornato annualmente. A settembre 2022 risultano più di 80 SMRs design in 18 Stati, alcuni in fase di sviluppo e altri già in fase di progettazione (IAEA, 2022). La Fig. 2 rappresenta l'insieme di design e tecnologie SMRs nel mondo in questo momento. Ad oggi gli Stati Uniti sono il paese che ha predisposto più design (20), seguiti da Russia (17), Cina (10) e Unione Europea (9).

² Il TRL è una metodologia per valutare il grado di maturità di una tecnologia, dato da una scala di valori che variano da 1 a 9. Il LRL è invece il livello di "licenziabilità" di un'innovazione ed esprime quindi la potenzialità che tale innovazione sia implementata sul mercato.



Figura 2 - SMRs Design e tecnologie nel mondo (Fonte: IAEA, 2022, pag. 25)

La Fig. 3 rappresenta un primo campione di SMRs in fase di sviluppo a livello internazionale; di questi, metà si basano sulla tecnologia di Light Water Reactor (reattori di terza generazione), mentre l'altra metà su concepts di quarta generazione.

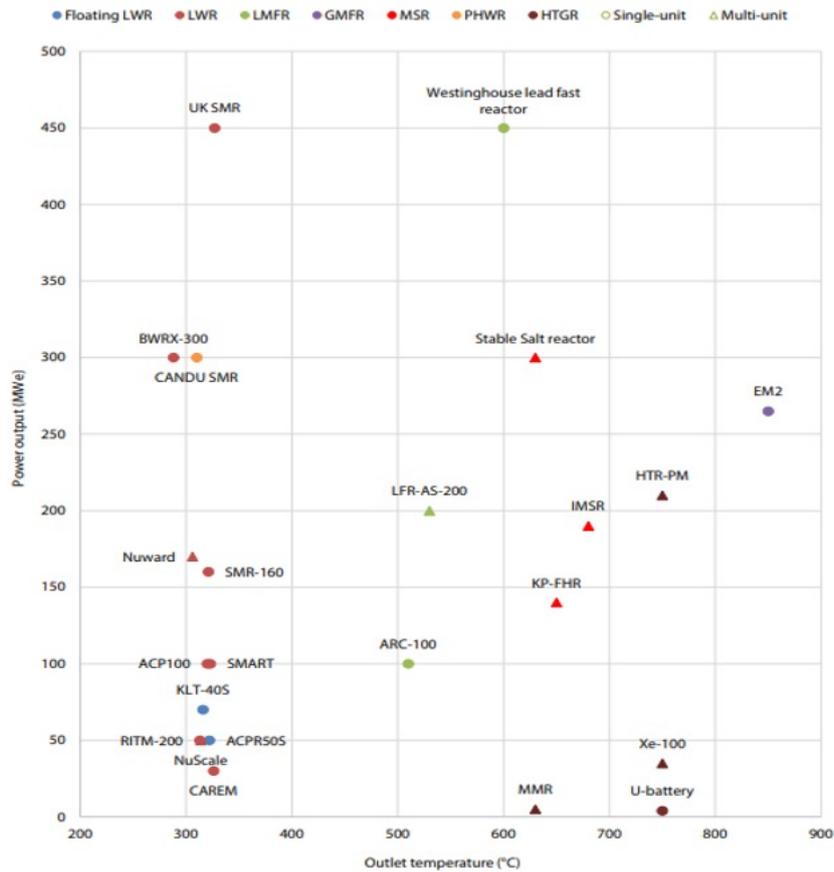


Figura 3 - Campione di SMRs Design (Fonte: IAEA, 2020)

Malgrado la maggioranza dei reattori sia oggi in fase di design, sono state già raggiunte alcune importanti milestones (IAEA, settembre 2022), che evidenziano come il business sia oggi in piena evoluzione:

- da maggio 2020 è operativa l'unità di potenza Akademik Lomonosov nella Federazione Russa, ovvero la prima centrale nucleare galleggiante e nel giugno 2021 è iniziata la costruzione di BREST-OD-300;
- in Cina nel dicembre 2021 è stato collegato alla rete il dimostratore HTR-PM che dovrebbe raggiungere il pieno funzionamento entro la fine del 2022. Inoltre a luglio 2021 è stata avviata la costruzione dell'ACP100 che dovrebbe entrare in attività a fine 2026;

- nel settembre 2020, negli Stati Uniti, il design NuScale Power Module ha ricevuto l'approvazione da US Nuclear Regulatory Commission;
- in Argentina è in costruzione l'SMR denominato CAREM25 che dovrebbe essere operativo nel 2026.

3. Le specificità della supply chain degli SMRs

La supply chain di uno Small Modular Reactor presenta alcune differenze significative rispetto a quella di un reattore di una centrale tradizionale.

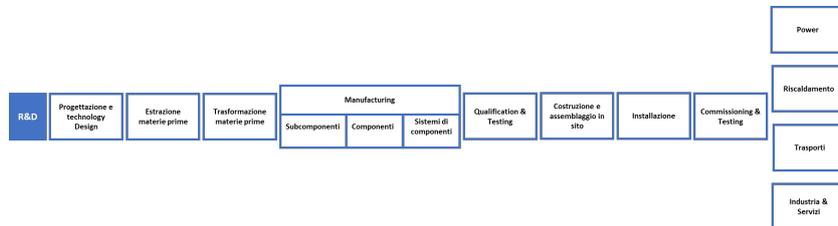


Fig. 4 - La supply chain degli SMR (Fonte: ns elaborazione)

Servire una domanda di energia tramite unità nucleari di piccole e medie dimensioni, al contrario di unità nucleari di grandi dimensioni come quelle attuali, si tradurrà in un maggior numero di componenti da produrre, di dimensioni sicuramente inferiori, ma non necessariamente più semplici.

Attualmente, la maggior parte degli Small Modular Reactors si trova nelle fasi di R&D e Design. I designs permettono la creazione di prototipi e reattori *first of a kind (FOAK)*³, che devono essere collaudati. I feedback derivanti da queste prime esperienze rappresenteranno la base per l'ottimizzazione della costruzione degli SMRs e il loro corretto funzionamento. La R&D e la progettazione continueranno quindi a supportare le attività produttive lungo la supply chain almeno fino a quando questi prodotti potranno essere considerati a regime. In questa fase risulta fondamentale la figura del Vendor, soggetto detentore della tecnologia del reattore.

³ Il concetto di First of a Kind (FOAK) indica un item che utilizza una nuova tecnologia o una progettazione innovativa. In quanto primo del suo genere, un item FOAK può richiedere investimenti significativamente maggiori.

Nella fase di design le attività di ingegneria vengono eseguite interamente o in parte dal Vendor e includono sia la progettazione di base che quella dettagliata. Nella fase di implementazione viene individuato un Architect-Engineer che opera come main contractor. Questo soggetto può essere una controllata del Vendor o un partner del Vendor oppure un attore esterno specializzato che opera in qualità di EPC contractor. Risulta chiaro dunque come la riuscita del progetto dipenda dalla collaborazione tra Vendor e main contractor.

Oggi per le centrali su commessa consegnate chiavi in mano il proprietario sceglie di assegnare un contratto EPC ad un singolo fornitore, o consorzio, che sia in grado di effettuare sia le attività del Vendor che quelle dell'Architect Engineer (IAEA, 2016).

Le fasi di manufacturing, assembly, testing e installation per gli SMR sono invece molto diverse, perché la modularizzazione comporta che le parti, le componenti e i sistemi siano costruiti in fabbrica e poi trasportati in moduli nei siti per l'installazione, prima attività svolta presso il cliente finale. La produzione mira, infatti, alla standardizzazione dei componenti per quanto possibile, alla loro fabbricazione in fabbrica e poi all'installazione in loco in moduli preassemblati.

I moduli costruiti in fabbrica possono essere all inclusive, ovvero completi a livello meccanico ed elettrico in termini di strumentazione, inoltre possono essere assemblati, testati e parzialmente messi in servizio in fabbrica. L'assemblaggio in fabbrica permette un controllo maggiore da parte di risorse addestrate che potrebbero replicare il lavoro per ogni modulo successivo, rispettando gli stessi requisiti di sicurezza e qualità.

Come sottolineato in precedenza, i vari moduli potrebbero essere trasportati già prefabbricati direttamente in loco per essere direttamente installati; in alcuni casi però alcuni moduli potrebbero essere trasportati già carichi di combustibile, contenente materiale radioattivo. In questi casi il modulo stesso verrebbe trattato come un carico nucleare e sarebbe soggetto a requisiti normativi differenti in ciascun paese al momento del trasporto.

Nella costruzione di un reattore tradizionale la produzione avviene su commessa e la supply chain è organizzata intorno alla commessa stessa. Con la produzione in serie le relazioni lungo la supply chain sono destinate a cambiare radicalmente: per i fornitori la riduzione dei tempi di costruzione da un lato e la standardizzazione dall'altro determinerebbero il passaggio da fornitori/partner di progetto a produttori in serie.

La cooperazione resterebbe importante ma risulterebbe modificata. Attraverso la modularizzazione la maggior parte dei progetti SMR mira a garantire la costruzione in fabbrica di componenti di alta qualità. Tuttavia la modularizzazione necessita di moderni processi di produzione (come

ad esempio la produzione additiva, saldatura a fascio elettronico, ecc.) e innovativi sistemi di integrazione tra processi e tra i diversi attori della supply chain. Nonostante l'esperienza nella costruzione modulare esista già nel settore nucleare (ad esempio AP1000, Giappone BWR...), essa potrebbe comportare un ulteriore onere per certificare la qualità di diversi sottosistemi (Adinolfi, 2022).

Una soluzione per affrontare le difficoltà potrebbe essere la condivisione dei rischi dei diversi soggetti coinvolti nella creazione nei progetti *First of a Kind* (FOAK). Per NEA, infatti, le prospettive del mercato e la riuscita stessa dei progetti si basano sulla creazione di un partenariato strategico in grado di provvedere alla fornitura e realizzazione dei componenti degli SMRs (NEA, 2021).

