

LA RIPARTENZA DEL NUCLEARE IN ITALIA TRA RISCHI, PAURE ED IL BISOGNO DI UN FUTURO SOSTENIBILE.

Una memoria del Prof. Andrea Malizia

*Indagine conoscitiva sul ruolo dell'energia nucleare
nella transizione energetica e nel processo di decarbonizzazione*

*VIII COMMISSIONE (AMBIENTE, TERRITORIO E LAVORI PUBBLICI)
X COMMISSIONE (ATTIVITA' PRODUTTIVE, COMMERCIO E TURISMO)*

03 Aprile 2024

Piazza del Parlamento italiano n. 24 - 00186 Roma.

Indice

1. INTRODUZIONE	3
2. COSA E' IL RISCHIO?	6
2.1 L' approccio Europeo	6
2.2 L' approccio delle Nazioni Unite	8
3. CONFRONTO DEI LIVELLI DI CONTAMINAZIONE RADIOLOGICA NEI PAESI CON E SENZA IMPIANTI NUCLEARI	12
3.1 Le reti di monitoraggio della radioattività	12
3.1 Impianti nucleari in Europa	14
3.2 Livelli di radioattività: misure di dose in Europa	16
3.3 Mortalità normalizzata per energia prodotta	17
4. OPPORTUNITÀ DERIVANTI DAL NUCLEARE: USO DUALE DELLA TECNOLOGIA	19
5. CONCLUSIONI	23
6. BIBLIOGRAFIA	26

1. INTRODUZIONE

Il tema della re-introduzione della produzione di energia attraverso gli impianti nucleari è, oggi ed in prospettiva futura, molto importante per garantire un adeguato approvvigionamento energetico a costi sostenibili dalle famiglie italiane.

Nella mia carriera, oramai ventennale, nel mondo accademico, mi sono sempre occupato della valutazione dei rischi in particolare di quelli derivati ad eventi non convenzionali (rischi CBRNe: Chimici, Biologici, Radiologici, Nucleari ed esplosivi). Tale approccio di lavoro, definito in gergo tecnico *"multi-hazards"*, consente di conoscere differenti casi studio e lezioni apprese riguardanti situazioni emergenziali che, pur avendo origini, sviluppi e conclusioni diverse, hanno come fattore comune il rischio.

Anche gli eventi, che hanno come conseguenza (diretta o in diretta) il rilascio di radiazioni ionizzanti, sono oggetto dell'approccio di lavoro *"multi-hazards"*.

I miei colleghi che lavorano nell'area degli Impianti Nucleari approfondiranno in maniera completa e competente gli aspetti legati alla infrastruttura "Impianto Nucleare" esponendo riguardo la produzione di energia, la sicurezza intrinseca dli impianti, i costi di produzione ed il loro impatto sulla vendita ed acquisto dell'energia e molti altri aspetti ancora.

Come punto di partenza mi riferisco ad un articolo pubblicato su "Nature Italy" lo scorso settembre 2023 da Michele Catanzaro che riporto integralmente [1]:

"

Il governo italiano punta a reintrodurre l'energia nucleare nel Paese, secondo quanto annunciato dal ministro dell'Ambiente, Gilberto Pichetto Fratin, che ha convocato per il 21 settembre un incontro degli operatori del settore energetico e della ricerca sul nucleare.

Il programma nucleare italiano iniziò negli anni '60 e si interruppe bruscamente alla fine degli anni '80, dopo l'esplosione del reattore di Chernobyl nell'allora Unione Sovietica. Nel 1987, gli italiani votarono a stragrande maggioranza in un referendum contro la prosecuzione del programma, e i tentativi di riavviarlo furono bloccati da un altro referendum nel 2011. [1]

Pichetto Fratin non ha dato ulteriori dettagli su obiettivi e budget per la nuova "Piattaforma nazionale per il nucleare sostenibile", spiegando in un comunicato che "costituirà il soggetto di raccordo e coordinamento tra tutti i diversi attori nazionali che a vario titolo si occupano di energia nucleare" e che sarà coordinata dal suo ministero, dall'ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile) e da RSE (Ricerca sul sistema energetico), un'agenzia di ricerca controllata dal Ministero delle Finanze. Matteo

Salvini, ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti, ha detto di sperare che la prima produzione di energia nucleare in Italia possa avvenire entro un decennio. [1]

Tuttavia, diversi esperti affermano che il tempo necessario per riavviare un programma nucleare sarebbe più lungo, e alcuni dubitano che sia fattibile o auspicabile. [1]

"La costruzione di un impianto di ultima generazione richiede dai sette ai dieci anni", afferma Alessandro Dodaro, direttore del dipartimento nucleare dell'ENEA. "Ma in un paese dove il nucleare è assente e non accettato, servono almeno cinque anni in più per informare la gente e farle capire i vantaggi".[1]

Anche trovare siti per costruire nuovi reattori sarà una sfida. Quando nel 2021 fu reso noto un elenco di potenziali siti per un deposito unico nazionale per le scorie nucleari, nessuno dei 67 comuni coinvolti diede disponibilità a ospitarlo. I rifiuti italiani provenienti da impianti nucleari e applicazioni mediche sono attualmente stoccati in diversi siti. [1]

La nuova piattaforma dovrà anche decidere se adottare la tecnologia esistente (i cosiddetti reattori nucleari di terza generazione) o puntare su quella futura (di quarta generazione), sottolinea Dodaro. [1]

L'azienda torinese Newcleo, ad esempio, sta sviluppando un nuovo concetto di reattore che utilizza il piombo al posto dell'acqua, come moderatore di neutroni e per la refrigerazione dell'impianto. Questi reattori di quarta generazione si baserebbero sull'isotopo più comune dell'uranio (U238) e riciclerebbero la maggior parte delle loro scorie. [1]

Dodaro afferma che l'ENEA collabora con l'azienda e che un primo prototipo funzionante dell'impianto di Newcleo è previsto non prima di 12 anni. Ritiene che l'Italia dovrebbe puntare su questo. "Una prospettiva di 15 anni ci permetterebbe di passare direttamente ai reattori più all'avanguardia", afferma. [1]

L'Italia ha ancora competenze sul nucleare, secondo Ezio Previtali, direttore dei Laboratori Nazionali del Gran Sasso, invitato alla riunione di settembre in rappresentanza dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN). "Molte aziende hanno continuato a lavorare per clienti stranieri anche dopo l'uscita dell'Italia dal programma, e le università hanno continuato a formare ingegneri nucleari".[1]

Previtali e Dodaro concordano sulla necessità di produrre energia nucleare in Italia per soddisfare la quota di domanda di elettricità che non può dipendere dalle fluttuazioni delle fonti rinnovabili. [1]

Altri invece mettono in discussione la strategia. "Il tempo è un fattore chiave nella transizione energetica", afferma Nicola Armaroli, analista energetico del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR). "Non abbiamo tempo per aspettare il nucleare tra 20 anni. Per quella data dovremo aver completato la decarbonizzazione del settore elettrico, e le rinnovabili sono meno costose, più socialmente accettabili e più fattibili.[1]

“

Alcune delle domande che i cittadini possono porsi riguardano i rischi relativi al nucleare. Rischi per il territorio, per la flora e la fauna e per le persone.

