

Roberto Paccagnella

Small Modular Reactor (SMR): realtà o fantasia?

Un'attenta analisi sulla proposta di utilizzo, anche in Italia,
di reattori nucleari di nuova generazione

Pubblicazione a cura del Movimento Internazionale della Riconciliazione,
sede di Padova

Small Modular Reactor (SMR): realtà o fantasia?



INTRODUZIONE

Il Movimento Internazionale della Riconciliazione (MIR) - nato nel 1952 come sezione italiana dell'ancor più antico *International Fellowship Of Reconciliation* (IFOR) – si è definito: «*un movimento a base spirituale composto da persone che sono impegnate nella nonviolenza attiva intesa come stile di vita, come mezzo di riconciliazione nella verità e di conversione, personale, come mezzo di trasformazione sociale, politica, economica*»¹.

Già da queste poche parole risulta evidente che il MIR s'ispira ad una spiritualità nonviolenta da cui scaturiscono precise indicazioni pratiche e chiari indirizzi sul modello di sviluppo che i suoi associati sono chiamati non solo a perseguire, ma anche a testimoniare in prima persona.

Gli *'stili di vita'* di cui si parla, infatti, riguardano in modo diretto le scelte dei singoli, da improntare a comportamenti coerenti con l'affermazione della verità e della nonviolenza, ma non si limitano ad una pur indispensabile *'conversione'* personale, in quanto

¹ Cfr. art. 2 dello *Statuto del MIR Italia*: <https://www.miritalia.org/wp-content/uploads/2021/11/Statuto-MIR-aggiornato-da-Assemblea-3-5-settembre-2021-1.pdf>

richiedono un effettivo impegno per trasformare la comunità anche sul piano socio-economico e socio-politico.

Come si precisa nello stesso articolo dello Statuto, *«costruire la pace [è] frutto della riconciliazione, nella consapevolezza che guerre e conflitti sono causati dall'ingiustizia e da discriminazioni razziali, etniche, ideologiche, religiose, economiche, di sesso, e che il depauperamento dell'ambiente è anche la conseguenza di un errato ed ingiusto sfruttamento delle risorse naturali»*”.

Ciò significa che sussiste uno stretto ed inscindibile rapporto tra la costruzione di un mondo più giusto e pacifico e l'impegno per difendere un ambiente sempre più inquinato, turbato nei suoi equilibri naturali e depauperato della sua preziosa biodiversità da un modello di sviluppo devastante, oltre che iniquo e violento.

Poco più avanti, inoltre, si afferma chiaramente che bisogna *«liberare l'uomo da tutti quei condizionamenti culturali, politici, militari, economici che lo confondono e lo opprimono, e **rifiutare qualsiasi collaborazione alla guerra così come a situazioni o istituzioni di ingiustizia e criminalità, sia che esse attentino alla***

vita umana sia che sfruttino indebitamente le risorse naturali e umane»².

Per questo motivo, la nonviolenza risulta attiva e costruttiva se affronta non solo la violenza della guerra e dello sfruttamento dei propri simili, ma anche l'appropriazione e sfruttamento delle risorse naturali e dei beni comuni.

Da tale constatazione – più che mai evidente in un momento storico particolarmente drammatico, caratterizzato da una gravissima crisi ambientale parallela al folle proliferare di sempre più micidiali conflitti armati – è scaturita la decisione del MIR d'intensificare la propria azione per un più definito **progetto ecopacifista**, peraltro già perseguito nei decenni scorsi, grazie al prezioso stimolo di quanti (come Antonino Drago, Giuliana Martirani, Luciano Benini ed altri) hanno finora autorevolmente qualificato in tal senso il nostro movimento.

Non a caso, come MIR Italia, alcuni anni fa abbiamo pubblicato il libro *“La colomba e il ramoscello - Un progetto ecopacifista”*³, con l'intento di allargare il confronto sul possibile percorso di azione comune

² Ibidem

³ Libro edito nel 2021 dalle Edizioni Gruppo Abele di Torino -
<https://edizionigruppoabele.it/prodotto/la-colomba-e-il-ramoscello-un-progetto-ecopacifista/>

relativamente a questioni in cui i conflitti armati sono più strettamente connessi con la crisi ecologica.

Ma un progetto ecopacifista richiede interventi anche sul piano educativo-culturale. Non a caso il MIR ha sempre insistito sull'esigenza d'intensificare e diffondere azioni di educazione alla pace e per la pace, al fine di costruire tale visione alternativa a partire dalla formazione dei più giovani ad un modello di sviluppo che, con Alex Langer, potremmo definire *“più lento, più profondo e più dolce”*. Una modalità al tempo stesso ecologista e nonviolenta, finalizzata alla promozione di quella che egli chiamava una *“decisa rifondazione culturale e sociale di ciò che in una società o in una comunità si consideri desiderabile”*⁴.

In un opuscolo per la *Rete Italiana Pace e Disarmo*, infatti, sottolineavo che:

“L'accaparramento delle risorse naturali ed il comportamento predatorio verso quell'ambiente che dovrebbe essere la 'casa comune' da custodire e tutelare nei suoi delicati equilibri ecologici, infatti, alimentano i conflitti armati ed esigono un sistema – il complesso militar-industriale – che produce morte e

⁴ Entrambe le citazioni furono pronunciate da Langer in un famoso discorso e riprese in alcuni suoi scritti. Cfr. Alexander Langer, *La conversione ecologica potrà affermarsi solo se apparirà socialmente desiderabile*, relazione di Langer ai Colloqui di Dobbiaco del settembre 1994. Cfr. anche Alexander Langer, *Il viaggiatore leggero*. Scritti 1961-1995, a cura di Edi Rabini e Adriano Sofri, Sellerio, Palermo, 2015

devastazione. Ecco allora che si continua a fare le guerre per mettere le mani sulle risorse ma anche a sprecare risorse preziose per fare le guerre. [...] L'ecopacifismo parte appunto dalla constatazione di quanto l'imperialismo guerrafondaio e militarista sia intimamente legato ad un antropocentrismo arrogante e violento, che pretende di dominare la natura proprio come impone il suo potere su quella parte dell'umanità che ha contribuito a rendere marginale e subalterna»⁵.

Ebbene, uno dei punti nodali dell'intreccio fra l'incalzante bellicismo militarista e la riproposizione di scelte energetiche profondamente divergenti da una vera conversione ecologica è proprio la questione del nucleare, nella sua versione sia militare sia civile. Non a caso alcune forze politiche (è il caso dei partiti che confluiscono nel gruppo E.C.R. - Riformisti e Conservatori) che - a livello globale, ma anche europeo - sostengono irresponsabili decisioni di ulteriore riarmo e militarizzazione della società, spingano anche per l'accantonamento della scelta di dismettere gradualmente le fonti energetiche fossili a vantaggio di quelle rinnovabili.

⁵ Ermete Ferraro (MIR), *Ecopacifismo. Per riconciliarci con noi e con la natura*, Dossier tematici a cura della Rete Italiana Pace e Disarmo, 2023.
<https://retepacedisarmo.org/educazione-pace/2023/ecopacifismo-per-riconciliarci-con-noi-e-con-la-natura/>

Ricorrenti narrazioni anti-ecologiche ed assillanti insistenze sulla ‘crescita’, infatti, procedono a braccetto con la diffusione di visioni securitarie e la promozione di posture autoritarie e militariste.