La collaborazione tra vendors, regolatori e suppliers potrebbe portare ad una migliore armonizzazione di codici e standard, ampliando conseguentemente la platea dei possibili fornitori, ma anche promuovere l'implementazione di nuove tecnologie, come la produzione avanzata e additiva e altre applicazioni digitali.

Sono diversi i soggetti che potrebbero essere coinvolti in queste collaborazioni/partenariati (Bohnstedt, 2022):

- le strutture e infrastrutture di ricerca, che possono promuovere il coordinamento e pianificazione dell'uso dei vari componenti;
- i soggetti operanti nel mondo dell'energia da fusione e delle tecnologie energetiche non nucleari, che svolgono una funzione fondamentale per lo sviluppo di attività cross cutting e il possibile utilizzo di approcci e metodologie comuni;
- le organizzazioni internazionali del settore (ad esempio: NEA, IAEA, GIF, FORATOM) possono stimolare iniziative comuni di Ricerca & Sviluppo;
- i regolatori, che avranno un ruolo fondamentale nell'armonizzazione delle procedure e gli enti di sicurezza nella standardizzazione di codici di progettazione, gestione dei dati e delle conoscenze.

Per quanto riguarda la standardizzazione, essa rappresenta una novità per il settore del nucleare che lavora prevalentemente attraverso la produzione di componenti, sottosistemi e sistemi customizzati. La standardizzazione deve coinvolgere non solo il costruttore e i suoi fornitori, ma anche i clienti, che dovrebbero contribuire ad armonizzare le specifiche richieste per i diversi componenti.

In questo modo gli attori della supply chain lavorerebbero su specifiche di approvvigionamento standardizzate, compresi i codici/standard di riferimento che rimarrebbero dunque fissi per una produzione in piccoli lotti, in funzione delle specifiche del progetto. La standardizzazione non

potrebbe essere completa, dal momento che i vari design sono influenzati dalla tecnologia del reattore e dalle esigenze nazionali e locali del paese di ubicazione dell'impianto.

Dovrebbe dunque essere sviluppato un mercato armonizzato che permetta la standardizzazione delle attività lungo la supply chain. Per l'Unione Europea lo studio svolto da ESNII+⁴ nel 2016 propone che l'Unione Europea sia considerata il "paese" di origine della tecnologia. Ciò significa che il processo di licenza, i regolamenti, i codici e gli standard, i requisiti del sito e locali, la partecipazione dei fornitori UE, ecc. dovrebbero essere pienamente conformi alla legislazione UE (ESNII +, 2016).

L'armonizzazione dei requisiti nucleari attraverso l'Unione Europea rafforzerebbe inoltre l'effetto della curva di apprendimento, rendendo così la tecnologia SMR più competitiva in tempi più brevi. Ciò implicherebbe uno sforzo da parte dell'Unione Europea per effettuare una riconciliazione dei diversi codici/standard attualmente utilizzati in vari paesi europei. Tale riconciliazione avrebbe dunque un effetto positivo anche sulla supply chain in quanto si aprirebbero mercati geografici più ampi da servire, con una maggiore flessibilità nell'utilizzo dei reattori (Adinolfi, 2022).

Infine, il deployment degli SMRs è previsto non solo per i settori energetici ma anche per la fornitura di calore a diverse temperature per diverse applicazioni industriali, come i processi a bassa temperatura per la produzione di carta o quelli ad alta temperatura nelle raffinerie e nella produzione di acciaio. Vi sono tuttavia ancora molte barriere, sia tecniche che economiche, per una diffusione in applicazioni non elettriche degli SMR, che potranno essere superate con l'implementazione dei primi prototipi industriali dei sistemi accoppiati, lo sviluppo dei business case e lo sviluppo delle tematiche di sicurezza, regolamentazione e licenza dei sistemi accoppiati.

Anche per gli SMRs prima della loro installazione è necessario pianificare e preventivare la corretta e sicura gestione del combustibile esaurito, dei rifiuti radioattivi e dello smantellamento prima dell'installazione. Tale pianificazione permetterà una riduzione dei costi e una corretta gestione delle fasi di pulizia (IAEA, 2022). La standardizzazione della produzione di SMR potrebbe anche riflettersi sulla standardizzazione delle fasi di decommissioning e dismantling. Tale concetto rappresenterebbe un'ulteriore innovazione nel mondo del nucleare in quanto fino ad oggi i

⁴ ESNII è l'European Sustainable Nuclear Industrial Initiative, un'iniziativa pilastro della Sustainable Nuclear Energy Technology Platform, che ha lo scopo di dimostrare le tecnologie dei reattori veloci di quarta generazione, nonché di sostenere le infrastrutture e le attività di ricerca e sviluppo.

progetti di decommissioning sono sempre stati unici e difficilmente replicabili, data la grande varietà di progettazioni delle centrali e le loro diverse necessità. Una standardizzazione del decommissioning renderebbe il processo più efficiente, economicamente vantaggioso e sicuro per le generazioni future.

4. L'Analisi SWOT degli SMRs

I principali design di SMRs presentano differenze in termini di grado di modularizzazione del progetto, di tecnologia e di caratteristiche di sicurezza. Tuttavia presentano importanti similitudini, sulla base delle quali è stata elaborata una SWOT Analysis, in modo da evidenziare in maniera sintetica punti di forza e debolezza da un lato e minacce e opportunità dall'altro.

Figura 5 - La SWOT analysis per gli SMRs (Fonte: nostra elaborazione)

I punti di forza sono rappresentati da diversi elementi (Adinolfi, 2022):

- il livello di sicurezza è più elevato. Le semplificazioni legate alle dimensioni ridotte insieme all'utilizzo di sistemi di sicurezza "passivi"⁵ consentono di ridurre sia la probabilità di un incidente che le sue conseguenze, quasi escludendo la necessità di piani di evacuazione di emergenza;
- la modularizzazione facilita la fase costruttiva, in quanto sposta gran parte della costruzione dell'impianto dal sito alla fabbrica, dove è più facile garantire tempi e qualità perché il costruttore ha maggiormente sotto controllo i propri processi, rendendo più veloce la fase di assemblaggio. Tempi di costruzione più brevi e prevedibili si traducono in un time-to-market più rapido, con una conseguente migliore soddisfazione degli investitori e delle prospettive del mercato (NEA, 2021);
- la standardizzazione della progettazione e la sua replicabilità favoriscono il *learning by doing* e contribuiscono allo sviluppo della Supply Chain attraverso nuovi programmi di costruzione a lungo termine (Lovering et al., 2016). Con gli SMRs la produzione dei reattori potrà essere in serie di lotti invece che su commessa, consentendo una riduzione dei costi e lo sviluppo di una filiera industriale più solida (Ricotti, 2022);
- la riduzione dei costi per il combustibile. L'uranio ha il vantaggio di essere una fonte di energia altamente concentrata, facilmente ed economicamente trasportabile, rispetto dunque al carbone o petrolio le cui quantità necessarie sono maggiori. Il combustibile radioattivo usato deve essere però correttamente smaltito e immagazzinato nella fase di decommissioning; nonostante ciò, i costi totali del combustibile per una centrale nucleare sono comunque inferiori a quelli di una centrale a carbone o a ciclo combinato;
- la contribuzione del nucleare alla riduzione delle emissioni di CO₂. A fronte della grande attenzione politica ricevuta dalle energie rinnovabili, vale la pena evidenziare come il nucleare possa contribuire a rendere sostenibile l'utilizzo di queste fonti. Il problema principale dei sistemi di produzione delle fonti rinnovabili, in particolare quella eolica e solare, è la loro intermittenza; l'energia nucleare, che genera enormi

⁵ I sistemi di sicurezza passivi non richiedono energia elettrica e quindi non hanno bisogno dell'intervento dell'uomo per attivarsi. Essi sfruttano fenomeni fisici/chimici naturali (ex. gravità o alla convezione naturale) per limitare l'impatto di eventi anomali.

quantità di elettricità senza interruzioni, può dare stabilità alle fonti rinnovabili. Attualmente, alcune centrali nucleari sono state utilizzate per sostenere la produzione delle fonti rinnovabili. In futuro il mercato dell'energia potrebbe essere popolato da sistemi energetici ibridi, ovvero impianti caratterizzati da più generatori di calore, alimentati da diverse fonti energetiche (IAEA, 2019);

- maggiore flessibilità di utilizzo con una pluralità di applicazioni e opportunità di mercato. Queste macchine potrebbero essere utilizzate anche per altri scopi; tra gli usi previsti ci sono quelli relativi alla cogenerazione: teleriscaldamento, desalinizzazione dell'acqua, produzione di biocarburanti e idrogeno, nonché l'accoppiamento con sistemi di accumulo di energia e l'integrazione a supporto delle fonti rinnovabili, per loro natura intermittenti e quindi non programmabili (Ricotti, 2022).

Le diverse generazioni di reattori hanno aumentato costantemente la loro dimensione al fine di sfruttare le economie di scala (NEA, 2011). Al contrario, nel caso degli Small Modular Reactors la competitività è garantita da economie che si basano su quattro elementi chiave che migliorano la flessibilità (Fig. 6):

1. semplificazione della progettazione, che, mediante una riduzione delle dimensioni dei componenti e una migliore gestione, potrebbe tradursi in minori costi di costruzione;
2. standardizzazione, che permetterebbe una produzione più efficiente;
3. modularizzazione e produzione in fabbrica;
4. armonizzazione del licesing per gli SMRs, che potrebbe permettere lo sviluppo di un mercato globale.