Vengono in mente, come prima reazione dei non addetti ai lavori, le conseguenze degli eventi di Chernobyl e Fukushima.

Ciò che è accaduto in passato non può e non deve spaventare, i motivi di tali affermazioni sono spiegati dalla scienza che ci dice, in maniera chiara, che i rischi correlati alla costruzione di nuovi impianti nucleari in Italia sono molto bassi.

In qualsiasi processo produttivo, in qualsiasi attività, in qualsiasi azione compiamo nella quotidianità ognuno di noi è sempre sottoposto al rischio. Non esiste il rischio del 100% non esiste il rischio dello 0%. Esistono, per ogni decisione della nostra vita, dei rischi che possono essere accettabili ed altri che non lo sono.

In questa mia memoria quindi approfondirò gli aspetti di mia stretta competenza scientifica costruendo le riflessioni su una valutazione dei rischi e su alcune delle conseguenze che possono scaturire se tale valutazione è sovrastimata o sottostimata.

Mi riferirò a fonti attendibili che saranno poi riportate nella memoria e catalogate nella bibliografia stessa.

2. COSA E' IL RISCHIO?

2.1 *L'approccio Europeo*

La Commissione europea ha adottato nel 2009 [2] un "approccio comunitario" alla prevenzione delle catastrofi naturali e provocate dall'uomo che definisce un quadro generale per la prevenzione delle catastrofi. Alla fine del 2010 la stessa Commissione ha pubblicato un documento di lavoro dedicato alla valutazione del rischio ed alla mappatura delle linee guida per la gestione delle catastrofi. In quest'ultimo documento si riconosceva che la condivisione delle esperienze che caratterizzano i paesi europei avrebbe contribuito a ridurre ulteriormente gli impatti dei rischi nei modi più efficienti e accettabili e avrebbe consentito di unire le forze per le sfide future. Nel documento di lavoro si afferma che, secondo la norma ISO-31010 [3], i rischi sono la combinazione delle conseguenze di un evento o pericolo e della probabilità associata del suo verificarsi.

Inoltre, la Commissione Europea [2] definisce le conseguenze come gli effetti negativi di un disastro espressi in termini di impatti umani, impatti economici e ambientali e impatti politici/sociali. Per quanto riguarda l'approccio pratico di valutazione del rischio, nelle situazioni in cui è possibile quantificare la probabilità di accadimento di un pericolo di una certa intensità, il documento introduce la grandezza "probabilità di accadimento" P e quando la probabilità di accadimento del pericolo è indipendente dall'entità degli "impatti" I (come nel caso dei pericoli naturali, ad esempio terremoti o tempeste), il rischio R può essere espresso algebricamente come nell'equazione (1) [4]:

$$R = P \cdot I \quad (1)$$

Il documento indica che, quando la dimensione dell'impatto influenza la probabilità di verificarsi (i.e. quando due termini non sono indipendenti l'uno dall'altro, come nel caso di un attacco terroristico o di una maxi-emergenza) il rischio non può essere espresso semplicemente come prodotto di due termini ma deve essere espresso come rapporto funzionale.

Inoltre, nell'analisi presentata in [4] si sottolinea che:

- in molti casi gli impatti dipendono dalla preparazione o dal comportamento preventivo;
- ci sono vantaggi nell'esprimere l'impatto I (o similmente la conseguenza C) in modo più differenziato, cioè in termini di vulnerabilità ed esposizione. Ciò porta, nel caso dell'indipendenza delle diverse variabili, alla seguente relazione matematica di base nell'equazione (2):

$$I = C = V \cdot E \quad (2)$$

- La vulnerabilità V è definita come le caratteristiche e le circostanze di una comunità, di un sistema o di un bene che lo rendono suscettibile agli effetti dannosi di un pericolo;
- L'esposizione E è la totalità delle persone, dei beni, dei sistemi o di altri elementi presenti nelle zone a rischio che sono quindi soggetti a perdite potenziali.

Infine, il documento [4] introduce la formula generale per la valutazione del rischio: il rischio R è in funzione della probabilità di verificarsi di un pericolo P (talvolta espressa nei documenti UE [2] come H , con $P=H$), l'esposizione E (valore totale di tutti gli elementi a rischio) e la vulnerabilità V (impatto specifico sull'esposizione) nell'equazione (3):

$$R = f(P, V, E) \quad (3)$$

Nel caso particolare in cui le tre variabili P , V ed E possono essere considerate per la loro estensione indipendenti l'una dall'altra, tenendo conto dell'equazione precedente, il rischio [2] può essere espresso come nell'equazione (4):

$$R = P \cdot I = P \cdot V \cdot E \quad (4)$$

I tecnici UE sottolineano che l'introduzione del concetto di vulnerabilità rende più esplicito che gli impatti di un pericolo sono anche una funzione delle misure preventive e preparatorie che vengono impiegate per ridurre il rischio. In altre parole, come sottolineato per l'approccio delle Nazioni Unite con la capacità quantitativa, efficaci misure di prevenzione e preparazione possono ridurre la vulnerabilità e quindi il rischio, e, d'altra parte, i fattori di rischio possono avere un impatto sulle misure di gestione del rischio, come mostrato visivamente nella figura 1 discussa in [2].

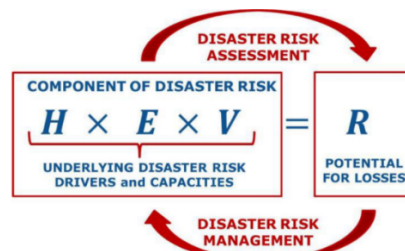


Figura 1. Prospettive diverse dell'analisi del rischio [2]

È importante notare che la Decisione n. 1313/2013/UE su un Meccanismo di Protezione Civile dell'Unione (UCPM) invita gli Stati europei a sviluppare periodicamente valutazioni del rischio [2]. Infine, può essere utile evidenziare un altro riferimento tecnico rilevante per l'UE nella relazione tecnica "Scienza per la gestione del rischio di catastrofi: conoscere meglio e perdere meno" [5], pubblicato nel 2017 per avviare il processo continuo di sintesi

delle conoscenze in tutta la gestione del rischio di catastrofe della comunità europea. Quest'ultimo lavoro è stato proposto per i paesi dell'UE dal Disaster Risk Management Knowledge Centre (DRMKC), un'iniziativa della Commissione europea lanciata nel 2016. La DRMKC fornisce un approccio in rete all'interfaccia scienza-politica nella gestione del rischio di disastri promuovendo partnership, conoscenza collettiva e soluzioni innovative.

2.2 L'approccio delle Nazioni Unite

Nel 2016 l'Ufficio delle Nazioni Unite per la riduzione del rischio di catastrofi (UNDRR) ha commissionato lo sviluppo di linee guida sulla valutazione nazionale del rischio di catastrofi (NDRA) come parte di una serie di linee guida tematiche [6] nell'ambito della sua iniziativa "Words into Action" per supportare l'implementazione nazionale del Sendai Framework.