Nel 2022 alcuni esponenti ecopacifisti hanno lanciato un allarmato appello a rivedere le sconcertanti scelte dell’Unione Europea in materia di energia, che fra l’altro inserivano il nucleare tra le fonti che avrebbero potuto far raggiungere la neutralità climatica nel 2050. La contestazione di tale decisione, oltre che su un’affermazione di principio, era fondata anche su precise argomentazioni sul piano scientifico.

*«Con particolare riferimento all’energia nucleare, consapevoli che il suo ruolo essenziale è, al di là di ogni altro pretesto e giustificazione, quello di produrre una presunta potenza geopolitica in modo incompatibile con i progressi verso il disarmo e la pace, sottolineiamo i seguenti aspetti critici. 1. **L’energia nucleare non è una fonte di energia rinnovabile [...]** 2. **Non è vero che l’energia nucleare sia priva di emissioni di CO₂ [...]** 3. **I rischi di incidenti nucleari sono già stati gravi e catastrofici [...]** (e) saranno ulteriormente accresciuti da eventi naturali di grande intensità collegabili ai cambiamenti climatici già in atto [...] 4. **Le scorie nucleari restano radioattive per decine o centinaia di migliaia di anni e a tutt’oggi non esiste***

al mondo una soluzione adeguata e già operativa per il loro stoccaggio [...] **5. Il costo dell'energia nucleare è oggi più del doppio di quello da fotovoltaico [...]** Se l'energia nucleare venisse inserita nella tassonomia "verde" europea toglierebbe enormi risorse al finanziamento pubblico delle vere energie rinnovabili [...] **6. L'energia da nucleare costituisce comunque una fonte marginale e senza futuro in un mondo che aspiri ad un futuro [...]** **7. La prospettiva dei "mini e micro" reattori nucleari è ancora più dannosa perché produrrebbe una diffusione sul territorio di impianti a rischio [...]** **8. Gli studi sulla quarta generazione di reattori sono iniziati nel 2001 e ad oggi non sono progrediti apprezzabilmente e non è stato trovato uno schema che possa risolvere tutti i problemi sopra elencati [...]** **9. I tempi per costruire una centrale nucleare sono in media di 10 anni [...]** **10. in un mondo di guerre e di conflitti, la diffusione dell'energia nucleare favorisce la proliferazione di armamenti nucleari e di prodotti fissili e/o radioattivi utilizzabili a fini terroristici, con conseguenze gravissime per l'intera umanità»⁶.**

⁶ Alfonso Navarra, Antonia Sani, Luciano Benini, *Perché dire No all'inserimento nell'Ue dell'energia nucleare fra le fonti di energia "verdi"*, il manifesto, 05.02.2022

Ho citato sinteticamente quel prezioso ‘decalogo’ - a firma di tre autorevoli rappresentanti della galassia ecopacifista italiana fra cui il referente del MIR Luciano Benini – per introdurre la seguente relazione che il dott. Roberto Paccagnella, laureato in fisica all’Università di Padova e ricercatore del CNR in quiescenza⁷ ci ha voluto offrire come contributo su tale spinosa questione. Il tema specifico, ricordato nel titolo, è la credibilità della ricorrente narrazione di vari governi, tra cui quello italiano, sulla sicurezza, utilità e praticabilità del ricorso agli *Small Modular Reactors* (SMR), reattori nucleari di nuova generazione, modulari e con potenza non superiore ai 300 MW elettrici.

Ebbene, le argomentazioni scientifiche dell’autore sono estremamente puntuali e, sostanzialmente, confermano che **la sbandierata novità ed efficacia di queste tecnologie non corrisponde alle reali esigenze d’una conversione ecologica del modello energetico**. La decantata sostenibilità ambientale dei reattori di III e IV generazione, dunque, è messa fortemente in discussione da alcune innegabili caratteristiche negative, in parte messe in luce già dal ‘decalogo’ prima citato.

⁷ Cfr. profilo su *LinkedIn*: <https://www.linkedin.com/in/roberto-paccagnella-b4379b66/?originalSubdomain=it> e su *ResearchGate*: <https://www.researchgate.net/profile/Paccagnella-Roberto>

Il primo limite oggettivo – soprattutto in una fase di crisi economica – è il **costo** elevato degli SMR, e la loro piccola taglia contribuisce alla crescita dei fondi necessari per finanziarne la realizzazione, rendendo il costo dell'elettricità ricavata da fonte nucleare assai poco attrattivo, messo a confronto con le fonti rinnovabili. In secondo luogo – afferma il dott. Paccagnella – la proliferazione di centrali nucleari non risolverebbe, ma piuttosto aggraverebbe notevolmente, il problema dello **smaltimento delle scorie**, con un rilevante impatto ecologico.

*«In definitiva, a valle di queste considerazioni – aggiunge lo studioso - penso sia impossibile sostenere, sia che gli SMR non pongano seri problemi di scorie radioattive e di **sicurezza ambientale**, sia che non pongano serissimi problemi di sicurezza in generale, attraverso la possibile **distrazione del materiale radioattivo** e il suo uso improprio e la loro possibile diffusione in paesi con strutture politiche instabili e governi spesso non democratici».*

Questo contributo pone seri dubbi riguardo alle trionfistiche affermazioni dei nuclearisti, sollevando la questione della sicurezza – ambientale e sociale – da un punto di vista del tutto opposto. Basti pensare, e Paccagnella c'invita

a farlo, che l'energia elettrica fornita da fonti rinnovabili progredisce globalmente a ritmi elevati, con la previsione di coprire entro il 2030 il 50% della produzione globale, quando **il contributo dell'energia elettrica da fonte nucleare, viceversa, è calato negli ultimi 20 anni dal 16% al 9%.**

Stando così le cose, allora, viene spontaneo chiedersi come mai ci sia questa retorica insistenza di molti politici sull'opzione nucleare come una sorta di fantasmagorico "*ritorno al futuro*". La risposta che ci dà il ricercatore in questo suo contributo è che sussiste un evidente **interesse economico in tal senso da parte delle aziende c.d. 'Big Tech'**, alcune delle quali sono già direttamente coinvolte in progetti che promettono lauti guadagni e, soprattutto, un notevole incremento della produzione elettrica, indispensabile per lo sviluppo delle tecnologie I.A.

Ma lascio gli aspetti tecnici e scientifici a chi, come Paccagnella, ha competenze molto superiori alle mie, mentre mi limito – in conclusione – a **ribadire lo stretto legame esistente tra le parallele battaglie 'No Nukes' portate avanti in questi decenni sia dal movimento pacifista sia da quello ecologista.** L'incredibile apertura, finora almeno nel discorso politico, ad ipotesi di guerra atomica finora rimosse, le allarmanti immagini di enormi centrali nucleari messe ad altissimo rischio da irresponsabili bombardamenti e

la riproposizione dell'opzione energetica nucleare per tagliare i finanziamenti alle fonti rinnovabili, infatti, sono più che semplici avvisaglie di **un modello di sviluppo insano, anti-ecologico e bellicista**. Ecco perché le dobbiamo rilanciare oggi con forza e determinazione, come c'invitava a fare anche Walter Ganapini alcuni anni fa:

*«Il complesso nucleare militare viene costantemente rinnovato e finanziato (nuove testate, nuovi vettori, nuovi sommergibili, nuovi sistemi satellitari). Mentre la tecnologia nucleare civile non registra alcuna innovazione sostanziale. Si parla di innovativi reattori di quarta generazione che non esistono. [...] **L'energia nucleare non può quindi considerarsi scelta atta a contrastare l'emergenza climatica**, perché servirebbero centinaia di nuove centrali per la cui realizzazione occorrerebbero decenni. Incompatibili con gli scenari temporali indicati dall'Agenda 2030 e dal Green Deal...»⁸.*

Ecco perché dobbiamo smascherare ciò che egli chiama “l'indissolubile legame tra nucleare civile e militare”, impegnandoci per un progetto ecopacifista e per una rivoluzione nonviolenta più profonda e coinvolgente, a partire dagli ‘stili di vita’ personali e collettivi e dalla rivendicazione di un modello alternativo,

⁸ Walter Ganapini, *L'indissolubile legame tra nucleare civile e militare*, “Valori”, 15.07.2021 - <https://valori.it/ganapini-nucleare-civile-militare-legami/>

capace di ripristinare la giustizia sociale ed ambientale, facendoci riconciliare tra noi e con la nostra 'casa comune'. Il MIR sarà in prima fila in questa urgente azione collettiva.