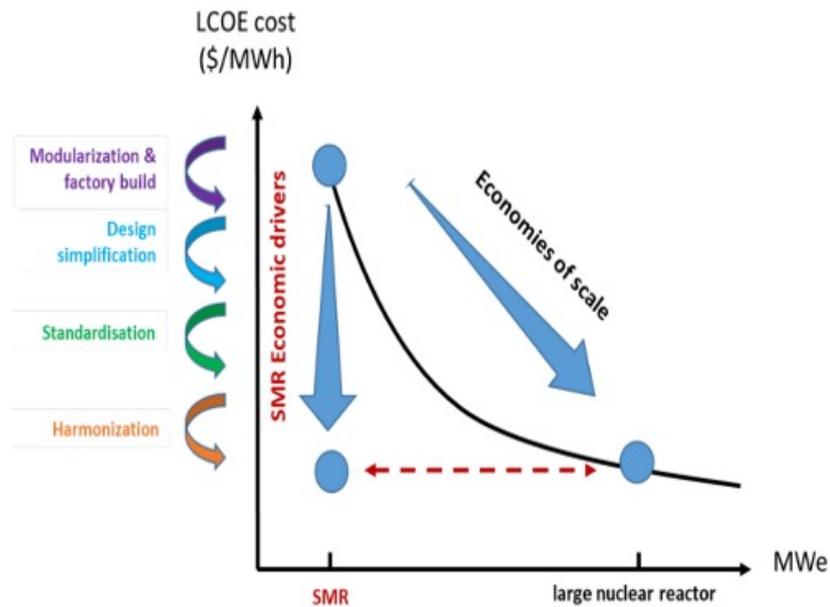


Figura 6 - Drivers economici per la competitività degli SMRs (Fonte: NEA, 2021, p. 22)

La produzione in serie comporterà inizialmente costi “non ricorrenti” come quelli di ricerca, sviluppo e certificazione della progettazione, che verranno successivamente ammortizzati. Il National Nuclear Laboratory (NNL) evidenzia che i settori della cantieristica e dell’industria aeronautica hanno dimostrato che la produzione in serie aumenta i tassi di apprendimento tra il 10 e il 20% (NNL, 2014).

La produzione in ambito nucleare è da sempre una produzione su commessa: una produzione di modelli unici, con caratteristiche specifiche definite anche grazie ad un’elevata partecipazione del committente. La produzione è dunque solitamente personalizzata.

Al contrario le caratteristiche intrinseche degli SMRs (ridotta potenza e modularizzazione) permettono un’elevata standardizzazione della progettazione e delle componenti, che rendono possibile portare la produzione in serie anche nell’ambito nucleare.

Solitamente, nella produzione in serie una molteplicità di attività viene eseguita dagli operatori in modo consecutivo come una catena. La produzione è standardizzata, ovvero i prodotti posseggono le stesse caratteristiche e vengono concepiti su larga scala.

La produzione in serie presenta alcuni vantaggi:

- standardizzazione dei processi e dei prodotti;
- possibilità di ammortizzare i costi fissi;
- riduzione dei costi di produzione per il singolo componente;
- sfruttamento delle cosiddette economie di scale e di scopo, ovvero la possibilità di poter utilizzare le stesse macchine per la produzione di diversi componenti, anche in diversi settori;
- riduzione delle tempistiche per la realizzazione di alcuni processi produttivi mediante macchine specializzate.

La produzione in serie solitamente viene adottata quando i prodotti sono standardizzati, a fronte di una bassa complessità di realizzazione; queste caratteristiche ad oggi non rispecchiano il settore nucleare. Tuttavia, la World Nuclear Association (WNA) attraverso il Cooperation in Reactor Design Evaluation and Licensing (CORDEL), declina in modo differente in concetto di standardizzazione affermando che *“The concept of standardized reactor designs does not require units to be completely identical. Rather all units that use the standardized design technology should at least share the same global architecture and the same specifications for the nuclear steam supply system design and components, and associated safety systems”* (NEA, 2021, p. 23).

Tale definizione lascerebbe dunque maggiore flessibilità alle imprese che si avvicinano a questa tecnologia, che potrebbero adottare una produzione a lotti, che consente un livello una maggiore varietà di prodotto e quindi una maggiore flessibilità produttiva rispetto a quella in serie.

Con riferimento ai punti di debolezza gli SMRs è ancora necessario quantificare i vantaggi economici derivanti dalla produzione in serie o a lotti; la produzione in serie si adotta in genere in condizioni di domanda prevedibile, che permettono di produrre almeno le componenti su previsione. Ad oggi questa condizione non esiste per gli SMRs, il cui mercato è ancora tutto da costruire.

Un limite alla nascita di questo mercato è poi rappresentato dalla separazione tra paese di costruzione e paese di installazione, che rappresenta una barriera dal momento che non esiste una vera armonizzazione nel campo delle norme e degli standard; potrebbe quindi risultare difficile ottenere la licenza da parte dell’Autorità per la sicurezza nucleare di un paese in cui lo specifico SMR deve essere installato. Inoltre per ogni paese di commercializzazione sarebbe necessario ripetere le procedure autorizzative, che possono durare anche anni.

Mancano inoltre norme internazionali che regolino la trasportabilità degli SMR installati su navi o piattaforme, nelle acque nazionali dei paesi attraversati e dei paesi ospitanti.

La componente di innovazione tecnologica tipica del nucleare nel caso degli SMRs appare ancora più accentuata dal momento che sono richiesti componenti complessi che devono essere integrati con tecnologie e tecniche di produzione innovative per il settore. Ciò richiede lo sviluppo di ulteriori capacità e maggiore propensione all'investimento da parte di tutti i soggetti coinvolti. In particolar modo questi componenti complessi rappresentano un'alta percentuale del costo di un SMR; la necessità di produrre in serie alcuni componenti per gli SMRs richiede che il mercato sia sufficientemente ampio per permettere l'ammortamento degli investimenti necessari.

Tra le opportunità vi è, oltre alla standardizzazione della produzione, la maggiore flessibilità di utilizzo con una pluralità di applicazioni; questo perché gli SMRs potrebbero essere utilizzati non solo dal settore energetico, ma essere implementati in altri ambiti (quali industria, desalinizzazione dell'acqua, ecc...). Questo permetterebbe di sfruttare i vantaggi derivanti dalle economie di scopo e aumentare contemporaneamente le opportunità di mercato.

Le opportunità riguardano anche la possibilità che gli SMR attivino progetti evolutivi di reattori Gen-III+ e progetti rivoluzionari di reattori Gen-IV, che potrebbero trovare l'interesse di investitori privati, specie se supportati da incentivi definiti nell'ambito di politiche pubbliche.

Per quanto riguarda le minacce, le esternalità più significative della produzione di elettricità nucleare sono causate dai rischi di incidenti gravi, che, seppur ridotta per gli SMRs, è pur sempre presente. Inoltre, lo stoccaggio a lungo termine delle scorie nucleari rappresenta un elemento che impatta negativamente sulla decisione di investire nel nucleare e negli SMR. Tali elementi si collegano con la preoccupazione pubblica e dei governi nei confronti del nucleare, che potrebbe limitare lo sviluppo di questa tecnologia. Il già citato contributo alla riduzione delle emissioni e la sicurezza intrinseca dei sistemi passivi sono elementi positivi della tecnologia che potrebbero rappresentare una leva per riuscire a dimostrare il contributo potenziale ad un più equilibrato mix energetico e quindi per favorire lo sviluppo del mercato.

5. Presentazione della ricerca: lo studio della futura SMR supply chain europea

5.1 La ricerca: obiettivi e metodologia

Come evidenziato nei paragrafi precedenti c'è grande interesse nel settore nucleare per la tecnologia innovativa degli SMRs. Esistono diversi progetti volti a dimostrare la fattibilità e la competitività di questa tecnologia. Come visto anche i paesi dell'Unione Europea stanno lavorando per raggiungere un posizionamento di rilievo.

Esistono diversi progetti in corso, che coinvolgono istituzioni pubbliche e imprese.

In Francia il CEA insieme a EDF, Gruppo Navale e Technicatome ha progettato un SMR ad acqua pressurizzata da 340 MWe, il cosiddetto Nuward, e il presidente Macron ha annunciato un piano di investimenti da 1 miliardo di euro.

In Repubblica Ceca l'utility ceca ČEZ ha firmato tre memorandum d'intesa per esplorare la possibile implementazione di SMR nel paese: nel 2019 con NuScale, nel febbraio 2020 con GE Hitachi per esaminare la fattibilità della costruzione di un BWRX-300 SMR e nel novembre 2020 con Rolls-Royce (IAEA, 2022) (WNN, 2020a).

NuScale Power e Nuclearelectrica hanno inoltre pianificato di costruire un piccolo reattore modulare NuScale (SMR) in Romania entro la fine del 2028 (WNN, 2022a).

In Finlandia il Centro di ricerca tecnica VTT ha lanciato un progetto per lo sviluppo di un piccolo reattore modulare per il teleriscaldamento. Questo progetto crea l'opportunità di sviluppare un nuovo settore industriale finlandese attorno alla tecnologia SMR e alla produzione dei componenti necessari per l'impianto (VTT, 2020). La società finlandese Fortum ha avviato una collaborazione triennale con il Massachusetts Institute of Technology (MIT) al fine di creare uno strumento open source per la modellazione tecno-economica di piccoli progetti di reattori modulari. Inoltre, Fortum, l'estone Fermi Energia e la società di ingegneria belga Tractebel hanno deciso di avviare una cooperazione basata sullo studio di un progetto di implementazione SMR in Estonia (WNN, 2020b).

In Svezia nel 2021 la società energetica Uniper ha firmato un accordo con lo sviluppatore di LeadCold e il Royal Institute of Technology (KTH) finalizzato alla costruzione di un SMR dimostrativo presso il sito di Oskarshamn entro il 2030. Il LeadCold SEALER SMR è progettato per generare 3-10 MWe in un periodo di 10-30 anni senza necessità di rifornimento. Di conseguenza, l'Agenzia svedese per l'energia ha assegnato alla collaborazione 10,6 milioni di dollari per costruire un prototipo non nucleare a propulsione elettrica SEALER a Oskarshamn per testare e verificare materiali e tecnologie in un ambiente di piombo fuso ad

alte temperature (WNN, 2022b). Inoltre, la società energetica svedese Vattenfall ha annunciato nel 2020 di partecipare a uno studio pilota estone sui piccoli reattori modulari (FERMI Energia SMR) (WNN, 2020c).