Il Sendai Framework [7] per la riduzione del rischio di catastrofi è un programma delle Nazioni Unite (ONU) per il periodo 2015-2030 che delinea quattro priorità per prevenire nuovi rischi e ridurre quelli esistenti:

1. comprendere il rischio di catastrofi;
2. rafforzare la governance del rischio di catastrofi per gestire il rischio di catastrofi;
3. investire nella riduzione dei disastri per la resilienza;
4. migliorare la preparazione alle catastrofi per una risposta efficace e "costruire meglio" nelle fasi di recupero, riabilitazione e ricostruzione.

L'obiettivo è raggiungere, nei prossimi anni, una sostanziale riduzione del rischio di catastrofi e delle perdite in termini di vite umane, mezzi di sussistenza, salute e beni economici, fisici, sociali, culturali e ambientali di persone, imprese, comunità e Paesi. È importante sottolineare la definizione di disastro adottata dalle Nazioni Unite come un evento dovuto a un fenomeno o un'attività umana che causa la perdita di vite umane, lesioni, danni alla proprietà, disagi sociali ed economici o degrado ambientale. Un disastro può essere di origine naturale, antropica o socio-naturale ma, nell'approccio delle Nazioni Unite, questo termine non include il verificarsi di conflitti armati e attacchi terroristici. Tuttavia, da un punto di vista tecnico, è interessante dettagliare l'approccio delle Nazioni Unite nello scenario internazionale della gestione del rischio.

Le Linee Guida delle Nazioni Unite pubblicate nel 2017 [7] nell'ambito del Sendai Framework descrivono il risultato della collaborazione tra oltre 100 massimi esperti provenienti da autorità nazionali, organizzazioni internazionali, organizzazioni non governative, mondo accademico ed enti del settore privato. Tutti questi esperti hanno focalizzato l'attenzione sulla prima priorità d'azione del Quadro di Sendai: comprendere il rischio di disastri, che è la base per tutte le misure di riduzione del rischio di disastri.

Le Linee Guida presentano una revisione dettagliata delle metodologie, degli approcci e dei meccanismi di governance praticati nella valutazione nazionale del rischio di catastrofi a livello mondiale.

La progettazione delle Linee Guida ha consentito la condivisione dei risultati derivanti dallo studio delle valutazioni esistenti più efficaci.

In ogni caso, l'approccio delle Nazioni Unite alla gestione dei disastri prende spunto dal concetto di rischio proposto nelle norme ISO 31000 e 31010 [6-8] e, per la valutazione del rischio, descrive il rischio in termini di probabilità e impatto, sulla base dell'interazione tra quattro diversi quantità: pericolo, esposizione, vulnerabilità e capacità. La rappresentazione visiva del concetto di rischio per le Nazioni Unite è illustrata nella Figura 2.

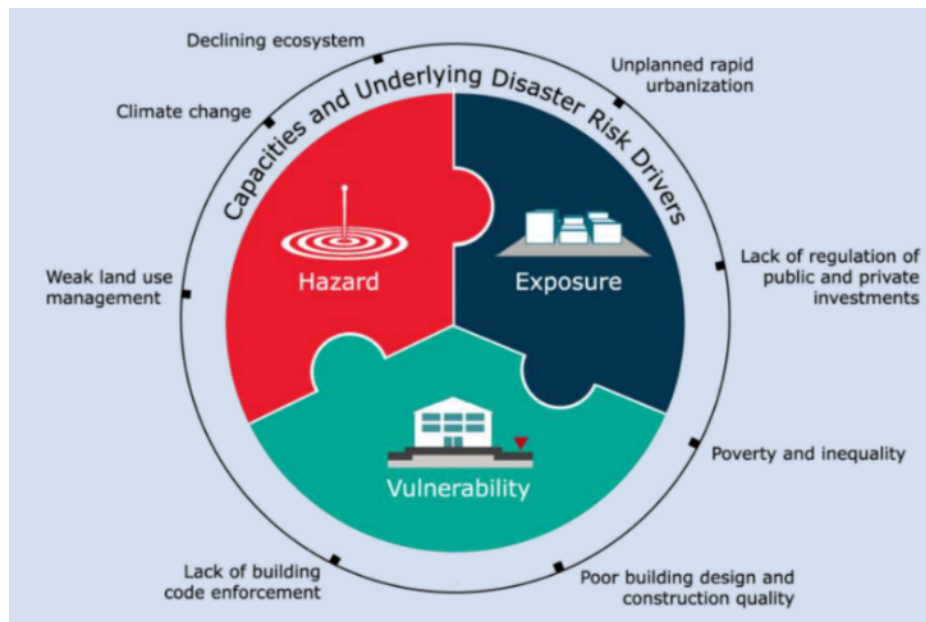


Figura 2. I fattori rappresentati possono influenzare più di una componente del rischio di catastrofe [12]

Per identificare e valutare le migliori misure per ridurre il rischio, l'approccio di valutazione del rischio proposto dalle Nazioni Unite analizza anche i fattori sottostanti di pericolo, esposizione, vulnerabilità e capacità, nonché gli impatti diretti e indiretti.

Le definizioni adottate nell'ultimo decennio dall'ONU [6-8] per queste componenti fondamentali sono le seguenti:

- **Rischio di disastro:** la potenziale perdita di vite umane, lesioni o beni distrutti o danneggiati che potrebbe verificarsi in un sistema, società o comunità in un determinato periodo di tempo, determinato probabilisticamente in funzione del pericolo, dell'esposizione, della vulnerabilità e della capacità.
- **Valutazione del rischio di catastrofe:** un approccio qualitativo o quantitativo per determinare la natura e l'entità del rischio di catastrofe analizzando i potenziali pericoli e valutando le condizioni esistenti di esposizione e vulnerabilità che insieme potrebbero danneggiare persone, proprietà, servizi, mezzi di sussistenza e l'ambiente da cui dipendono.
- **Pericolo:** un processo, fenomeno o attività umana che può causare perdita di vite umane, lesioni o altri impatti sulla salute, danni alla proprietà, disagi sociali ed economici o degrado ambientale. I pericoli possono essere di origine naturale, antropica o socio-naturale. Questo termine, come discusso sopra, per le Nazioni Unite non include il verificarsi o il rischio di conflitti armati e altre situazioni di instabilità o tensione sociale soggette al diritto internazionale umanitario e alla legislazione nazionale. Ogni pericolo è caratterizzato dalla sua posizione, intensità o magnitudo, frequenza e probabilità.
- **Esposizione:** si riferisce alla situazione delle persone, delle infrastrutture, degli alloggi, delle capacità produttive e di altri beni umani tangibili situati in aree a rischio. Le misure di esposizione possono includere il numero di persone o tipi di risorse in un'area. Questi possono essere combinati con la vulnerabilità specifica e la capacità degli elementi esposti a qualsiasi pericolo particolare per stimare i rischi quantitativi associati a quel pericolo nell'area di interesse.
- **Vulnerabilità:** sono le condizioni determinate da fattori o processi fisici, sociali, economici e ambientali che aumentano la suscettibilità di un individuo, una comunità, beni o sistemi agli impatti dei pericoli
- **Capacità:** è la combinazione di tutti i punti di forza, gli attributi e le risorse disponibili all'interno di un'organizzazione, comunità o società per gestire e ridurre i rischi di catastrofe e rafforzare la resilienza.
- **Impatto (o Conseguenza):** è l'effetto totale, compresi gli effetti negativi (ad esempio, perdite economiche) ed effetti positivi (ad esempio, guadagni economici), di un evento pericoloso o di un disastro. Il termine comprende impatti economici, umani e ambientali e può includere morte, lesioni, malattie e altri effetti negativi sul benessere fisico, mentale e sociale dell'uomo.