Ringrazio molto, infine, il dott. Paccagnella per il suo prezioso contributo scientifico e gli amici della sezione di Padova del MIR, da sempre impegnati in tal senso. Un grazie va anche a Luciano Benini – fisico sanitario ed ambientale - che negli scorsi anni aveva pubblicato contributi su tale problematica, soffermandosi sul legame tra scelta del nucleare ed etica cristiana.⁹

Ermete Ferraro, Presidente della branca italiana del Movimento Internazionale della Riconciliazione

⁹ Cfr., ad es.: Luciano Benini, *Energia nucleare: una scelta immorale e senza futuro*, in "PeaceLink", 19.03.2010 - <https://www.peacelink.it/mir/a/31402.html>

SOMMARIO

INTRODUZIONE	16
SMALL MODULAR REACTOR: COSA SONO SECONDO L'UE	18
REATTORI NUCLEARI: PASSATO E FUTURO	21
SMR: SITUAZIONE ATTUALE.....	23
SMR: COSTI ELEVATI	28
SMR: SCORIE , IMPATTO AMBIENTALE E PROLIFERAZIONE NUCLEARE	30
SMR: CONTRIBUTO AL BILANCIO ENERGETICO GLOBALE	35
L'INTERESSE DELLE BIG-TECH PER GLI SMR	37
CONCLUSIONI	40

Small Modular Reactor (SMR): realtà o fantasia?

R. Paccagnella

(Ricercatore del CNR in quiescenza)

Introduzione

Il riscaldamento climatico del nostro pianeta, che, negli ultimi anni sembra aver subito un'accelerazione, è prodotto principalmente dall'immissione in atmosfera, a causa delle attività umane, dei cosiddetti gas serra, di cui il diossido di carbonio, CO₂, è il principale.

I tradizionali impianti per la produzione di energia, che si basano sull'utilizzo dei combustibili fossili (carbone, petrolio o gas) sono quindi tra le cause del riscaldamento del pianeta su scala globale.

Ridurre drasticamente le emissioni di CO₂ in atmosfera è diventata un'urgente necessità.

In questo contesto le moderne tecnologie per la produzione diretta di energia elettrica attraverso fonti rinnovabili come impianti eolici, geotermici o fotovoltaici rappresentano un'irrinunciabile e praticabile alternativa all'utilizzo degli inquinanti combustibili fossili.

Negli ultimi decenni è cresciuta però anche una nuova spinta verso un maggiore utilizzo dell'energia nucleare, considerata come una tecnologia *carbon-free*, anche attraverso la proposta di reattori nucleari di nuova generazione, modulari e di potenza non superiore a circa 300 MW elettrici, detti: *Small Modular Reactor* (per brevità, SMR).

Questa prospettiva è stata rilanciata recentemente anche dalla tassonomia europea, entrata in vigore nel 2023, dove il nucleare di nuova concezione è stato inserito nella lista delle attività che l'UE potrà finanziare direttamente per la sostenibilità ambientale e allo scopo di raggiungere l'ambizioso obiettivo della neutralità climatica (cioè 0 emissioni nette di CO₂ in atmosfera) entro il 2050.

Small Modular Reactor: cosa sono secondo l'UE

L'UE ha dedicato alcune pagine internet alla definizione di cosa può essere definito come SMR.

Vi si legge:

“Gli SMR sono definiti come piccoli reattori nucleari con potenza elettrica fino a 300 MW elettrici (MWe). Per paragone i grandi impianti nucleari producono generalmente potenze superiori ai 1000 MWe. Gli SMR possono variare in dimensioni da un minimo di 20 fino a 300 MWe e possono usare una varietà di elementi di raffreddamento: acqua leggera, metalli liquidi o sali fusi, a seconda della tecnologia.”

Si noti che nella definizione si parla di MW elettrici, infatti, tenendo conto del rendimento medio di un impianto nucleare, intorno al 30-40%, la potenza termica dell'impianto sarà più alta; 300 MWe corrisponderanno a circa 900-1000 MW termici (MWth).

Le pagine internet ufficiali aggiungono altre informazioni riguardanti la sicurezza, che qui riportiamo:

“Gli SMR sfruttano le conoscenze ottenute dai grandi impianti nucleari, così come quelle ottenute dai piccoli reattori installati nei sottomarini o nelle navi rompighiaccio”

“Gli SMR hanno sistemi di protezione passiva, a seguito di un progetto semplice, un nucleo del reattore di minore potenza e una maggiore presenza in percentuale di materiale di raffreddamento. Tutto ciò aumenta significativamente i tempi di reazione in caso di incidenti o guasti.

Gli SMR quasi sempre si basano su semplici principi come la circolazione naturale del materiale di raffreddamento nel nucleo, per cui anche durante incidenti o guasti richiedono azioni di protezione molto limitate o addirittura assenti per riportare il reattore in stato di sicurezza.

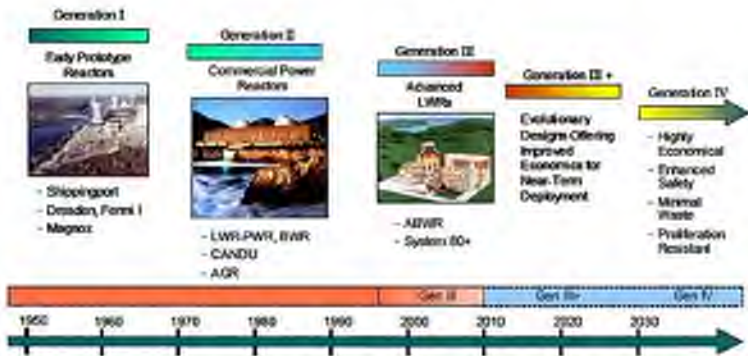
Tutti questi elementi di sicurezza eliminano la necessità di molti sistemi ausiliari di sicurezza come, valvole, pompe, condotte o cavi, limitando così ulteriormente i rischi di malfunzionamento.”

Le pagine internet dell'UE menzionano inoltre le motivazioni per il finanziamento di questi sistemi che vanno da capacità di stabilizzare la rete elettrica, la loro modularità e quindi flessibilità e il minor uso di acqua per il raffreddamento, il fatto che possono rimpiazzare i sistemi di produzione basati sull'energia fossile e creare posti di lavoro qualificati e infine che possono essere utilizzati per la cogenerazione di elettricità ed energia termica (data la loro dislocazione prevista anche in vicinanza di centri abitati o di siti industriali).

In sintesi: informazioni molto positive e rassicuranti. In queste pagine ufficiali non si trova menzione alle scorie radioattive, all'impatto ambientale o ad altri aspetti critici, come la proliferazione nucleare, che voglio invece discutere in questa nota.

Reattori nucleari: passato e futuro

Nella figura sottostante si mostra l'evoluzione temporale relativa alle successive generazioni di reattori.