A fronte di queste azioni nazionali emerge l'esigenza di strutturare una vera e propria supply chain per la produzione di SMRs di dimensione europea. Come già evidenziato il settore nucleare ha vissuto in Unione Europea un periodo di declino, che ha portato ad un progressivo allontanamento delle imprese dal settore. Lo sviluppo degli SMRs richiede il rilancio dell'intero settore e il recupero delle relative competenze.

Per questa ragione le istituzioni europee stanno sviluppando delle azioni di supporto.

Nel 2019 si è tenuto un evento UE-USA, organizzato dalla Commissione Europea e dal Dipartimento per l'Energia americano (DOE) sul tema degli SMRs, a cui è seguito a giugno 2021 un evento organizzato dalla Commissione Europea sulle medesime tematiche, a cui partecipavano 110 attori del settore nucleare, autorità pubbliche e regolatorie, nonché istituzioni finanziarie pubbliche e private di 22 Paesi membri. L'obiettivo era di discutere sull'opportunità di una strategia comune per la diffusione sicura degli SMRs nell'UE per l'inizio del prossimo decennio. L'evento si è chiuso con un vision paper ampiamente condiviso e con una proposta di costituzione di una partnership europea guidata dal settore privato, con il coinvolgimento delle autorità di sicurezza, per lo sviluppo del primo SMR europeo.

A valle dell'evento di giugno 2021, con il supporto della Commissione Europea, NuclearEurope⁶ (ex Foratom), congiuntamente con la Sustainable Nuclear Energy Technology Platform (SNETP) e con la partecipazione dell'European Nuclear Safety Regulatory Group⁷ (ENSREG), ha promosso un'iniziativa volta a favorire la nascita di un Partenariato Europeo⁸ per gli SMR, in collaborazione con tutte le parti interessate

⁶ NuclearEurope è un'associazione con sede a Bruxelles che riunisce l'industria dell'energia nucleare in Europa allo scopo di rappresentarla di fronte alle istituzioni dell'UE sulle questioni connesse alle politiche per l'energia.

⁷ L'European Nuclear Safety Regulators Group (ENSREG) è un ente della Commissione Europea che ha lo scopo di aiutare le istituzioni europee a definire le condizioni per un continuo miglioramento della sicurezza nucleare e della gestione dei rifiuti radioattivi. Nasce nel 2007 ed è composto da funzionari delle autorità nazionali competenti sulla protezione dalle emissioni radioattive, sulla sicurezza nucleare o sulla sicurezza dei rifiuti nucleari di ciascuno dei 27 paesi membri e da rappresentanti della Commissione Europea.

⁸ I partenariati europei sono iniziative in cui l'Unione Europea, autorità nazionali e settore privato si uniscono al fine di sostenere lo sviluppo e l'attuazione di

dell'industria, la ricerca e i possibili clienti (come utilities e anche gli Stati membri), così come i policy-makers e le autorità regolatorie. L'obiettivo principale è identificare le condizioni e i vincoli finanziari, di progettazione, di costruzione e di gestione in sicurezza degli SMRs in Europa, in conformità con il quadro legislativo dell'UE e in particolare di Euratom (Steering Committee (SC) and specific WorkStreams (WSs), 2022).

Il progetto è stato strutturato in 5 WorkStreams, ognuno con un ambito d'analisi specifico:

- Workstream 1 - Analisi di mercato;
- Workstream 2 - Gestione licenze;
- Workstream 3 – Finanziamento;
- Workstream 4 - Adattamento della supply chain;
- Workstream 5 - Innovazione, R&S.

In particolare, il Workstream 4 si occupa degli elementi di interesse della Supply Chain. Il gruppo di lavoro guidato da Nuclear Europe, presieduto da Ansaldo Nucleare⁹ e con la partecipazione, oltre ad Ansaldo Nucleare, dei principali attori dell'industria nucleare europea Fortum¹⁰, Orano¹¹, Engie¹², Empresarios Agrupados¹³, Rolls-Royce¹⁴, Nuclearelectrica¹⁵, GIFEN, EDF¹⁶, Framatome¹⁷, Assystem¹⁸ e SNETP, ha avviato un progetto di ricerca con i seguenti obiettivi:

programmi di ricerca e innovazione. L'obiettivo dei partenariati è di contribuire al raggiungimento delle transizioni verde e digitale dell'Unione Europea.

⁹ Ansaldo Nucleare SpA è una impresa italiana leader nel mercato nucleare che opera in ogni suo ambito (New Nuclear Power Plant, Fusione, Services, Decommissioning and Waste Management).

¹⁰ Fortum Oyj è una impresa energetica finlandese di proprietà statale con sede a Espoo, in Finlandia, che vanta esperienza nella progettazione, concessione di licenze e gestione di impianti nucleari e fornitura di servizi e tecnologie correlate.

¹¹ Orano è una impresa francese, di cui il principale azionista è lo Stato, che opera nel campo dell'energia, specialmente quella nucleare.

¹² Engie è una multinazionale francese che opera nei settori della produzione e distribuzione di gas naturale, energie rinnovabili e servizi.

¹³ Empresarios Agrupados è una società d'ingegneria spagnola che opera anche nel mercato nucleare.

¹⁴ Rolls-Royce è un'azienda inglese nata come produttrice automobilistica, che si è diversificata successivamente nella produzione di motori aeronautici e diesel. Nell'ambito nucleare è nata Rolls Royce SMR ltd per lo sviluppo dell'innovazione.

¹⁵ Nuclearelectrica è una società energetica rumena, specializzata nel nucleare e posseduta per l'80% dallo Stato rumeno.

- identificare le esigenze specifiche per la produzione di SMRs;
- identificare le possibili supply chain in Europa e la loro adeguatezza alle esigenze del mercato;
- promuovere la standardizzazione, analizzando come implementarla e in che misura;
- analizzare le caratteristiche della modularizzazione e della qualità& affidabilità al fine di indagare possibili sinergie con altri settori industriali;
- massimizzare nuovi strumenti e metodi nella produzione degli SMRs;
- analizzare la possibilità di impiegare componenti non nucleari di alta qualità;
- analizzare la robustezza della futura supply chain.

Per il raggiungimento di tali obiettivi, la ricerca, oggi ancora in corso, è stata sviluppata secondo una metodologia quantitativa.

La ricerca si sviluppa infatti secondo le seguenti fasi:

1. individuazione di un campione di attori che operano nel settore nucleare e che potrebbero essere coinvolti nella supply chain degli SMRs;
2. elaborazione ed invio di un questionario ai principali vendor europei, volto a raccogliere la visione dell'industria sulle criticità della catena di approvvigionamento per riuscire a implementare i loro modelli di SMRs in Europa;
3. invio di un questionario, mediante i rappresentanti delle principali associazioni nucleari nazionali associate a NuclearEurope, ad attori che già operano nel nucleare. Il questionario è strutturato su 3 aree:
 - stato attuale delle supply chain nazionali (elenco delle imprese, gamma di prodotti, ecc.);
 - capacità di far fronte alle esigenze previste in materia di SMRs (ad esempio esperienza con diversi progetti di reattori, con diversi codici/ standard, abilità ingegneristiche interne e migliorie dei processi produttivi);
 - potenziale di crescita della capacità sulla base della capacità attualmente disponibile non utilizzata per il nucleare e possibili colli

¹⁶ EDF è la più grande azienda francese per la produzione e distribuzione di energia elettrica in Francia.

¹⁷ Framatome è un'azienda francese specializzata nel settore nucleare e posseduta da EDF, Mitsubishi e Assystem.

¹⁸ Assystem è una impresa di ingegneria con sede a Parigi.

di bottiglia provenienti dal sotto-approvvigionamento (ad esempio materie prime);

4. analisi delle risposte ed elaborazione di un report finale.

A tali azioni, si sono aggiunte interviste e workshop con attori di altri settori industriali già esperti nella modularizzazione e nell'eventuale utilizzo di componenti non nucleari, per valutare l'opportunità di un loro coinvolgimento.

5. 2 Descrizione del campione di imprese e delle attività: primi riscontri

Allo scopo di individuare il campione di analisi si è fatto riferimento alla sezione europea del database contenuto nella Nuclear Engineering International (NEI) Buyers' Guide¹⁹.

Dopo un primo screening nel quale sono stati esclusi università e centri di ricerca è stato individuato un campione di 118 imprese (Fig. 7).

¹⁹ La Nuclear Engineering International è una rivista tecnica nucleare indipendente, pubblicata a partire dal 1956 e copre tutti gli aspetti della produzione di energia nucleare civile e le relative catene di approvvigionamento a livello globale. Fornisce inoltre una lista di attori associati che operano a livello globale nel mercato nucleare. La sezione europea del database è disponibile all'<https://www.neimagazine.com/contractors/region/europe/>

Figura 7 - Distribuzione europea dei soggetti inclusi nel database NEI (Fonte: nostra elaborazione)

Analizzando il campione si evidenzia che il 23% delle imprese è francese. La Francia è sempre stata pioniera nel mercato nucleare; con una dotazione di 56 reattori, il fuel mix francese è alimentato per il 70% da energia nucleare. Uno dei tre reattori in costruzione in Unione Europea è in costruzione in Francia e nel febbraio 2022 la Francia ha annunciato l'intenzione di costruire sei nuovi reattori e di prendere in considerazione la costruzione di altri otto (WNA, 2022b) al fine di rinnovare il proprio parco reattori. La Francia è seguita dalla Germania (18%), paese storicamente impegnato nel nucleare che, a fronte della crisi ucraina, ha sospeso la chiusura delle ultime centrali attive. Significativo anche il peso della Svizzera (10%), dell'Italia (8%), della Spagna (7%) e della Svezia (6%). Tra questi paesi spicca la presenza dell'Italia, malgrado il Paese abbia da tempo rinunciato all'opzione nucleare.

Il campione è stato analizzato anche sotto il profilo delle attività svolte dalle imprese. Si tratta di un tema di interesse specifico, dal momento che l'obiettivo dello studio è fare il punto sulla presenza in Unione Europea di imprese che possano essere coinvolte nella supply chain degli SMRs.