In generale, per l'ONU [8] è possibile effettuare un'analisi del rischio per singolo pericolo considerando le seguenti componenti:

- **Analisi dei pericoli:** fornisce informazioni su dove, quanto sono grandi e quanto frequenti sono gli eventi pericolosi e su quanto gravi sono i loro effetti (ad esempio scuotimento del terreno per i terremoti, velocità del vento per i cicloni, ecc.).
- **Analisi della vulnerabilità:** fornisce informazioni su come una risorsa identificata reagisce agli effetti del pericolo. L'identificazione delle vulnerabilità comprende i criteri selezionati per la valutazione delle conseguenze/dell'impatto, come le persone, l'economia, l'ambiente e i vantaggi dello sviluppo sostenibile.
- **Analisi dell'esposizione:** fornisce informazioni sulla presenza, le caratteristiche e i valori delle risorse che potrebbero essere interessate da un pericolo, compresi i criteri selezionati per valutare le conseguenze (ad esempio impatto sulle persone, sull'economia, ...).

Per tutte e tre le ultime componenti qui introdotte per l'analisi del rischio, è importante associare un livello di incertezza nei calcoli o nelle stime. Ciò può essere fatto monitorando l'incertezza in ogni fase in cui viene effettuata una stima o un calcolo quantitativamente o qualitativamente.

Una volta considerati questi componenti, è possibile effettuare un'analisi dei rischi specifica per ciascun pericolo. È importante sottolineare che la probabilità è un attributo intrinseco del rischio. Il rischio probabilistico considera molti scenari possibili, la loro probabilità e gli impatti associati. In questo metodo, una quantità significativa di informazioni scientifiche su pericoli, esposizione e vulnerabilità, nonché approfondimenti provenienti da dati storici su perdite e danni, viene raccolta e utilizzata per modellare il fenomeno sottostante il rischio di catastrofe. In tale approccio proposto dalle Nazioni Unite, il rischio R è espresso matematicamente in funzione della probabilità di pericolo H , della vulnerabilità V e dell'esposizione E , ovvero nell'equazione 5:

$$R = f(H, V, E) \quad (5)$$

Possiamo osservare che il termine capacità di cui sopra, da un punto di vista matematico, influenza direttamente principalmente la Vulnerabilità, mentre il termine driver, invece, influenza tutte e tre le variabili che definiscono il rischio.

3. CONFRONTO DEI LIVELLI DI CONTAMINAZIONE RADIOLOGICA NEI PAESI CON E SENZA IMPIANTI NUCLEARI

3.1 Le reti di monitoraggio della radioattività

Riprendendo dal sito di ARPA Lazio [9]:

“

Il decreto legislativo 230/95 e s.m.i. attribuisce al Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare e al Ministero della salute rispettivamente la responsabilità del controllo sulla radioattività ambientale e del controllo sugli alimenti e bevande per consumo umano e animale.

In Italia questo controllo è articolato in reti di sorveglianza nazionali e reti di sorveglianza regionali.

Le reti nazionali di sorveglianza della radioattività ambientale comprendono:

- *rete RESORAD (REte nazionale di SOrveglianza sulla RADioattività ambientale) costituita dagli istituti, enti e organismi idoneamente attrezzati per effettuare determinazioni radiometriche in matrici ambientali e alimentari;*
- *reti ISPRA di allarme: rete GAMMA (dose gamma in aria), rete REMRAD (particolato atmosferico);*
- *reti di allarme del Ministero dell'interno;*
- *Le reti regionali di sorveglianza della radioattività ambientale sono gestite dalle Regioni e affidate a strutture pubbliche idoneamente attrezzate, tipicamente le Agenzie regionali e provinciali per la protezione dell'ambiente (ARPA/APPA);*

Sono inoltre presenti reti di sorveglianza locale della radioattività ambientale degli impianti nucleari, gestite dal titolare dell'autorizzazione o del nulla osta e dagli esercenti, secondo quanto prescritto dall'art. 54 del d.lgs. 230/95 e s.m.i.

“

A questo dobbiamo aggiungere il monitoraggio real-time (RETE REMon) effettuato da agenzie governative europee che consente di monitorare e visualizzare, quasi in tempo reale, i valori misurati dai vari sensori dislocati in tutto il territorio europeo attraverso un "Mappa Avanzata" [10]. La "Mappa Avanzata" mostra le misurazioni della radioattività ambientale sotto forma di medie orarie di dose gamma risalenti fino a 35 giorni. Le misurazioni provengono da circa 5000 stazioni. La mappa mostra informazioni essenziali per spiegare vari fenomeni di radioattività ambientale e offre più opzioni per il filtraggio e

l'analisi dei dati. A causa della grande quantità di dati visualizzati, questa mappa non è molto adatta ai browser dei telefoni, anche se consente la visualizzazione e l'utilizzo degli elementi più importanti. [10] In Figura 3 un esempio di visualizzazione preso il 30 Marzo 2024 alle ore 10:6 C.E.T. (6.00 U.T.C).