I reattori di prima generazione (**Gen I**) operavano negli anni 60/70 e non ne esistono più.

Quelli di seconda generazione (**Gen II**) sono reattori PWR (Pressure water reactor) e BWR (*Boiling water reactor*) e rappresentano circa i 2/3 dei reattori ancora in operazione.

Per quanto riguarda la terza generazione (**Gen III**) ne esistono 2 in operazione in Europa (1 in Finlandia ,1 in Francia), hanno richiesto tempi lunghissimi di realizzazione e costi molto elevati (17 anni e 13 Miliardi di euro per Flamanville in Francia). Vengono anche indicati come *EPR (European Pressure Reactor)*.

In questo settore la Cina sta costruendo molte decine di reattori di tipo PWR detti *Hualong One* che vengono considerati di III generazione.

I reattori di quarta generazione (**Gen IV**) dovrebbero risolvere tutti o quasi i problemi del nucleare relativi a costi, sicurezza, scorie, impatto ambientale etc.

Attualmente esistono solo come progetti.

Gli SMR possono essere di Gen. II o III, ma la maggior parte dei progetti punta a essere di Gen. IV.

Inoltre tutti i reattori attualmente in funzione nel mondo usano, per innescare il processo di fissione a catena, i neutroni “lenti”, cioè neutroni rallentati da un mezzo detto moderatore, le cui barre estraibili dal nucleo possono accelerare o rallentare i processi nucleari, costituendo il principale sistema di controllo del reattore.

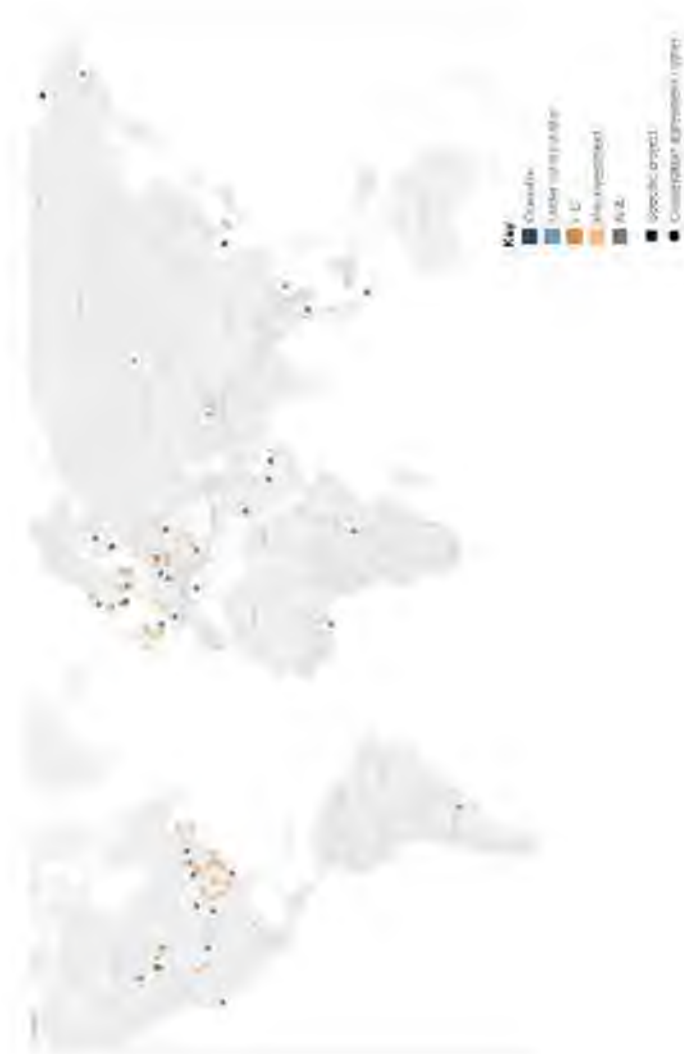
Nei nuovi progetti di SMR esistono però anche schemi concettuali che vogliono utilizzare neutroni “veloci” (non rallentati). Questi schemi vengono detti anche “*breeder*” in quanto possono in principio generare più materiale fissile di quello che consumano, realizzando così un ciclo energetico che può non richiedere l’introduzione periodica di nuovo materiale fissile (oppure le ricariche avrebbero tempi molto lunghi) e generare perciò, almeno in linea teorica, una bassa quantità di scorie radioattive.

SMR: situazione attuale

Nel mondo esistono molti progetti diversi di SMR che utilizzano diversi schemi di operazione, diversi combustibili e diversi tipi di raffreddamento.

Cercheremo qui di dare una sintetica descrizione della situazione attuale.

In figura si mostra la dislocazione geografica dei vari progetti e il loro grado di sviluppo (codice a colori). È evidente come pochissimi siano gli impianti in operazione.



L'agenzia atomica internazionale (IAEA) ha creato un sito dove sono raccolte molte informazioni sugli SMR:
<https://nucleus.iaea.org/sites/smr/SitePages/SMR-Databases.aspx>

Dal database Aries (<https://aris.iaea.org/TechnicalData/>) risulta che esistono al mondo circa 120 progetti diversi. Quasi tutti i progetti sono in fase di sviluppo.

I principali progetti di nuova concezione possono essere catalogati in:

- SMR con raffreddamento a gas
- SMR con raffreddamento a metalli liquidi e neutroni veloci (*breeder*)
- SMR con combustibile a sali fusi

Gli unici SMR attualmente realmente operanti sono in Russia e in Cina.

Mentre in Russia operano un paio di reattori di II generazione, in Cina sono da poco entrati in funzione (oltre a un paio di altri reattori di II generazione) un reattore di III generazione (chiamato *Linglong one*) e un impianto dimostrativo, che viene considerato come un passo significativo verso un reattore di IV generazione, il Shidao-Bay HTR-PM da 250 MWe.

Quest'ultimo è entrato in funzione nel 2023. Questo reattore dovrebbe essere intrinsecamente sicuro in

quanto prove di spegnimento in assenza di impianti ausiliari sembrano essere state eseguite con successo nel 2024.

Il costo stimato per l'impianto di Shidao-Bay è stato di circa 500/600 milioni di dollari e il tempo di costruzione di circa 11 anni. HTR-PM utilizza sfere di grafite e di biossido di uranio arricchito al 8.5% (quindi circa il doppio rispetto a un reattore convenzionale) ed è raffreddato a gas.

Il sito di Shidao-Bay ospita anche due reattori convenzionali (PWR) da 1500 MWe ognuno.

È necessario notare, che le sfere di uranio arricchito a un grado elevato presentano diversi problemi di produzione relativi ai flussi neutronici e alla sicurezza degli impianti.

Inoltre vi sono problemi legati a un possibile uso improprio attraverso il trafugamento del prodotto finito (viste le ridotte dimensioni delle sfere, ne servono circa 300.000 per il reattore).

Si noti anche che HTR-PM prevede la costruzione di altre unità simili, che però non è finora iniziata. Inoltre non sono filtrate notizie sulla reale affidabilità di questo impianto, mentre la sua potenza di esercizio è stata per ora dimezzata.

Quasi tutti gli altri progetti SMR fuori dalla Cina, sono in fasi solo iniziali di progetto o in fase di *licensing* e affrontano comunque problemi di costi troppo elevati.

Un esempio per tutti può essere il progetto USA, *NuScale*, che era già arrivato alla fase di *licensing* cioè di progetto autorizzato dalle autorità di controllo, e che è stato fermato per l'esplosione dei costi. Ora la compagnia americana sta cercando di vendere il progetto a paesi terzi.