La NEI Buyers' Guide attribuisce a ciascun soggetto un elenco di attività molto specifiche che hanno reso l'analisi del campione difficile da gestire. La guida fa riferimento a 383 diverse attività, che vanno da specifici servizi di ingegneria alla fornitura di apparecchiature.

Al fine di avere un elenco più significativo è stato ideato un sistema di classificazione delle attività in base alla loro possibile criticità rispetto alle attività necessarie per gli SMR (Allegato 1):

- le attività di rank 1 sono state considerate come una criticità per lo sviluppo e l'ingegneria del design SMR e/o perché sul mercato è presente un numero limitato di fornitori qualificati (principalmente per componenti per l'isola nucleare e i suoi sistemi ausiliari);
- al rank 2 sono state assegnate le attività che possono rappresentare una specificità per alcuni dei design SMR oppure che potrebbero essere richieste in grandi volumi. Queste attività, tuttavia, non rappresenterebbero una criticità di fornitura in quanto la maggior parte delle strumentazioni incluse non sono soggette a severi requisiti nucleari e/o sono supportate da una serie ampia di fornitori del settore non nucleare che potrebbero essere facilmente qualificati;
- al rank 3 corrispondono le attività che non sono state considerate critiche per il futuro deployment degli SMR, né in termini di specificità né in termini di volumi potenzialmente derivanti da una

produzione in serie. A queste sono stati aggiunti i servizi e le analisi di ingegneria generica;

- infine, sono stati classificati come “Not Applicable” (N/A) i servizi non direttamente correlati alla fornitura di apparecchiature, ma legati alle fasi successive del ciclo di vita della centrale nucleare (commissioning, manutenzione e decommissioning).

Complessivamente 73 attività sono state assegnate al rank 1, 43 al rank 2 e 265 al rank 3. Le 73 attività di rank 1 sono state raggruppate in 16 categorie, in base alla natura della fornitura o all'eventuale raggruppamento in un sistema integrato di componenti/servizi (Allegato 2). Ad esempio, nella categoria “Ingegneria” sono state fatte rientrare tutte le attività di ingegneria considerate critiche (Analisi - fisica dei reattori, Analisi - normative e licenze, Analisi- idraulica termica, Modelli ambientali e di incidenti, Sicurezza probabilistica e valutazione dei rischi). Inoltre è stata creata la sezione “Reactor Design e Supply”, le cui attività sono tipicamente svolte dal Vendor; tuttavia è interessante tenere traccia delle aziende europee che potrebbero supportare il Vendor e diventare partner/fornitori.

Category	Number of Rank 1 activities
Containment and appurtances	4
Core and related equipment Design & Supply	6
Core control drives	1
Core internals and fuel racks	2
Core monitoring	3
Engineering	6
Fuel cycle	7
Handling systems	4
Heat exchanging components	4
Heating components	2
Heavy mechanical pressure equipment	6
Other mechanical components	5
Other services	5
Raw materials, semi-finished	7
Reactor Design & Supply*	7
Services for mechanical components	4
Overall Total	73

Tabella 2 - Numero attività per categoria NEI (Fonte: nostra elaborazione)

Category	Number of Suppliers
Containment and appurtances	2
Core and related equipment Design & Supply	2
Core control drives	6
Core internals and fuel racks	5
Core monitoring	14
Engineering	10
Fuel cycle	11
Handling systems	14
Heat exchanging components	2
Heating components	8
Heavy mechanical pressure equipment	14
Other mechanical components	7
Other services	8
Raw materials, semi-finished	7
Reactor Design & Supply*	5
Services for mechanical components	6
Overall Total	121

Tabella 3 - Numero suppliers per categoria NEI (Fonte: nostra elaborazione)

Tabella 4 - Distribuzione europea delle attività di "Rank 1" (Fonte: nostra elaborazione)

La tabella 2 mostra il numero di attività di Rank 1 raggruppate in ciascuna categoria, mentre la tabella 3 mostra il numero di suppliers europei per categoria. Il numero totale di fornitori che si inseriscono in almeno un'attività di rank 1 è 66. Le attività che vedono il maggior numero di suppliers, e che quindi non rappresentano un problema per la futura supply chain, sono Core monitoring (14 suppliers), Handling systems (14 suppliers) e heavy mechanical pressure equipment (14 suppliers)

Vi sono invece tre categorie che, a livello europeo, presentano solo due fornitori: containment and appurtances, core control drives e heating components. Tali attività potrebbero dunque rappresentare una criticità per il mercato.

La distribuzione geografica dei fornitori (classificati in almeno un'attività di rank 1) è riassunta nella tabella 4, che può essere analizzata per paese e per categoria.

Figura 8 - Distribuzione dei suppliers di Rank 1 (Fonte: nostra elaborazione)

La Francia possiede il maggior numero di suppliers di componenti critici per gli SMRs a livello europeo (con 20 suppliers), seguita da Germania e Italia (entrambe con il 12%) e poi dalla Spagna (11%). Spicca anche in questo caso l'Italia, che si colloca in posizione simile a paesi che hanno mantenuto la produzione nucleare nel loro territorio. Nonostante in Italia non vi siano centrali nucleari attive, sul territorio sono presenti molte imprese con un elevato grado di specializzazione che possono offrire forniture critiche e fondamentali per lo sviluppo del mercato. Si tratta di un risultato in linea con il primato che l'Italia ha nel campo della fusione, dove, dopo la Francia, sta ottenendo più commesse nell'ambito della costruzione di ITER (Bruzzi e Pecchioni, 2022). La filiera della fusione potrebbe diventare un driver per la futura supply chain europea degli SMRs.

Approfondendo l'analisi all'interno delle singole attività individuate, si trovano alcune attività del rank1 per cui esiste solo un fornitore (si veda tabella 5). Inoltre nell'80% dei casi il singolo fornitore è la stessa impresa, Framatome, colosso del mercato nucleare francese. Questo evidenzia un limite del database utilizzato, che sembra non comprendere i fornitori di secondo e terzo livello della supply chain; se questa ipotesi fosse corretta il database potrebbe non riuscire ad intercettare tutto il tessuto industriale europeo che potrebbe operare nel segmento SMRs. Allo stesso tempo evidenzia la forza della Francia, la quale, presente in pressoché tutte le attività di rank1, potrebbe già possedere tutte le competenze necessarie e svolgere, ancora una volta, il ruolo di traino.

Activity	Supplier
Control rods	Framatome
Cores, reactor	Framatome
Grids, fuel element	Framatome
Criticality monitors/systems	Framatome
Electronics, radiation resistant	Magics
Uranium enrichment	AREVA
Heaters, electric	Linn High Therm GmbH
Pressuriser heaters	Framatome
Flanges, pressure vessel	Framatome
Nozzles, RPV	Framatome
Pumps, small	Andritz AG - Pumps Division
Spray nozzles	Framatome
Stress relief equipment	Framatome
Corrosion inhibitors	Framatome
Steels, special	Valinox Nucléaire (Vallourec Group)
NSSS, fast reactors	Framatome
Reactor design, fast breeder	Framatome
Reactor design, gas-cooled	Framatome
Reactor design, high temperature	Framatome
Annealing, reactor pressure vessel	Framatome
Machining services	Framatome

Tabella 5 - Attività di Rank 1 con un solo fornitore (Fonte: nostra elaborazione)

6. Conclusioni: quali prospettive per la filiera europea degli SMRs

Le prime evidenze emerse dalla ricerca ancora in corso confermano la necessità di porre in essere azioni che rilancino la filiera del nucleare a livello europeo.

Eccellenza europea del XX secolo, frutto dell'impostazione politica sancita dai padri fondatori dell'Unione Europea, il settore nucleare si confronta oggi con delle criticità che per essere affrontate con successo richiedono un investimento che va oltre le azioni di coordinamento e incentivo adottate dalle istituzioni europee.

Gli anni di disinvestimento hanno portato alla perdita di competenze che oggi appaiono necessarie per competere su scala globale in un nuovo segmento di frontiera, tanto che per supplire a queste carenze si potrebbe adottare la procedura della Commercial-Grade Dedication con cui imprese fornitrici non qualificate ad operare nel nucleare vengono ammesse grazie ad attività ispettive svolte dalle imprese qualificate e con esperienza pluriennale nel settore. Si tratta di una procedura utile, che però richiederebbe di essere affiancata da altre misure di matrice pubblica per non spostare interamente sul privato l'onere di rilanciare il settore.

Gli SMRs costituiscono una opportunità per riprendere il percorso tracciato dai padri fondatori, ispirandosi all'esperienza di Euratom del XX secolo (Bruzzi, 2022). Il trattato Euratom prevede la possibilità di costituire delle imprese comuni europee con il compito di avviare attività industriali (per esempio la costruzione di centrali nucleari). È grazie a questo trattato che nel passato sono state create imprese che hanno operato nel campo della fissione e della fusione per la realizzazione di reattori sperimentali. Da qui si potrebbe ripartire per rilanciare la supply chain degli SMRs, nella quale il ruolo della R&D, al centro del trattato Euratom per lo sviluppo dell'industria nucleare europea, ha un ruolo fondamentale.

Dal trattato Euratom si potrebbe ripartire per avviare forme innovative di cooperazione rafforzata nella quale pubblico e privato potrebbero collaborare per far avanzare, come nel passato, il know-how e la competitività europei.

Allegati

Allegato 1 – Elenco delle attività e loro rango di pertinenza

Nota metodologica:

* le attività di rank 1 sono state considerate come una criticità per lo sviluppo e l'ingegneria del design SMR e/o perché sul mercato è presente un numero limitato di fornitori qualificati;

* al rank 2 sono state assegnate le attività che possono rappresentare una specificità per alcuni dei design SMR oppure che potrebbero essere richieste in grandi volumi;

* al rank 3 corrispondono le attività che non sono state considerate critiche per il futuro deployment degli SMR, né in termini di specificità né in termini di volumi potenzialmente derivanti da una produzione in serie;

* “Not Applicable” (N/A) i servizi non direttamente correlati alla fornitura di apparecchiature, ma legati alle fasi successive del ciclo di vita della centrale nucleare.