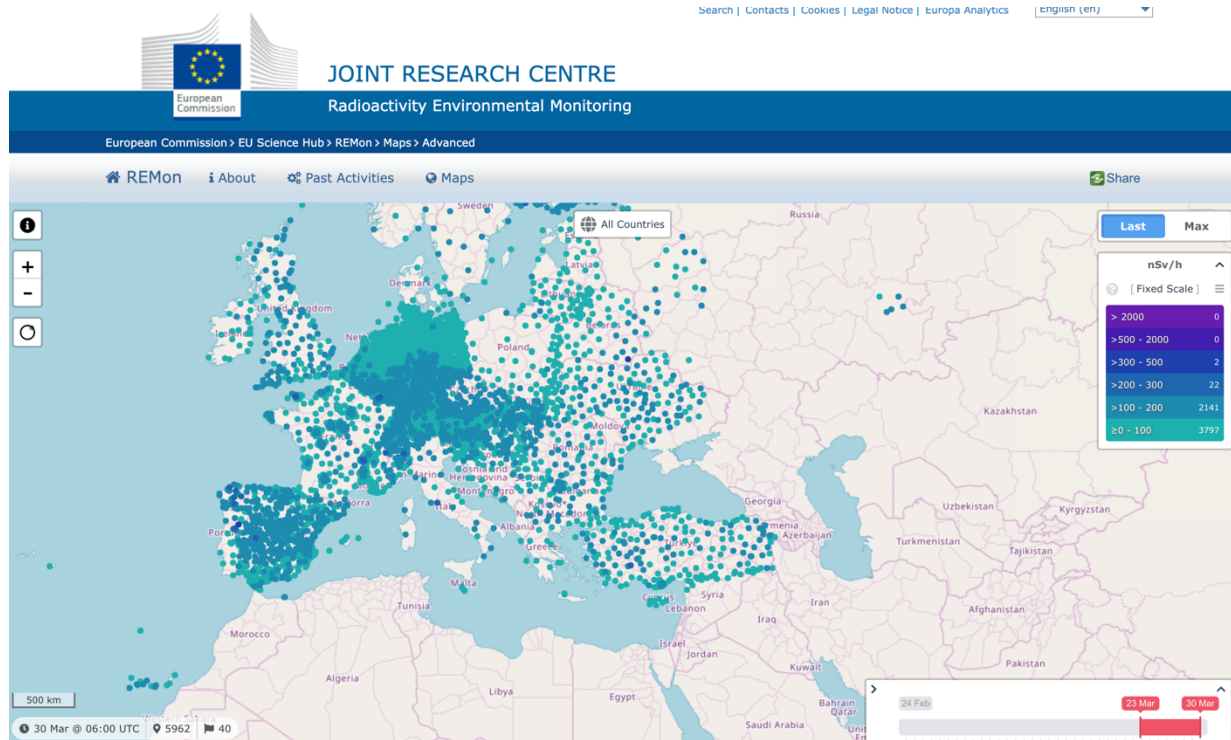


Figura 3. Mappa della rete REMon interrogabile a distanza. [10]
<https://remap.jrc.ec.europa.eu/Advanced.aspx>

Le nostre reti Nazionali, quella Europea e quelle degli altri Stati, insieme ad un sistema continuo di scambio dati, consentono un monitoraggio nello spazio e nel tempo dei livelli di radioattività che consente di intervenire con tempestività in caso di rivelazione di una o più misure anomale.

3.1 Impianti nucleari in Europa

Nel continente Europeo sono presenti 168 impianti nucleari funzionanti ed ulteriori 10 in costruzione, come mostrato in Figura 4 della European Nuclear Society [11] (i dati sono aggiornati al 24 Maggio 2023 e tengono conto solo dei reattori nucleari di potenza operativi in Europa, tra parentesi tonde nella figura quelli in costruzione):

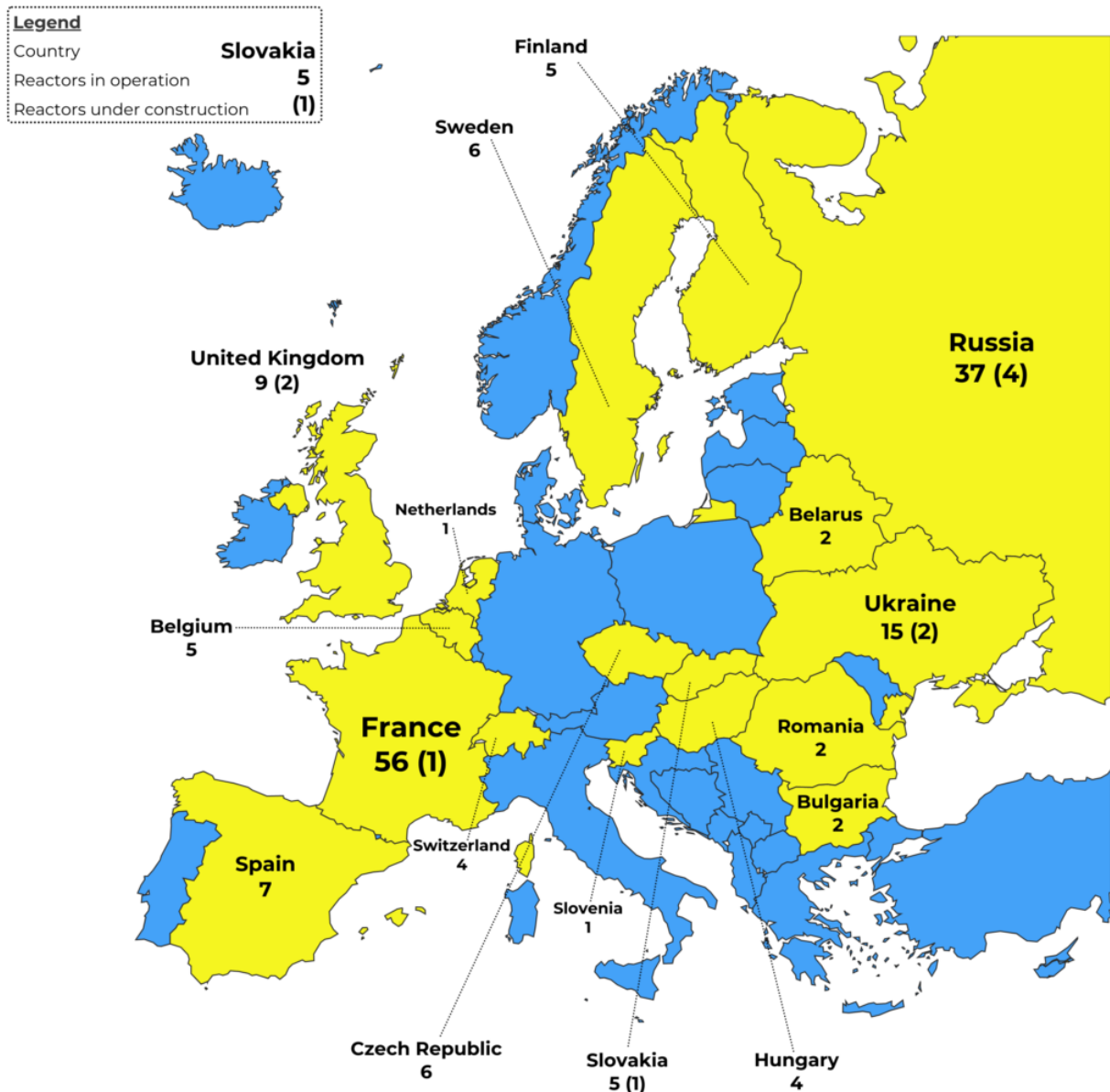


Figura 4. Reattori nucleari di potenza operativi in Europa al 24 Maggio 2023. [11]

In termini di elettricità generata a livello globale dall'energia nucleare nel 2022, la Francia detiene la prima posizione con una quota del 62,6%, seguita da Slovacchia (59,2%) e Ungheria (47%), quindi Belgio (46,4%). [11]