Si noti che *NuScale* era partito in Oregon nel 2014 e ha ottenuto da allora circa 600 Mld di dollari di finanziamento pubblico!

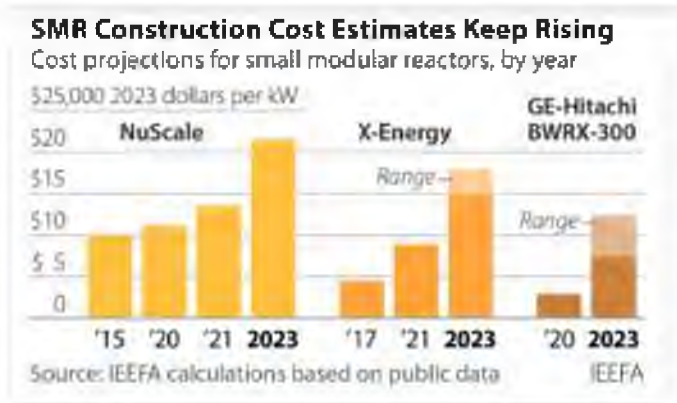
In maggio 2025 *Nuscale* ha ottenuto dalle autorità americane una nuova licenza per la costruzione di SMR da circa 77 MW che dovrebbero sulla carta ridurre i costi.

SMR: costi elevati

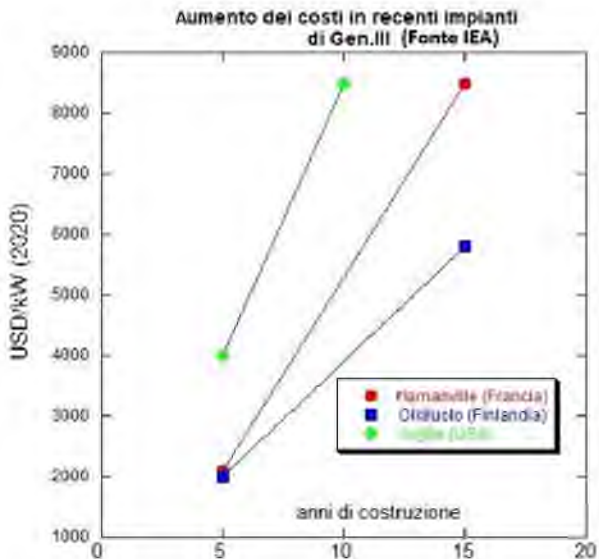
Dal grafico qui sotto riportato si può vedere che i costi dei progetti SMR sono,

indipendentemente dal progetto, quasi triplicati rispetto alle loro stime iniziali.

Ovviamente la piccola taglia di questi reattori non contribuisce all'economia di scala.



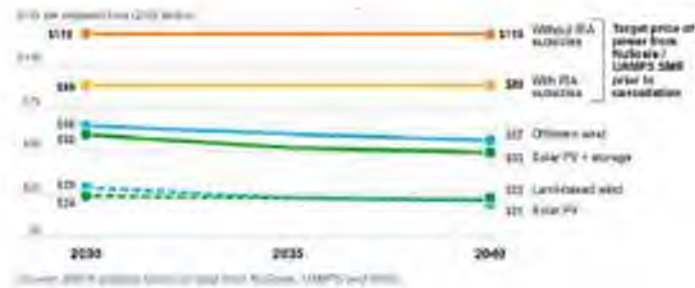
Come è noto il costo del kW da nucleare risulta oggi, anche per impianti convenzionali, molto poco attrattivo rispetto alle fonti rinnovabili.



Nella figura qui sopra si mostra l'aumento dei costi in recenti impianti nucleari.

Per coprire gli extra-costi e le incertezze dei mercati viene quindi richiesto un abbondante finanziamento statale. È anche per questo motivo che il nucleare è stato inserito nella tassonomia europea, come abbiamo accennato in precedenza.

Infine, il costo atteso degli SMR del tipo *NuScale* o simili, è comunque molto maggiore rispetto ai sistemi che usano energie rinnovabili più accumulo di energia, come si deduce dal grafico seguente (costo per MWh prodotto).



SMR: scorie , impatto ambientale e proliferazione nucleare

Veniamo ora al delicato capitolo, sebbene quasi mai menzionato in relazione agli SMR, delle scorie radioattive. Ovviamente essendo gli SMR a livello progettuale reattori di tipo molto vario e di cui non esistono prototipi, un discorso dettagliato è praticamente impossibile.

In un lavoro recente però [*“Nuclear waste from small modular reactors”*, Krall et. al. *Environmental Sciences*, 119 (23)] si fa un’analisi di 3 tipi di SMR, Toshiba 4S raffreddato a sodio, NuScale iPWR e Terrestrial Energy a sali fusi, e si mostra come queste tecnologie possano

produrre fino a 30 volte le scorie prodotte in reattori di grandi dimensioni per MWh prodotto. Inoltre a causa delle ridotte dimensioni i flussi neutronici persi possono attivare i materiali circostanti il reattore, con una quantità di materiale attivato fino a 10 volte rispetto ai grandi impianti, dove i neutroni sono meglio confinati nel nucleo. Infatti, tutti i neutroni che non vengono utilizzati per la reazione a catena che avviene nel nucleo del reattore, sono persi e contribuiscono all'attivazione radioattiva del materiale circostante, generando una grande quantità di scorie che dovranno essere smaltite e stoccate nella fase di smantellamento del reattore.

Quest'ultimo problema potrebbe diventare irrisolvibile nei progetti di SMR-*breeder*, dove si vogliono utilizzare i neutroni veloci e dove le perdite di neutroni ad alta energia dal nucleo diventeranno molto rilevanti.

Anche le difficoltà e i costi per lo smantellamento di questi SMR appaiono elevati.

Infatti lo smaltimento di sodio o sali fusi radioattivi può richiedere processi complessi, aumentando i rischi di contaminazione ambientale e del personale addetto.

La IAEA avverte nelle sue pagine web che **“alcuni SMR particolarmente quelli che non usano acqua come refrigerante, possono generare nuove forme di rifiuti radioattivi , perciò i paesi che vogliono utilizzare questi impianti devono pianificare come trattare questi rifiuti”** .

Bisogna inoltre aggiungere che i reattori nucleari consumano per il loro raffreddamento (primario e/o secondario) e per la produzione di vapore una importante risorsa naturale: l'acqua. Tra l'altro, come provato da recenti casi avvenuti in Francia, in caso di estati particolarmente calde (ormai sempre più frequenti), l'acqua utilizzata non può essere reimpressa nei corsi d'acqua, comportando in molti casi l'arresto temporaneo degli impianti e/o la loro messa fuori servizio, producendo, in questo caso, problemi alla rete elettrica.

Inoltre molto spesso nel calcolo delle emissioni di CO₂ da nucleare ci si dimentica dello smaltimento e della gestione dei rifiuti. Il dato sulle emissioni quasi nulle non è quindi credibile. Stime più attendibili che includano le emissioni di costruzione delle centrali, di estrazione dell'uranio, di arricchimento e costruzione delle barre di combustibile e di trasporto e stoccaggio delle scorie, portano le emissioni di questa fonte a valori di circa 80-100 g di CO₂ per kWh prodotto. Quindi circa un quarto delle emissioni generate

dai combustibili fossili, ma assolutamente non nulle, come spesso viene invece affermato.

Infine bisogna menzionare i problemi legati al possibile uso improprio e alla proliferazione nucleare di impianti piccoli e diffusi in vari paesi. Tra l'altro va detto che molti paesi in via di sviluppo dell'Africa e di altri continenti hanno dichiarato il loro interesse per queste tecnologie. Nelle previsioni delle società che lavorano in questo settore il mercato dovrebbe essere globale, questo anche per rientrare nei costi di progetto durati lunghi anni.