Attività	Grado di rilevanza
Analisi, fisica dei reattori	1
Analisi, regolamentazione e licensing	1
Analisi termoidraulica	1
Ricottura, recipiente a pressione del reattore	1
Architetto/ingegneri	1
Contenitori per reattori BWR e PWR	1
Getti	1
Azionamenti a barre di controllo	1
Barre di controllo	1
Nucleri per reattori	1
Inibitori di corrosione	1
Sistemi e servizi di sicurezza per gru	1
Monitor/sistemi di criticità	1
Elettronica resistente alle radiazioni	1
Modellazione ambientale e degli incidenti	1
Riscaldatori di acqua di alimentazione	1
Flange per recipienti a pressione	1
Forgiati	1
Gestione e servizi del ciclo del combustibile e del combustibile	1
Componenti di assemblaggio carburante	1
Rivestimento del combustibile	1
Progettazione del carburante	1
Fabbricazione del carburante	1

Attività	Grado di rilevanza
Attrezzature per la movimentazione del carburante	1
Rack di stoccaggio del carburante	1
Alimentazione carburante	1
Combustibile a ossido misto (MOX)	1
Macchine per il rifornimento	1
Forni per sinterizzazione di combustibile	1
Griglie di elementi di combustibile	1
Leghe per rivestimenti duri	1
Scambiatori di calore	1
Riscaldatori elettrici	1
Apparecchiature per il controllo dell'idrogeno, l'accensione e la ricombinatrice	1
Monitoraggio e strumentazione in-core	1
Servizi di lavorazione meccanica	1
Apparecchiature per prove sui materiali	1
Nuovi progetti di reattori	1
Ugelli, RPV	1
Ugelli per generatori di vapore	1
NSSS, reattori veloci	1
NSSS, reattori termici	1
Ciclo del combustibile nucleare	1
Penetrazioni elettriche	1
Penetrazioni meccaniche	1
Recipienti a pressione non reattori	1
Riscaldatori a pressurizzatore	1
Pressuriser	1
Sicurezza probabilistica e valutazione del rischio	1
Apparecchiature per il trattamento termico di processo	1
Pompe	1
Pompe di piccole dimensioni	1
Servizi di qualificazione e collaudo	1
Garanzia di qualità	1
R&S e test	1
Progettazione del reattore, breeder veloce	1
Progettazione del reattore, raffreddato a gas	1
Progettazione del reattore, alta temperatura	1
Progettazione del reattore, PWR	1
Interni del reattore	1
Recipienti a pressione per reattori	1
Ricombinanti	1
Robotica, robot e attrezzature robotiche	1
Metalli e leghe speciali	1

Attività	Grado di rilevanza
Ugelli spray	1
Generatori di vapore	1
Acciai speciali	1
Attrezzature antistress	1
Cicli di test	1
Tubatura	1
Arricchimento dell'uranio	1
Valvolame	1
Valvole di sicurezza e di scarico	1
Zirconio/zircaloy	1
Condensatori di vapore	2
Servizi di pianificazione delle emergenze	2
Camere di fissione	2
Fisica sanitaria, attrezzature e forniture	2
Servizi di sollevamento pesante	2
Servizi di trasporto pesante	2
Camere di ionizzazione	2
Piombo e prodotti di piombo	2
Refrigerante principale	2
Attrezzature per la movimentazione meccanica	2
Separatori/riscaldatori di umidità	2
Rivelatori di neutroni	2
Mappatura del flusso neutronico	2
Monitoraggio del flusso neutronico	2
Monitoraggio dell'ossigeno e misurazione delle tracce	2
Sonde a correnti parassite	2
Sonde ad ultrasuoni	2
Rivelatori di radiazioni a stato solido a semiconduttore	2
Monitoraggio delle radiazioni	2
Trattamento dei rifiuti radwaste, apparecchiature presso il reattore	2
Trattamento con rifiuti radwaste, alto livello	2
Trattamento con rifiuti radwaste, livello basso e intermedio	2
Strumentazione del reattore	2
Monitor di potenza del reattore	2
Protezione e controllo del reattore	2
Servizi di database affidabili	2
Reattori di ricerca, prova e addestramento	2
Bracci robotici e manipolatori	2
Servizi sismici	2
Apparecchiature di prova sismica	2
Servizi di shake table	2

Attività	Grado di rilevanza
Acciaio inossidabile	2
Generatori di standby	2
Turbine a vapore	2
Surriscaldatori	2
Strumentazione al trizio	2
Generatori a turbina	2
Tester e trasduttori ad ultrasuoni	2
Ups	2
Valvole di sovrappressione	2
Materiali per saldatura e brasatura	2
Attrezzature per saldatura	2
Saldatura remota	2
Scansione laser 3D	3
Acceleratori	3
Accelerometri	3
Sistemi di controllo accessi	3
Sensori acustici	3
Attuatori	3
Campionamento/analisi dell'aria	3
Sistemi di allarme	3
Analizzatori	3
Analizzatori multicanale	3
Analisi, incidenti e transitori di impianto	3
Analisi, invecchiamento	3
Analisi, criticità	3
Analisi ambientale	3
Analisi, fallimento	3
Analisi, meccanica delle fratture	3
Analisi, trasferimento di calore	3
Analisi, fattori umani	3
Analisi, manutenzione	3
Analisi, flessibilità delle tubazioni	3
Analisi, rischio	3
Analisi sismica	3
Analisi, schermatura	3
Analisi, stress	3
Servizi analitici generali	3
Edifici accessori	3
Apparecchiature di analisi	3
Autoclavi	3
Equilibrio tra impiantistica e sistemi	3
Batterie, monitoraggio della batteria, test della batteria	3

Attività	Grado di rilevanza
Caricabatterie	3
Soffietti metallici	3
Soffiatori e ventilatori	3
Tenditori di bulloni	3
Servizi e attrezzature per bullonatura e tensionamento dei perni	3
Boroscopi e fibroscopi	3
Cavi	3
Telecamere e apparecchiature CCTV	3
Capsule per prove di irradiazione	3
Rivelatori di particelle cariche	3
Prodotti chimici per la pulizia e la protezione	3
Pulizia, flangia del recipiente del reattore, foro del perno e del perno	3
Rivestimenti	3
Rivestimenti, spogliabili/pelabili, per la decontaminazione	3
Committenza	3
Software comp, accessori e periferiche per C & I	3
Compressori	3
Progettazione e modellazione assistita da computer	3
Servizi informatici	3
Ispezione del calcestruzzo	3
Riparazione, manutenzione e svc subacquei	3
Servizi di manutenzione e retubing del condensatore	3
Monitoraggio delle condizioni, sorveglianza on-line, diag	3
Connettori elettrici	3
Servizi di costruzione	3
Consulenti	3
Sale di controllo e strumentazione della sala di controllo	3
Sistemi di controllo	3
Strumentazione di livello del refrigerante (reattore)	3
Torri di raffreddamento	3
Giunti	3
Gru e paranchi	3
Apparecchiature criogeniche	3
Sistemi di acquisizione dati	3
Sistemi di elaborazione dati	3
Servizi di recupero detriti	3
Disattivazione	3
Attrezzature di decontaminazione	3
Servizi di decontaminazione	3
Servizi di progettazione civile	3

Attività	Grado di rilevanza
Servizi di progettazione, controllo e strumentazione	3
Servizi di progettazione di tubazioni	3
Servizi di progettazione di impianti	3
Moduli di circuiti digitali	3
Servizi di immersione	3
Documentazione	3
Monitor per porte	3
Essiccatori d'aria/gas	3
Elettrico, cavi	3
Componenti e apparecchiature elettroniche	3
Servizi di intervento radiologico di emergenza	3
Informazioni sulla risposta alle emergenze svcs, sistemi e strutture	3
Servizi per l'impiego e il reclutamento	3
Servizi di ingegneria	3
Attrezzature e servizi di monitoraggio ambientale	3
Impianto evaporatore	3
Compensatori	3
Esplorazione	3
Componenti ferrosi fabbricati	3
Componenti non ferrosi fabbricati	3
Fissaggio	3
Fibre ottiche	3
Servizi di ingegneria sul campo	3
Servizi sul campo	3
Contenimento del filtro	3
Servizi di filtro	3
Sistemi di ventilazione filtrati per il contenimento	3
Filtri	3
Attrezzature antincendio	3
Servizi antincendio	3
Indicatori di flusso	3
Misurazione della portata	3
Misuratori di portata	3
Controllo dell'esclusione di materiali estranei e parti acc	3
Blocca i servizi di collegamento	3
Monitoraggio degli elementi di combustibile	3
Esame del carburante, PIE & PII	3
Attrezzature per piscine di carburante	3
Riparazione e sostituzione del carburante	3
Guarnizioni	3
Calibri	3

Attività	Grado di rilevanza
Contatori/tubi Geiger-Mueller	3
Servizi geologici e geotecnici	3
Accessori per vano portaoggetti	3
Scatole portaoggetti	3
Fisica sanitaria e personale dose di radiazioni mgt	3
Riscaldamento, ventilazione, aria condizionata	3
Celle calde e laboratori	3
Attrezzature idrauliche	3
Apparecchiature di campionamento e analisi in linea	3
Ispezione e classificazione	3
Ispezione e audit di terzi	3
Attrezzature di ispezione	3
Materiali di ispezione	3
Ispezione in servizio	3
Ispezione, pre-assistenza	3
Impianti elettrici	3
Installazioni, strumentazione	3
Impianti meccanici	3
Riparazione/calibrazione dello strumento	3
Strumentazione	3
Strumentazione e controllo e impianti elettrici	3
Strumentazione e ingegneria di controllo	3
Armadi di strumentazione, consolle, pannelli	3
Assistenza e manutenzione integrate	3
Inverter	3
Materiali a scambio ionico	3
Servizi di resina a scambio ionico	3
Impianti di irradiazione e capsule	3
Stoccaggio e manipolazione degli isotopi	3
Servizio lavanderia	3
Apparecchiature e servizi per il rilevamento delle perdite	3
Sistemi di rilevamento perdite per il monitoraggio in servizio	3
Servizi di misurazione della velocità di perdita	3
Tenuta stagna	3
Indicatori di livello	3
Apparecchi di illuminazione	3
Fodere di plastica	3
Monitor per parti sciolte	3
Manutenzione	3
Consulenza e servizi di gestione	3
Manipolatori	3