Andiamo a vedere adesso un dettaglio dei reattori nucleari di potenza dei paesi confinanti con l'Italia. Partiamo dalla Francia con i suoi 56 Reattori, la cui dislocazione sul territorio è (in uno schema semplificato) riportata in Figura 5 ed il dettaglio nella tabella, entrambe prese dal sito ufficiale della Agenzia Internazionale per l'Energia Atomica (IAEA) [12]:



Figura 5. Mappa degli impianti nucleari in Francia. [12]

Sempre dal sito della IAEA in Figura 6 e 7 abbiamo, rispettivamente, la collocazione degli impianti nucleari in Svizzera ed in Slovacchia. (i dettagli sono nelle tabelle del sito della IAEA consultabili online [13,14])

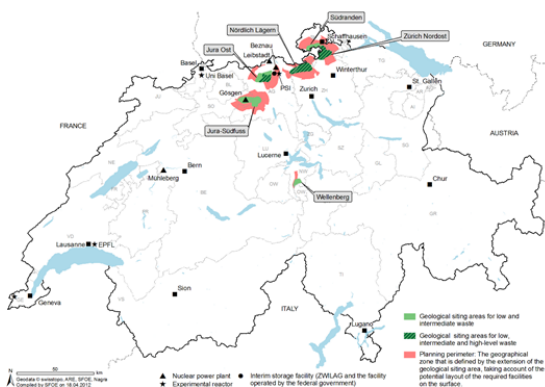


Figura 6. Mappa degli impianti nucleari in Svizzera. [13]



Figura 7. Mappa degli impianti nucleari in Slovacchia. [14]

La IAEA riporta anche i dati circa gli impianti in Italia che sono in shutdown permanente o la cui costruzione è stata cancellata (Figura 8, dettagli disponibili sul sito della IAEA [15]).



Figura 8. Mappa degli impianti nucleari in Italia (in shutdown permanente o la cui costruzione è stata cancellata). [15]

3.2 Livelli di radioattività: misure di dose in Europa

Alla luce della possibilità di monitorare i livelli di radioattività e le dislocazioni geografiche degli impianti è possibile rilevare quanto segue:

- La dose misurata attraverso il portale REMon riporta, sulle stazioni di misura collegate, i livelli di dose equivalente che in Europa sono, nella maggior parte dei casi, inferiori ai 100 nanoSievert/ora (1 miliardesimo di Sievert ogni ora, ricordiamo che il Sievert è una unità di misura del Sistema Internazionale che indica la quantità di energia per kilogrammo (Joule/kilogrammo)). Le restanti misure riportano livelli di dose tra i 100 ed i 200 nanoSievert/ora (miliardesimi di Joule per kilogrammo ogni ora).
- Il decreto legislativo n.101/2020 (Attuazione della direttiva 2013/59/Euratom, che stabilisce norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti [16]) stabilisce che il limite di dose efficace per la popolazione è di 1 mSv/anno (1 millesimo di Sievert/anno = 1 millesimo di Joule per kilogrammo ogni anno) e quella dei lavoratori esposti è di 20 millesimi di Sievert ogni anno. La dose efficace alla popolazione è sostanzialmente riferita alla quantità di Energia che ognuno di noi riceve dalle radiazioni ionizzanti

che naturalmente esistono ed alle quali quotidianamente ci troviamo esposti (la radioattività naturale).

- Una prima considerazione numerica che si ricava in maniera semplice è che i livelli di dose efficace nelle aree in cui sono presenti gli impianti nucleari (ho fatto il conto con la Francia, il Belgio, la Svizzera e la Slovacchia) sono confrontabili con quelli delle aree in cui gli impianti nucleari non sono presenti;
- Una seconda considerazione è che, i livelli di dose misurati in Europa non costituiscono al momento motivo di preoccupazione, l'esposizione della popolazione è confrontabile in tutto il territorio (alcune aree, anche Italiane, presentano dei livelli di dose maggiore dovuti, per esempio, alla presenza di radon ma queste sono problematiche note e tenute sotto controllo) ed il pericolo quindi non è rilevante ed anche esso confrontabile nelle aree in cui insistono gli impianti nucleari rispetto a quelle in cui non ci sono.
- Questa analisi, quindi, rende chiaro come i fattori di esposizione e pericolo collegati agli impianti nucleari possono ritenersi bassi.

3.3 Mortalità normalizzata per energia prodotta

La mortalità è un parametro da considerare per una corretta valutazione dei fattori di vulnerabilità e pericolo. A tal proposito riporto una analisi svolta da un mio collega dell'Università degli Studi di Roma Tor Vergata Dr. Riccardo Rossi che considera questo aspetto.

L'analisi del rischio legato alla produzione energetica deve considerare anche le statistiche dei morti normalizzate per energia prodotta.

Il sito 'Our World in Data' [17] riporta il numero di morti normalizzato per terawattora di energia elettrica prodotta, analizzando questo numero per tecnologia di produzione energetica.

La produzione di energia elettrica ha un numero di morti normalizzate per terawattora (TWh) che è pari a:

Idrocarburi:

1. 24.62 morti/TWh per il carbone
2. 18.43 morti/TWh per il petrolio
3. 4.63 morti/TWh per le biomasse
4. 2.82 morti/TWh per il gas

Fonti rinnovabili:

5. 1.3 morti/TWh per l'idroelettrico
6. 0.04 morti/TWh per l'eolico
7. 0.02 morti/TWh per il solare fotovoltaico

Il nucleare, spesso considerato una delle fonti più pericolose, possiede un tasso di mortalità normalizzata (che include anche l'evento di Chernobyl) pari a 0.03 morti/TWh confrontabile quindi a quelle dell'eolico e del solare fotovoltaico.

A titolo di esempio, è possibile calcolare le morti potenziali che si avrebbero se si utilizzasse una sola tecnologia per soddisfare il fabbisogno energetico nazionale. Nel 2022, la produzione lorda di energia elettrica in Italia è stata di 283.9 TWh [18], il che, combinato con le statistiche precedentemente riportate, comporterebbe un numero di morti annuo stimato a 6990 per il carbone, 5232 per il petrolio, 1314 per le biomasse, 801 per il gas, 369 per l'idroelettrico, 11 per l'eolico, 9 per il nucleare e 6 per il solare fotovoltaico. Queste sono chiaramente delle proiezioni sul territorio nazionale se tutta la produzione di energia fosse riconducibile solo ad una fonte.

4. OPPORTUNITÀ DERIVANTI DAL NUCLEARE: USO DUALE DELLA TECNOLOGIA

Le opportunità che derivano dallo sviluppo, implementazione ed utilizzo di una tecnologia sono molteplici e ricadono spesso anche in settori scientifici diversi da quello per cui si è iniziato a lavorare. Basti pensare alla prima rete intranet della storia, utilizzata dai soldati americani per le comunicazioni sicure durante la guerra in Vietnam, che poi è diventata tecnologia ad uso civile ed il suo sviluppo ha portato al world wide web.

Le tecnologie sviluppate per le applicazioni energetiche, incluse quelle prodotte per il nucleare, hanno avuto un utilizzo in diversi settori come il monitoraggio delle contaminazioni ambientali, la sicurezza, la medicina, l'agricoltura, i trasporti tanto per citarne alcuni.