In questa situazione di mercato globale, e tenendo in conto il fatto che molti dei paesi interessati hanno sistemi politici instabili, gli impianti sono esposti al rischio terrorismo e a rischi ambientali dovuti ai cambiamenti climatici (quest'ultima osservazione è vera purtroppo per tutti!).

Si comprende che un'analisi del rischio ambientale e quello di proliferazione è molto difficile, se non quasi impossibile. Infatti in un lavoro [J. Siegel et. al. *Risk Analysis, John Wiley & Sons, vol. 38(2)*] in cui viene richiesto un parere sul rischio proliferazione relativo ai reattori SMR a molti esperti del settore nucleare, le opinioni sono molto discordanti, come si vede dalla tabella qui riprodotta (rischio elevato =1, rischio basso =7). Lo studio si riferisce a un'ipotesi di 4700 impianti SMR che producano mediamente 100 MWe ciascuno.

An Expert Elicitation of the Proliferation Resistance of SMRs

249

Table III. Respondent Rankings of Potential Pathways of State-Level Diversion (1 = most likely, 7 = least likely)

Expert	1	2	3	4	5	6	7*	8	9
Diversion of natural uranium from a reprocessing or conversion plant.	7	NA	7	7	7	7	High	7	7
Misuse of declared enrichment plant.	1	NA	6	2	3	5	Low	4	2
Use of undeclared enrichment plant.	6	NA	2	5	2	3	High	2	1
Misuse of fuel fabrication plant for production of undeclared materials for irradiation.	4	NA	5	4	5	6	Low	5	3
Misuse of reactor for production of undeclared nuclear material.	5	NA	3	6	1	1	Low	5	5
Concealed reprocessing of spent nuclear fuel.	2	NA	1	1	4	4	High	1	4
Diversion of materials resulting from reprocessing (e.g., plutonium or U233) from storage facilities prior to fuel fabrication.	3	NA	4	3	6	2	Med	6	3

NA = No answer.

Note: This list of potential diversion pathways was drawn from the IAEA, "Guidance for the Application of an Assessment Methodology for Innovative Nuclear Energy Systems," a volume from the final report of phase I of INPRO, November 2008. As part of this ranking process, respondents were asked to identify other potential pathways of note. The only addition to the above list was the possibility of using a research reactor as a radiation source to manufacture weapons-usable materials.

*Expert 7 did not want to rank the potential diversion pathways but did assign a general probability to each pathway.

In definitiva, a valle di queste considerazioni, penso sia impossibile sostenere, sia che gli SMR non pongano seri problemi di scorie radioattive e di sicurezza ambientale, sia che non pongano serissimi problemi di sicurezza in

generale, attraverso la possibile distrazione del materiale radioattivo e il suo uso improprio e la loro possibile diffusione in paesi con strutture politiche instabili e governi spesso non democratici.

SMR: contributo al bilancio energetico globale

Per quanto visto finora è abbastanza chiaro che il ricorso al nucleare anche di nuova generazione non potrà che contribuire in maniera residuale alle necessità energetiche del pianeta nel prossimo futuro.

Questo è dovuto principalmente ai lunghi tempi di realizzazione, al numero di reattori che sarebbe necessario costruire, agli elevati costi relativi a tutte le fasi dalla progettazione, alla sicurezza degli impianti fino allo smaltimento delle scorie.

Infine bisogna ricordare il fatto che le risorse naturali di uranio sono limitate e la loro durata dipende fortemente dal numero di impianti che lo utilizzeranno in futuro.

Inoltre uno sviluppo del nucleare richiede, come abbiamo visto, un grande flusso di denaro pubblico, che non potrà essere quindi impiegato per altri scopi, quindi, ad esempio, anche per lo sviluppo delle energie rinnovabili.

A simili conclusioni giunge un recentissimo e approfondito studio della Banca d'Italia di L. Lavecchia e A. Pasquini, *“L'atomo fuggente: analisi di un possibile ritorno al nucleare in Italia”* (giugno 2025) n. 947 (disponibile sul sito www.bancaditalia.it). Vi si possono trovare dati aggiornati ed analisi tecnico-economiche molto approfondite.

Per quanto riguarda l'aspetto relativo alla cosiddetta stabilizzazione della rete, cioè al fatto che il nucleare sia una fonte continua di produzione, se paragonata alle fonti rinnovabili, e possa quindi fornire la necessaria stabilità alla rete elettrica, penso che lo sviluppo dei sistemi di accumulo e l'integrazione e interconnessione sempre maggiore delle reti elettriche, possano ugualmente servire a questo scopo a costi decisamente minori, come si vede dal grafico sui costi delle varie fonti mostrato in precedenza. Bisogna anche osservare che con lo sviluppo delle *smart-grids* (reti intelligenti) i grandi impianti (nucleari e non) sembrano adattarsi sempre meno a una filosofia della trasmissione di energia basata principalmente sulla flessibilità dei flussi: la rete dà energia agli utilizzatori finali ma allo stesso modo può riceverla da questi e redistribuirla in tempi rapidi, con tempi di reazione non appropriati per i grandi impianti.

Si tenga presente che, mentre l'energia elettrica fornita da fonti rinnovabili continua a crescere nel mondo a ritmi elevati e si prevede che coprirà entro il 2030 il 50% della produzione globale, l'energia elettrica mondiale da fonte nucleare è scesa negli ultimi 20 anni dal 16% al 9%.

L'interesse delle Big-Tech per gli SMR

In questa sezione voglio sottolineare un aspetto di natura politica piuttosto che scientifica, che può però spiegare l'enfasi che viene posta sullo sviluppo di SMR.

In molti progetti SMR sono coinvolte le aziende Big-Tech.

Praticamente tutte da Microsoft, a Google ad Amazon ecc. hanno i loro progetti per nuovi reattori nucleari compatti.

È chiaro che se da un lato per queste aziende questi investimenti rappresentano un modo di differenziare il loro core-business nella speranza di futuri lauti guadagni, usufruendo inoltre spesso, come abbiamo visto, di grandi sovvenzioni di denaro pubblico; dall'altro lato, i recenti tumultuosi e rapidi sviluppi dell'intelligenza artificiale (IA) spingono queste aziende allo sviluppo di sistemi energetici autonomi dalla rete, che possano generare la grande quantità di energia elettrica richiesta dall'IA.

A questi grandi colossi tecnico-finanziari interessano poco le criticità che abbiamo fin qui analizzato: impatto ambientale, rischio diffuso, gestione delle scorie, proliferazione nucleare. Il loro obiettivo è massimizzare il profitto, scaricando possibilmente sul pubblico tutti i rischi.

In un interessante saggio di recente pubblicazione *“Scienza chiara, scienza oscura”* (ed. il Mulino 2025) il chimico Gianfranco Pacchioni affronta il tema del progressivo trasferimento della ricerca e della conoscenza dagli usuali ambiti dei laboratori e delle Università pubbliche verso le Big-Tech. Questo trasferimento sta generando la secretazione dei risultati della ricerca e una sempre maggiore crescita dei guadagni per queste imprese che sono diventate dei veri e propri monopoli della conoscenza in alcuni settori. L'IA rappresenta un esempio lampante. Gli studi e i brevetti riguardanti questo settore sono ormai nelle mani di poche aziende che sfruttano le informazioni fornite gratuitamente dalle persone, dai laboratori, dalle università per aumentare sempre più la loro influenza, il loro monopolio e in definitiva i loro guadagni. Queste oligarchie tecnologiche hanno ormai un peso politico/finanziario pari a quello degli Stati, mettendo a rischio il concetto stesso di democrazia.