Attività	Grado di rilevanza
Spettrometri di massa	3
Sistemi di alimentazione moderni	3
Modernizzazione e aggiornamenti	3
Monitor	3
Motori	3
Motori della pompa principale del refrigerante	3
Materiali che assorbono neutroni	3
Controlli non distruttivi	3
Apparecchiature per prove non distruttive	3
Dighe a ugello	3
Imballaggi e ghiandole	3
Sistemi di verniciatura	3
Attrezzature per la piegatura e il taglio di tubi	3
Raccordi per tubi, flange e raccordi	3
Ganci e supporti per tubi	3
Ispezione delle tubazioni	3
Sistemi di ritenuta per fruste per tubi	3
Tubi e tubazioni	3
Sistemi di tubazioni	3
Ammortizzatori per tubazioni	3
Previsione ed estensione della vita vegetale	3
Apparecchiature di trasferimento pneumatico	3
Sistemi di campionamento e monitoraggio post incidente	3
Alimentatori	3
Sistemi di protezione dell'alimentazione	3
Pressostati	3
Trasmittitori di pressione	3
Approvvigionamento	3
Gestione di progetto	3
Indumenti protettivi	3
Sostituzione della testa del recipiente del reattore PWR	3
Indagini sull'area di radiazione	3
Contatori di radiazioni	3
Caratterizzazione dei rifiuti radioattivi	3
Compattatori di scorie radioattive	3
Analisi di gestione e gestione dei rifiuti radioattivi	3
Inceneritori di rifiuti radioattivi	3
Gestione dei rifiuti radioattivi	3
Monitoraggio dei rifiuti radioattivi	3
Imballaggi per rifiuti radioattivi	3
Trituratori di scorie radioattive	3
Radiochimici	3

Attività	Grado di rilevanza
Apparecchiature radiografiche	3
Radioisotopi	3
Solidificazione e incapsulamento dei rifiuti radwaste	3
Contenitori per lo stoccaggio e il trasporto di rifiuti radioattivi	3
Servizi di rifornimento	3
Dispositivi di riparazione e manutenzione remoti	3
Veicoli remoti	3
Resine a scambio ionico	3
Rilevatori di temperatura a resistenza (RTD)	3
Dispositivi di protezione delle vie respiratorie	3
Salvaguarda attrezzature e servizi	3
Sistemi di visualizzazione dei parametri di sicurezza	3
Scintillatori	3
Materiali di tenuta	3
Guarnizioni e sistemi di tenuta	3
Impianto di desalinizzazione dell'acqua di mare	3
Sistemi e attrezzature di sicurezza	3
Strumentazione sismica	3
Servosistemi e attrezzature	3
Contenitori schermati	3
Porte schermanti	3
Sistemi di schermatura	3
Finestre di schermatura	3
Simulatori di formazione	3
Studi di localizzazione	3
Servizi di test e riduzione Snubber	3
Snubbatori	3
Gestione ricambi	3
Gestione del combustibile esaurito e servizi di back-end	3
Servizi di pulizia della piscina a combustibile esaurito	3
Botti di stoccaggio e trasporto del combustibile esaurito	3
Impianti di stoccaggio del combustibile esaurito, ingegneria e constr.	3
Springs	3
Ispezione del generatore di vapore	3
Sostituzione del generatore di vapore	3
Servizi di generatori di vapore	3
Tubi del generatore di vapore	3
Filtri ad alta pressione	3
Filtri a bassa pressione	3
Fessurazione, analisi e trattamento della corrosione da	3

Attività	Grado di rilevanza
stress	
Tenditori a perno	3
Quadri elettrici	3
Serbatoi di stoccaggio	3
Servizi e attrezzature per l'ispezione televisiva	3
Misurazione della temperatura	3
Tenditori a perno e bullone	3
Termocoppie	3
Formazione, test e funzionamento del sistema di filtraggio	3
Formazione generale	3
Formazione, fisica della salute	3
Formazione, manutenzione	3
Formazione, operatore	3
Formazione, gestione della qualità	3
Trasduttori	3
Trasmettitori di pressione	3
Trasmettitori di temperatura	3
Trasporto di materiali nucleari	3
Botti di trasporto/stoccaggio	3
Apparecchiature per vuoto	3
Manutenzione valvole e attuatori per valvole	3
Sistemi diagnostici per valvole	3
Indicatori di posizione della valvola	3
Riparazione valvole in linea	3
Collaudo valvole on line	3
Valvole a solenoide	3
Valvole per vuoto	3
Misurazione di vibrazioni/rumore	3
Qualità dell'acqua e chimica, analisi e controllo eq	3
Trattamento delle acque	3
Materiali impermeabilizzanti	3
Saldatura, contenitore per rifiuti	3
Servizi di gestione delle interruzioni e della manutenzione	N/D
Ritrattamento	N/D

Allegato 2 – Raggruppamento delle attività pertinenti in categorie

Suppliers Category	Activities
Containment and appurtances	
	Hydrogen control, ignition & recombiner equipment
	Penetrations, electrical
	Penetrations, mechanical
	Recombiners
Core and related equipment Design & Supply	
	Control rods
	Cores, reactor
	Fuel assembly components
	Fuel cladding
	Fuel design
	Grids, fuel element
Core control drives	
	Control rod drives
Core internals and fuel racks	
	Fuel storage racks
	Reactor internals
Core monitoring	
	Criticality monitors/systems
	Electronics, radiation resistant
	In-core monitoring and instrumentation
Engineering	
	Analysis, reactor physics
	Analysis, regulatory and licensing
	Analysis, thermal hydraulic
	Architect/engineers
	Environmental and accident modelling
	Probabilistic safety and risk assessment

Suppliers Category	Activities
Fuel cycle	
	Fuel and fuel cycle management and services
	Fuel fabrication
	Fuel supply
	Fuel, mixed oxide (MOX)
	Furnaces, fuel sintering
	Nuclear fuel cycle
	Uranium enrichment
Handling systems	
	Crane safety systems and services
	Fuel handling equipment
	Fuelling machines
	Robotics, robots and robotic equipment
Heat exchanging components	
	Feedwater heaters
	Heat exchangers
	Nozzles, steam generator
	Steam generators
Heating components	
	Heaters, electric
	Pressuriser heaters
Heavy mechanical pressure equipment	
	BWR & PWR Reactor Vessels
	Flanges, pressure vessel
	Nozzles, RPV
	Pressure vessels, non-reactor
	Pressurisers
	Reactor pressure vessels
Other mechanical components	
	Pumps
	Pumps, small

Suppliers Category	Activities
	Spray nozzles
	Valves
	Valves, safety and relief
Other services	
	Qualification and testing services
	Quality assurance
	R&D and test
	Stress relief equipment
	Test loops
Raw materials, semi-finished	
	Castings
	Corrosion inhibitors
	Forgings
	Hardfacing alloys
	Special metals and alloys
	Steels, special
	Zirconium/zircaloy
Reactor Design & Supply	
	New reactor designs
	NSSS, fast reactors
	NSSS, thermal reactors
	Reactor design, fast breeder
	Reactor design, gas-cooled
	Reactor design, high temperature
	Reactor design, PWR
Services for mechanical components	
	Annealing, reactor pressure vessel
	Machining services
	Materials testing equipment
	Tubing

Bibliografia

- Adinolfi R. (2022), *SMR deployment through Europe: which challenges for the Supply Chain?*, SNETP Forum, <https://snetp.eu/wp-content/uploads/2022/06/SNETP-TS1-P4-Supply-chain.pdf>
- Bohnstedt A. (2022), *Partnership interaction with stakeholders and use of infrastructures*, ORIENT-NM Workshop, Organisation of the European Research Community on Nuclear Materials.
- Bowen M. e P. Dabbar (2022), *Reducing Russian Involvement in Western Nuclear Power Markets*, May 23, 2022, Center on Global Energy Policy, Columbia University, <https://www.energypolicy.columbia.edu/research/commentary/reducing-russian-involvement-western-nuclear-power-markets>
- BP (2022), *Statistical Review of World Energy*, June 2022, <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>
- Bruzzi S. (2006), *Impresa Comune europea e perseguimento dell'interesse generale: l'esperienza del comparto della fusione termonucleare controllata*, in G. Rossi, *L'impresa europea di interesse generale*, Quaderni della rivista Servizi Pubblici e appalti, 2, pp. 167-198.
- Bruzzi S. (2022), *Il governo del mercato dell'energia verde. Prima parte – Il ruolo dell'Euratom*, ISSN: 2038-0623, ISBN: 978-88-96871-95-9, Centro Studi sul Federalismo, <https://www.csfederalismo.it/it/pubblicazioni/research-paper/il-governo-del-mercato-dell-energia-verde-prima-parte-il-ruolo-dell-euratom>
- Bruzzi S. e M. Pecchioni (2022), "Investment in Science-based Sectors and European Competitiveness: the Role of the Italian Fusion Supply Chain", in *The European Union Review*, no. 1, Vol. XXVII, 2022, pp. 57-82
- Cartei G.F. (2013), *Cambiamento climatico e sviluppo sostenibile*, G. Giappichelli editore- Torino, 9788834892473
- Commissione Europea (2006), *Libro verde "Una strategia europea per un'energia sostenibile, competitiva e sicura"*, 8 marzo, COM(2006) 105 def.
- Commissione Europea (2007), *Comunicazione della Commissione al Consiglio europeo e al parlamento europeo, Una politica energetica per l'Europa*, 10 gennaio, COM(2007) 1definitivo
- Commissione Europea (2014), *Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale europeo e al Comitato delle Regioni, Quadro per le politiche dell'energia e del clima per il periodo dal 2020 al 2030*, COM(2014) 15 final