Queste "contaminazioni tecnologico/scientifiche" con passaggi alternati tra applicazioni civili e militari e tra diverse applicazioni civile costituisce quello che viene definito l'uso duale di una tecnologia/metodo/soluzione sviluppato.

Partiamo dalla sicurezza degli impianti, tema che approfondiranno meglio i miei colleghi impiantisti, ma che ritengo importante inserire in questa indagine.

La prima cosa da fare è riportare una descrizione delle quattro generazioni di impianti nucleari che ho ripreso da un lavoro di alcuni colleghi dell'Università di Vienna (Reinberger, Ajanovic e Haas [19]):

"

Generazione I

Gli impianti GEN I sono i primi prototipi e reattori di potenza degli anni '50 e '60 lanciati per generare energia nucleare per scopi commerciali (civili). Sono stati impiegati direttamente da applicazioni militari per scopi commerciali senza ulteriori dispositivi di sicurezza. Almeno alcuni di essi erano chiaramente costruiti per questo scopo a duplice uso (civile e militare). Le piante GEN-I non ne avevano dispositivi di sicurezza dedicati (né attivi né passivi).

Generazione II

I sistemi GEN II iniziarono a funzionare alla fine degli anni '60 e costituiscono la stragrande maggioranza dei reattori operativi oggi-giorno. Sono progettati per una vita operativa media tipica di 40 anni. La differenza principale rispetto ai reattori GEN-I è che sono progettati con sistemi di sicurezza attiva ed il loro utilizzo è, in linea di principio, destinato al solo uso civile.

Generazione III e Generazione III+

I progetti della GEN III hanno cominciato ad emergere a metà degli anni '80, sulla base degli incidenti Tree Mile Island e Chernobyl.

Secondo la World Nuclear Association (WNA), i reattori GEN III sono

caratterizzati da miglioramenti nelle seguenti aree (WNA 2004):

- *un design più standardizzato per ogni tipo per accelerare le licenze, ridurre il capitale costo e ridurre i tempi di costruzione,*
- *design più semplice e robusto, che li rende più facili da usare e meno vulnerabili ai problemi operativi,*
- *vita operativa più lunga - in genere 60 anni,*
- *ridotta probabilità di incidenti di fusione del nocciolo,*
- *migliore tecnologia del carburante, maggiore efficienza termica, maggiore consumo per ridurre il carburante in uso e la quantità di rifiuti,*
- *costruzione modulare.*

Il miglioramento più significativo dei sistemi GEN III è l'incorporazione di sistemi di sicurezza passivi c che non richiedono controlli attivi o il controllo dell'operatore

Generazione IV

I reattori nucleari di IV generazione (Gen. IV) sono reattori nucleari a fissione classificabili in 6 tipi selezionati dal GIF (Generation IV International Forum), questi reattori permetteranno di

- *usare il combustibile in modo significativamente più efficiente*
- *minimizzare la produzione di scorie riducendone anche la durata*
- *abbassare i costi e il livello di rischio finanziario*
- *aumentare ancora di più il livello di sicurezza in caso di incidenti gravi*
- *minimizzare i rischi di proliferazione nucleare*

“

Si evince quindi come già dagli impianti di Terza Generazione disponibili sul mercato è possibile avere una probabilità di accadimento di eventi incidentali molto bassa che, insieme alle considerazioni fatte precedentemente, riduce ulteriormente il rischio.

Parliamo adesso di rifiuti radioattivi, della loro gestione e del loro stoccaggio e riferiamoci alle informazioni provenienti da SOGIN e riportate in parte sul sito di SOGIN in parte su quello dell'ANSA ma sempre provenienti da fonti SOGIN.

“

Nel corso del ciclo di vita di un impianto nucleare, dall'esercizio fino al termine del suo decommissioning, vengono prodotte due principali tipologie di rifiuto: [20]

- *il rifiuto radioattivo, caratterizzato da un contenuto radiologico, che viene classificato in categorie, a seconda della concentrazione di radionuclidi e del tempo in cui la radioattività decade;*

- *il rifiuto convenzionale, tipico di processi industriali standard, che a sua volta si suddivide in rifiuti pericolosi, speciali e così via.*

La gestione dei rifiuti radioattivi è un'attività complessa che si avvia con l'esercizio dell'impianto e termina con la fine delle attività di decommissioning.

Operativamente si articola in più fasi: caratterizzazione; trattamento; condizionamento; stoccaggio e smaltimento.

- *La caratterizzazione di un rifiuto radioattivo consiste in una serie di analisi che definiscono le sue proprietà chimiche, fisiche e radiologiche. I risultati della caratterizzazione consentono di scegliere il trattamento e condizionamento più appropriato per ciascuna tipologia di rifiuto radioattivo.*
- *Il trattamento è un insieme di interventi sul rifiuto che mirano a predisporre il rifiuto al successivo condizionamento come, ad esempio, la riduzione di volume dei componenti metallici e il trattamento chimico dei rifiuti liquidi.*
- *Il condizionamento dei rifiuti radioattivi mira a produrre dei "manufatti" dove vengono inseriti i rifiuti radioattivi in via definitiva. Tali manufatti possiedono specifiche caratteristiche di stabilità chimico-fisica che garantiscono la loro resistenza strutturale e dunque l'isolamento dei radionuclidi che si trovano al loro interno. Quando un rifiuto radioattivo è condizionato significa che quel manufatto, stoccato nei depositi temporanei presenti negli impianti in dismissione, è pronto per essere trasportato e smaltito nel Deposito Nazionale quando sarà realizzato.*

“
“

Come sarà il deposito nazionale delle scorie radioattive lo spiega il sito della Sogin, la società pubblica che si occupa dello smantellamento degli impianti nucleari in Italia, e che dovrà costruire la struttura[21]:

Questa occuperà complessivamente 150 ettari: 110 per il deposito vero e proprio e 40 per un Parco tecnologico dedicato alla ricerca e alla formazione sul nucleare. Il deposito sarà costituito da 90 costruzioni in calcestruzzo armato, le "celle", con una base di 27 metri per 15,5 e un'altezza di 10 metri. All'interno saranno conservati grandi contenitori in calcestruzzo speciale, i "moduli", parallelepipedi con una base di 3 metri per 2 e 1,7 metri di altezza. Questi conterranno a loro volta i bidoni metallici dei rifiuti radioattivi stabilizzati, i "manufatti".

Nelle celle verranno sistemati circa 78.000 metri cubi di rifiuti a molto bassa o bassa attività. Una volta riempite, le celle saranno ricoperte da una collina artificiale di materiali inerti e impermeabili, sulla quale crescerà l'erba. L'impianto riceverà rifiuti per 40 anni. Dopo, li custodirà fino a che non saranno più radioattivi.