I nuovi progetti SMR portati avanti dalle *Big-Tech* si inseriscono perciò perfettamente in questa logica di crescita del profitto, di aumento della loro influenza nei vari settori strategici della società, confidando inoltre su robusti finanziamenti pubblici.

Se questi progetti si realizzeranno in futuro e se produrranno, come probabile, gravi danni ambientali, è quasi scontato che i costi ricadranno interamente sugli Stati e sui loro cittadini.

Conclusioni

In definitiva da questa sintetica analisi si possono trarre le seguenti conclusioni:

- I costi e i tempi di realizzazione di reattori di tipo SMR sono troppo elevati. Essi non sembrano essere assolutamente competitivi coi costi della produzione da fonti rinnovabili, che peraltro sono previsti in discesa nei prossimi anni.
- I progetti SMR non sono standardizzati e generano problemi nel determinare a priori il tipo di scorie, la loro quantità e la loro pericolosità ambientale. Non esistono (con l'esclusione di Russia e Cina) prototipi funzionanti. Anche l'analisi dei costi risulta molto difficile in assenza di dati empirici su questi nuovi impianti, di cui non si ha esperienza sul campo.
- Il contributo del nucleare al bilancio globale dell'energia nei prossimi decenni non potrà che essere marginale (attualmente circa il 9% della produzione elettrica globale), anche in relazione alle risorse limitate di uranio naturale; mentre i

sistemi che utilizzano le energie rinnovabili sono in forte espansione. L'accumulo di energia e la razionalizzazione e interconnessione delle reti può sopperire alla variabilità delle fonti rinnovabili. A causa poi dei lunghi tempi di realizzazione degli impianti nucleari, anche di nuova generazione, si può quasi certamente escludere che essi possano giocare un ruolo rilevante nel raggiungimento della neutralità climatica prevista per il 2050.

- Impianti nucleari relativamente piccoli e diffusi sul pianeta generano comunque un rischio distribuito che difficilmente potrà garantire un controllo sia in termini di salvaguardia del territorio sia in termini di proliferazione nucleare e di usi impropri del materiale radioattivo, specie quando gli impianti si trovino in paesi a elevato rischio di terrorismo e/o di crisi climatiche.
- Bisogna ribadire nuovamente che il problema delle scorie nucleari a lungo tempo di decadimento, anche originate da impianti tradizionali, non è stato per nulla risolto e costituisce ancora oggi uno dei motivi fondamentali che suggerisce di limitare l'ulteriore diffusione sul pianeta di questa fonte energetica. In moltissimi casi queste scorie pericolose sono attualmente immagazzinate in siti

non idonei con gravissimi rischi ambientali nel caso di fuoriuscita del materiale radioattivo.

- Infine è necessario notare che lo sviluppo del nucleare per usi civili ha in sé il germe della proliferazione nucleare e del suo possibile uso a fini bellici. Tutti i paesi che dispongono di armi nucleari hanno sviluppato in primis il nucleare ad uso civile. Svincolare una finalità dall'altra risulta praticamente impossibile in assenza di una chiara volontà politica. In un mondo sempre più conflittuale sperare in una politica di distensione e in usi solo pacifici e a fini energetici del nucleare sembra davvero essere diventata una pia illusione.

Tenendo conto di tutti questi complessi aspetti, si può concludere che non sia razionale e nemmeno economicamente motivato un ritorno del nostro paese al nucleare, anche nel caso si consideri il nucleare “innovativo” e di piccola taglia.

Come ammette anche il report della Banca d'Italia, questo sarebbe possibile solo attraverso ingenti finanziamenti pubblici e non renderebbe affatto l'Italia più indipendente dal punto di vista energetico, visto che in assenza della materia prima e degli impianti necessari per la costruzione del combustibile nucleare, saremmo comunque

dipendenti da altri paesi, tra cui la Russia, che ha attualmente nel continente europeo una posizione dominante in questi settori.

Più che una fantastica soluzione il nucleare di nuova generazione e gli SMR in particolare sembrano quindi una bella fantasia, che potrebbe facilmente tramutarsi in un brutto incubo!

Vorrei, infine, fare un'ultima breve considerazione sul nucleare da fusione, campo su cui mi posso considerare esperto, visto che ci ho lavorato per quasi 40 anni.

L'ipotesi del governo che al 2050 ci possa già essere una quota di energia prodotta da fusione nucleare è assolutamente da escludere.

Infatti l'esperimento di fusione per ora più avanzato, in costruzione in Francia e a cui collaborano tutti i grandi paesi industrializzati del mondo, l'esperimento ITER, vedrà il primo plasma dimostrativo solo nel 2035, dopo innumerevoli e forse inevitabili ritardi. Probabilmente solo dopo 5/10 anni si riuscirà a farlo operare in regimi interessanti, in cui le reazioni di fusione diventino quantitativamente significative.

Questa macchina però non sarà mai in grado di generare energia utile, in quanto l'energia prodotta sarà solo una piccola frazione di quella assorbita dalla rete elettrica.

Un passo ulteriore sarà necessario con la costruzione di un vero reattore in grado di produrre energia e di immetterla in rete. Le caratteristiche di questa macchina sono allo studio e comunque molte risposte dovranno arrivare dai risultati di ITER.

Come per gli SMR anche nel campo della fusione esistono allo studio progetti più compatti alternativi a ITER, ma tutti questi progetti sono ben lontani da una fase realizzativa matura.

Si capisce quindi che la data del 2050 non abbia molto senso quando si parla di energia fornita alla rete da un reattore a fusione.

Per concludere, spero che questa breve nota possa essere utile per migliorare e approfondire il dibattito sul nucleare di nuova generazione, al di là di una certa euforia degli addetti ai lavori e della superficialità con cui generalmente viene affrontato questo argomento dai giornali e più in generale dai media.

Ringraziamenti

Ringrazio mia moglie, Maria Bertolotti (ex docente di fisica) e Mauro Mezzetto (INFN) per l'attenta lettura di questa nota e per gli utili suggerimenti.

Traduzione didascalie immagini

<u>Inglese</u>	<u>Italiano</u>
Pagina 21	
Generation I: Early Prototype Reactors	Generazione I: Primi reattori prototipo
Generation II: Commercial Power Reactors	Generazione II: Reattori di potenza commerciale
Generation III: Advanced LWRs	Generazione III: Reattori nucleari ad acqua leggera (LWR) avanzati
Generation III+: Evolutionary Designs Offering Improved Economics for Near-Term Deployment	Generazione III+: Design evolutivi che garantiscono aspetti economici migliori per un'implementazione a breve termine
<ul style="list-style-type: none"> • Generation IV: Highly Economical 	<ul style="list-style-type: none"> • Generazione IV: Estremamente economici
<ul style="list-style-type: none"> • Enhanced Safety 	<ul style="list-style-type: none"> • Maggiore sicurezza
<ul style="list-style-type: none"> • Minimal Waste 	<ul style="list-style-type: none"> • Riduzione delle scorie
<ul style="list-style-type: none"> • Proliferation Resistant 	<ul style="list-style-type: none"> • Resistenti alla proliferazione
Pagina 24	
Key	Legenda
<ul style="list-style-type: none"> • Operable 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizzabile
<ul style="list-style-type: none"> • Under construction 	<ul style="list-style-type: none"> • In costruzione
<ul style="list-style-type: none"> • FID (decision to proceed) 	<ul style="list-style-type: none"> • Decisione finale sull'investimento
<ul style="list-style-type: none"> • Pre-investment 	<ul style="list-style-type: none"> • Pre-investimento
<ul style="list-style-type: none"> • N/A 	<ul style="list-style-type: none"> • N/D
<ul style="list-style-type: none"> • Specific project 	<ul style="list-style-type: none"> • Progetto specifico
<ul style="list-style-type: none"> • Cooperation agreement/ other 	<ul style="list-style-type: none"> • Accordo di cooperazione/altro
Pagina 28	
SMR Construction Cost Estimates Keep Rising	Le stime dei costi di costruzione dei reattori SMR continuano ad aumentare
Cost projections for small modular reactors, by year	Proiezioni dei costi per i reattori modulari di piccole dimensioni, per anno
25,000 USD 2023 dollars per kW	25.000 USD - Dollari anno 2023 per kW
Source: IEEFA calculations based on public data	Fonte: Calcoli dell'IEEFA (Institute for Energy Economics and Financial Analysis, Istituto di economia energetica e analisi finanziaria) basati su dati pubblici