- Commissione Europea (2019), Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale europeo e al Comitato delle Regioni, *Il Green Deal Europeo*, 11 dicembre, COM(2019) 640 final
- Commissione Europea (2020), Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale europeo e al Comitato delle Regioni, *Sustainable Europe Investment Plan, European Green Deal Investment Plan*, 14 gennaio, COM(2020) 21 final
- Commissione Europea (2022), website, *EU taxonomy for sustainable activities*, https://ec.europa.eu/info/business-economy-euro/banking-and-finance/sustainable-finance/eu-taxonomy-sustainable-activities_en
- Commissione Europea (2022), website, *Un Green Deal Europeo*, https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_it
- Court S. (2009), *The Supply Chain for a UK Nuclear New Build Programme. A report submitted to the Department for Business Enterprise & Regulatory Reform* (Updated February 2009), National Metals Technology Centre (NAMTEC) 2009, <http://www.berr.gov.uk/files/file47664.pdf>
- Cumo M. (1976), *Impianti Nucleari*, Sapienza Università Editrice, 2012, ISBN 8895814630, 9788895814636
- Deloitte (2019), *Executive Summary Impact Report - Vision to 2050 Foratom – European Atomic Forum*, https://www.foratom.si/upload/publication/20190425_executive-summary-foratom_v2.pdf
- Deloitte (2022), *The Complementary Climate Delegated Act*, <https://www2.deloitte.com/ce/en/pages/tax/the-complementary-climate-delegated-act.html>
- ESNII + (2016), FP7-Fission-2013, Combination of Collaborative Project (CP) and Coordination and Support Actions (CSA), Grant Agreement No: 605172, *Status and perspectives of supply chain for Fast Reactors*
- Eurostat (2022), *Energy statistics - an overview*, https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_statistics_-_an_overview#Final_energy_consumption
- Eurostat interactive publication (2020), *Shedding light on energy in the EU*, <https://ec.europa.eu/eurostat/cache/infographs/energy/bloc-2a.html>
- GEN IV International Forum (2022), *Origin of the GIF*, https://www.gen4.org/gif/jcms/c_9334/origins
- Haas R., Mez L., Ajanovic A. (2019), “The Technological and Economic Future of Nuclear Power, Energiepolitik und Klimaschutz”, *Energy Policy and Climate Protection*, https://doi.org/10.1007/978-3-658-25987-7_1

- Hainsch K., Konstantin Löffler K., Burandt T., Hans Auer H., Crespo del Granado P., Pisciella P., Zwickl-Bernhard S. (2022), “Energy transition scenarios: What policies, societal attitudes, and technology developments will realize the EU Green Deal? ”, *Energy*, Vol. 239, Part C.
- IAEA (1978), *Capital Investment Costs of Nuclear Power Plants*, <https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/magazines/bulletin/bull20-1/20104781123.pdf>
- IAEA (2016), *Industrial involvement to support a national nuclear power programme*, IAEA nuclear energy series No. NG-T-3.4, https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P1703_web.pdf
- IAEA (2019), *Nuclear and Renewables: Playing Complementary Roles in Hybrid Energy Systems*, <https://www.iaea.org/newscenter/news/nuclear-and-renewables-playing-complementary-roles-in-hybrid-energy-systems>
- IAEA (2020), *Advances in Small Modular Reactor Technology Developments*, A supplement to: IAEA Advances Reactors Information System (ARIS), 2020 Edition, IAEA, Vienna https://aris.iaea.org/Publications/SMR_Book_2020.pdf
- IAEA (2022), EVT2103861, Technical Meeting on Codes and Standards, Design Engineering and Manufacturing of Components for Small Modular Reactors, Kickhofel J. (Apollo + Nuclear), 2022, *Off-the-shelf SSC Acceptance in support of Lean SMR Deployment*
- IEA (2022), *Nuclear Power and Secure Energy Transitions. From today's challenges to tomorrow's clean energy system*, Revised version, September 2022, <https://www.iea.org/reports/nuclear-power-and-secure-energy-transitions>
- Il Sole 24 Ore (2022), *La Tassonomia europea, un'opportunità per la finanza sostenibile*, https://www.ilsole24ore.com/art/la-tassonomia-europea-opportunita-la-finanza-sostenibile-AEluiIMB?refresh_ce=1
- Lovering, J.R., A. Yip and T. Nordhaus (2016), “Historical construction costs of global nuclear power reactors”, *Energy Policy*, no. 91, pp. 371-382.
- Minopoli U. (2022), *Nucleare. Ritorno al futuro*, Guerini e Associati.
- Murray R. L. (1975), *Nuclear energy: an introduction to the concepts, systems, and applications of nuclear processes*, Elsevier.
- NEA (2018), *Nuclear Innovation 2050: An NEA initiative to accelerate R&D and market deployment of innovative nuclear fission technologies to contribute to a sustainable energy future*, OECD Publishing, Paris, www.oecd-neo.org/ndd/ni2050/ni2050_%20brochure.pdf
- NEA (2021), *Small Modular Reactors: Challenges and Opportunities*, NEA no. 7560, OECD Publishing, Paris, www.oecd-neo.org/upload/docs/application/pdf/2021-03/7560_smr_report.pdf

- NNL (2014), *Small Modular Reactors (SMR) – Feasibility Study*, NNL report, <https://namrc.co.uk/wp-content/uploads/2015/01/smr-feasibility-study-december-2014.pdf>.
- Parlamento e Consiglio Europeo (2009), *Direttiva che modifica la direttiva 2003/87/CE al fine di perfezionare ed estendere il sistema comunitario per lo scambio di quote di emissione di gas a effetto serra*, 2009/29/CE del 23 aprile 2009.
- Parlamento Europeo (2021), *Emissioni di gas serra nell'UE per paese e settore: Infografica*, <https://www.europarl.europa.eu/news/it/headlines/society/20180301STO98928/emissioni-di-gas-serra-per-paese-e-settore-infografica>
- Reinberger D., Ajanovic A., Haas R. (2019), *The Technological Development of Different Generations and Reactor Concepts*, *Energiepolitik und Klimaschutz. Energy Policy and Climate Protection*, https://doi.org/10.1007/978-3-658-25987-7_11
- Ricotti M.E., *Prefazione*, in U. Minopoli, *Nucleare. Ritorno al futuro*, Guerini e Associati, 2022, pp. 11-15.
- Schloemer, S., Bruckner, T., Fulton, L., Hertwich, E., McKinnon, A., Perczyk, D., Roy, J., Schaeffer, R., Sims, R., Smith, P., & Wisner, R. (2014), *Annex III: Technology-specific cost and performance parameters*, in O. Edenhofer, R. Pichs, Madruga, Y. Sokona, J.C. Minx, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlomer, C. VonStechow, T. Zwickel, & J. C. Minx (Eds.), *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change: Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pp. 1329-1356, Cambridge University Press.
- Steering Committee (SC) and specific Work- Streams (WSs) (2022), *European SMR pre-Partnership*, <https://snetp.eu/wp-content/uploads/2022/06/SNETP-TS1-P1-Foratom.pdf>
- Thomas S. (2013), *The nuclear power plant supply chain in Fukushima fallout: nuclear business makes people pay and suffer*, Amsterdam, Greenpeace; http://www.greenpeace.de/fileadmin/gpd/user_upload/themen/atomkraft/20130218-Greenpeace-Report-Fukushima-Fallout.pdf
- Tiezzi E., Marchettini N. (1999), *Che cos'è lo sviluppo sostenibile? Le basi scientifiche della sostenibilità e i guasti del pensiero unico*, Donzelli editore, ISBN 88-7989-487-0
- Uipaun S., Long S., Usman S., Awuah-Offei K. (2014), "Supply Chain Feasibility Analysis of Small Modular Reactor Technology", *Proceedings of the 35th International Annual Conference of the American Society for Engineering Management -- Entrepreneurship Engineering: Harnessing Innovation*, American Society for Engineering Management (ASEM), Oct 2014.
- United States Nuclear Regulatory Commission, website (last updated September 16, 2022), *Commercial Grade Dedication*, <https://www.nrc.gov/reactors/new->

reactors/how-we-regulate/oversight/quality-assurance/vendor-insp/comm-grade-dedication.html

VTT (2020), *Finnish expertise on small modular reactors will be strengthened by a new innovation and business network*, <https://www.vttresearch.com/en/news-and-ideas/finnish-expertise-small-modular-reactors-will-be-strengthened-new-innovation-and>

World Nuclear Association (2012), *The World Nuclear Supply Chain: Outlook 2030*, URN - 12D/436, Crown Copyright https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/65658/7176-nuclear-supply-chain-action-plan.pdf

World Nuclear Association (2019), *Nuclear Energy and Sustainable Development*, <https://www.world-nuclear.org/information-library/energy-and-the-environment/nuclear-energy-and-sustainable-development.aspx>

World Nuclear Association (2021), *Economics of Nuclear Power*, <https://www.world-nuclear.org/information-library/economic-aspects/economics-of-nuclear-power.aspx>

World Nuclear Association (WNA) (2022a), *Plans for New Reactors Worldwide*, <https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/plans-for-new-reactors-worldwide.aspx>

World Nuclear Association (WNA) (2022b), *Nuclear Power in the European Union*, <http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/others/european-union.aspx>

World Nuclear Association (WNA) (2022c), *Nuclear Power Reactors*, <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-power-reactors/nuclear-power-reactors.aspx>

World Nuclear News (WNN) (2020a), *Rolls-Royce and ČEZ to explore SMR deployment*, <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Rolls-Royce-and-CEZ-to-explore-SMR-deployment>

World Nuclear News (WNN) (2020b), *Fortum and MIT launch SMR modelling project*, <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Fortum-and-MIT-launch-SMR-modelling-project>

World Nuclear News (WNN) (2020c), *Finnish firm launches SMR district heating project*, <https://world-nuclear-news.org/Articles/Project-launched-to-develop-Finnish-SMR-for-district>

World Nuclear News (WNN) (2022a), *Nuclearelectrica and NuScale sign MoU, site chosen for SMR*, <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Nuclearelectrica-and-NuScale-sign-MoU,-site-chosen>

World Nuclear News (WNN) (2022b), *Funding for demonstration Swedish SMR*, <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Funding-for-demonstration-Swedish-SMR>