Pagina 30	
125 USD per megawatt hour (2022 dollars)	125 USD per megawatt ora (dollari anno 2022)
Target price of power from NuScale/UAMPS SMR prior to cancellation	Prezzo target dell'energia da reattori SMR di tipo NuScale/UAMPS prima della cancellazione
<ul style="list-style-type: none"> Without IRA subsidies 	<ul style="list-style-type: none"> Senza sovvenzioni dell'IRA ("Inflation Reduction Act", Legge statunitense per la riduzione dell'inflazione)
<ul style="list-style-type: none"> With IRA subsidies 	<ul style="list-style-type: none"> Con le sovvenzioni dell'IRA
<ul style="list-style-type: none"> Offshore wind 	<ul style="list-style-type: none"> Impianti eolici offshore
<ul style="list-style-type: none"> Solar PV + storage 	<ul style="list-style-type: none"> Fotovoltaico solare + accumulo
<ul style="list-style-type: none"> Land-based wind 	<ul style="list-style-type: none"> Impianti eolici terrestri
<ul style="list-style-type: none"> Solar PV 	<ul style="list-style-type: none"> Fotovoltaico solare
Source: IEEFA analysis based on data from NuScale, UAMPS and NREL.	Fonte: analisi IEEFA basata sui dati di reattori NuScale, UAMPS e NREL.
Pagina 34	
An Expert Elicitation of the Proliferation Resistance of SMRS	Una valutazione competente in merito alla resistenza alla proliferazione degli SMR
Table III: Respondent Rankings of Potential Pathways of State-Level Diversion (1 = most likely, 7 = least likely)	Tabella III: Graduatorie delle persone intervistate in merito a potenziali percorsi di distrazione a livello statale (1 = molto probabile, 7 = meno probabile)
Expert	Esperto
<ul style="list-style-type: none"> Diversion of natural uranium from a refinement or conversion plant. 	<ul style="list-style-type: none"> Distrazione di uranio naturale da un impianto di raffinazione o di conversione.
<ul style="list-style-type: none"> Misuse of declared enrichment plant. 	<ul style="list-style-type: none"> Uso improprio di impianto di arricchimento dichiarato.
<ul style="list-style-type: none"> Use of undeclared enrichment plant. 	<ul style="list-style-type: none"> Uso di impianto di arricchimento non dichiarato.
<ul style="list-style-type: none"> Misuse of fuel fabrication plant for production of undeclared materials for irradiation. Misuse of reactor for production of undeclared nuclear material. Concealed 	<ul style="list-style-type: none"> Uso improprio di impianto di fabbricazione di combustibili per la produzione di materiali non dichiarati per l'irradiazione. Uso improprio di reattore per la produzione di materiale nucleare non

reprocessing of spent nuclear fuel.	dichiarato. Ritattamento occulto di combustibile nucleare esaurito.
<ul style="list-style-type: none"> • Diversion of materials resulting from reprocessing (e.g.. plutonium or U233) from storage facilities prior to fuel fabrication. 	<ul style="list-style-type: none"> • Distrazione di materiali derivanti dal ritattamento (ad esempio plutonio o U233) da strutture di stoccaggio prima della fabbricazione del combustibile.
High	Alto
Low	Basso
Med	Medio
NA = No answer.	Nessuna risposta.
Note: This list of potential diversion pathways was drawn from the IAEA, "Guidance for the Application of an Assessment Methodology for Innovative Nuclear Energy Systems," a volume from the final report of phase 1 of INPRO, November 2008. As part of this ranking process, respondents were asked to identify other potential pathways of note. The only addition to the above list was the possibility of using a research reactor as a radiation source to manufacture weapons-usable materials.	Nota: questo elenco di potenziali percorsi di distrazione è stato tratto dalla pubblicazione dell'AIEA (Agenzia internazionale per l'energia atomica), dal titolo: "Guidance for the Application of an Assessment Methodology for innovative Nuclear Energy Systems" (Linee guida per l'applicazione di una metodologia di valutazione di impianti innovativi per l'energia nucleare), un volume tratto dalla relazione finale della fase 1 dell'INPRO (International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles, Progetto internazionale su reattori nucleari innovativi e cicli del combustibile), novembre 2008. Nell'ambito di questo processo di classificazione, alle persone intervistate è stato chiesto di identificare altri potenziali percorsi degni di nota. L'unica aggiunta all'elenco di cui sopra è stata la possibilità di utilizzare un reattore di ricerca come fonte di radiazioni per produrre materiali utilizzabili per la fabbricazione di armi.
³ Expert 7 did not want to rank the potential diversion pathways but did assign a general probability to each pathway.	³ L'esperto n. 7 non ha voluto classificare i potenziali percorsi di distrazione, ma ha assegnato una probabilità di carattere generale a ogni percorso.

*“In conclusione direi che tutti gli argomenti che vengono o possono essere portati a favore della reintroduzione del nucleare non hanno senso. Bisogna invece puntare sul solare e, seppure in misura minore, sull’eolico e certamente sul geotermico. Ci vuole una politica economica che punti a investimenti pubblici in questi settori perché se questi non si fanno ci troveremmo di nuovo al punto di partenza.”**

* Dichiarazione tratta dalla trascrizione, rivista dall’Autore, dell’introduzione del professor **Giorgio Parisi** (Premio Nobel per la Fisica 2021) al webinar “Energie rinnovabili per l’autonomia energetica, il nucleare che c’entra?” organizzato dal Comitato Sì alle rinnovabili NO al nucleare, il 14 aprile 2025



Publicazione a cura del Movimento Internazionale della
Riconciliazione, sede di Padova
C/o Centro Servizi Volontariato (CSV)
Via Gradenigo, 10
35131 Padova – Italia
mirsezpd@libero.it
www.mirpadova.org

Stampa parzialmente finanziata dalla sede nazionale del
Movimento Internazionale della Riconciliazione

Tutti i link e i dati riportati sono aggiornati a novembre 2025

Roberto Paccagnella si è laureato in fisica nel 1982 presso l'Università degli Studi di Padova col massimo dei voti e la lode. Successivamente, nel 1987, ha ottenuto presso la medesima Università il titolo di dottore di ricerca in Energetica. Nello stesso anno è diventato ricercatore a tempo indeterminato del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR). Ha lavorato per circa 40 anni come ricercatore sviluppando modelli per lo studio dei plasmi confinati magneticamente. In questo ambito ha collaborato agli studi per il grande esperimento di fusione, ITER, in costruzione in Francia.