Secondo la Sogin, "le barriere ingegneristiche del Deposito Nazionale e le caratteristiche del sito dove sarà realizzato garantiranno l'isolamento dei rifiuti radioattivi dall'ambiente per oltre 300 anni, fino al loro decadimento a livelli tali da risultare trascurabili per la salute dell'uomo e l'ambiente. Nei 300 anni necessari a far decadere la radioattività, la struttura

sarà monitorata per assicurare la massima efficienza delle barriere. Resterà inoltre operativa una rete di monitoraggio ambientale e radiologico nei dintorni del sito"

In un'apposita area del deposito, sarà realizzato un complesso di edifici per lo stoccaggio di lungo periodo di circa 17.000 metri cubi di rifiuti a media e alta attività. Sono le scorie più pericolose, quelle che rimangono radioattive per migliaia di anni. Queste resteranno temporaneamente al Deposito, per poi essere sistemate definitivamente in un deposito geologico (cioè sotterraneo) ancora da individuare.

Il Parco Tecnologico presente nella struttura comprenderà un centro di ricerca applicata e di formazione, aperto a collaborazioni internazionali, dove svolgere studi nel campo dello smantellamento delle installazioni nucleari, della gestione dei rifiuti radioattivi, della radioprotezione e della salvaguardia ambientale.

L'impianto costerà 900 milioni di euro, finanziati con la quota delle bollette elettriche destinata allo smantellamento degli impianti nucleari. La stessa quota finanzia la gestione dei rifiuti dalle centrali atomiche. Per gli altri rifiuti (ad esempio quelli medicali) ci sarà una tariffa di conferimento, a carico di chi li smaltirà lì. Sogin calcola che la mancata costruzione della struttura nazionale costi al paese da 1 a 4 milioni all'anno per ciascun sito dove si trova un deposito.

"Si stima che la costruzione del Deposito Nazionale e Parco Tecnologico - scrive la società - genererà oltre 4.000 posti di lavoro l'anno per 4 anni di cantiere, diretti (2.000 fra interni ed esterni), indiretti (1.200) e indotti (1.000). Durante la fase di esercizio, invece, l'occupazione diretta è stimata mediamente in circa 700 addetti, fra interni ed esterni, con un indotto che può incrementare l'occupazione fino a circa 1.000 unità".

Il decreto legislativo 31 del 2010 riconosce poi al territorio che ospiterà il Deposito Nazionale un contributo economico, da contrattare fra gli enti locali e la Sogin.

È quindi evidente che anche la gestione dei rifiuti radioattivi provenienti da impianti nucleari è fatta in sicurezza garantendo bassissima probabilità di contaminazione ambientale e quindi basso rischio.

La ripartenza del nucleare garantirebbe quindi non solo una alternativa importante al mix energetico presente in Italia, porterebbe non solo dei benefici economici sui consumatori a diversi livelli (bollette, acquisto del cibo, acquisto di vestiti, spostamenti e mezzi di trasporto eccetera) a basso rischio ma consentirebbe di investire sullo sviluppo di tecnologie che potranno essere utilizzate per il miglioramento dell'ambiente, della sicurezza, della medicina, della agricoltura, dello sviluppo di nuovi materiali, del trasporto contribuendo alla evoluzione sostenibile dell'essere umano.

5. CONCLUSIONI

Le analisi ed i dati riportati nella mia memoria, le analisi e le considerazioni degli esperti di settore, il confronto tra la situazione nazionale e quella internazionale portano ad una serie di considerazioni oggettive:

- Non esiste un'attività produttiva e/o processo e/o metodo per produrre l'energia che sia privo di rischio. Il rischio non è mai del 100% e non è mai dello 0%. Probabilità di accadimento, pericolo legato ad un evento emergenziale, vulnerabilità ed esposizione sono i parametri da monitorare sempre con attenzione;
- Non esistono delle differenze significative di dose misurata, nel territorio europeo, tra i luoghi in cui insistono impianti nucleari e quelli in cui non ci sono. I livelli di radioattività sono pressoché confrontabili con le soglie indicate nel D.Lgs. 101/2020;
- Non esiste un processo di produzione di energia con parametro di mortalità nullo. Da un'analisi fatta a livello internazionale, la mortalità relativa alla produzione di energia dal nucleare è confrontabile con quella delle fonti rinnovabili;
- Gli impianti nucleari di nuova generazione (III e III+ e quelli di IV in via di sviluppo) hanno dei sistemi di controllo e delle caratteristiche strutturali che li rendono più sicuri (tra cui a titolo di esempio: i controlli passivi, oltre quelli attivi, e delle protezioni strutturali aggiuntive nelle zone più pericolose dell'impianto);
- Lo stoccaggio e deposito dei rifiuti radioattivi, fatto con criterio e secondo standard testati a livello internazionale, è affidabile e sicuro;
- La ripartenza del nucleare da fissione richiederebbe, in Italia, circa 15 anni, un tempo molto basso se confrontato con quello necessario per pensare di avere un aumento sostanziale del rendimento energetico delle rinnovabili (comunque insufficienti visto il limite della intermittenza) o l'utilizzo ai fini commerciali del nucleare da fusione.

Il rischio derivante dall'inserimento del nucleare da fissione nel mix energetico nazionale può ritenersi, alla luce di queste considerazioni, molto basso.

Il rischio di non avere un costo dell'energia sostenibile per la popolazione, se non si adottano tutte le misure necessarie per aumentare l'autonomia produttiva dell'Italia, è alto.

Il nucleare non deve essere l'unica alternativa dell'Italia ma non possiamo più permetterci di escluderlo dal nostro mix energetico.

La paura del rischio, fino ad ora, non ha mai impedito il coraggio dell'investimento nella ricerca e nello sviluppo di soluzioni volte a migliorare la nostra qualità della vita.

Nel mese di Febbraio 2024 sono stato uno degli esperti internazionali che ha fatto un intervento tecnico, presso il Ministero degli Affari Esteri e della Cooperazione Internazionale, nell'ambito delle attività del G7 durante l'evento "Global Partnership against the spread of the Weapon of Mass Destruction" nel "Nuclear and Radiological Working Group". La richiesta che ho avuto è stata quella di illustrare possibili tecnologie innovative che potevano essere utilizzate in maniera malevola per causare una contaminazione radiologica intenzionale. Il primo pensiero è andato ai "dispositivi di dispersione radiologica", noti anche con il nome (non tecnico) di "bombe sporche".

Mi sono posto 3 domande:

- 1) Come recuperare materiale radioattivo?
- 2) Come creare un esplosivo fatto in casa?
- 3) Come posizionare la bomba sporca in luoghi critici?

- La risposta alla prima domanda è arrivata facendo uno studio dello stato dell'arte. Sono infatti moltissimi i casi di cyberattacchi contro i BASs (Building Automation Systems) quindi è possibile, con queste tecniche, accedere in luoghi che hanno delle sostanze radioattive e rubarle. La contromisura è quella di migliorare i sistemi di cybersecurity.
- La risposta alla seconda domanda è arrivata dalla Intelligenza Artificiale (Chat GPT nello specifico). Scrivendo le richieste in maniera opportuna questa piattaforma mi ha spiegato come, con l'utilizzo di fertilizzanti e diesel, è possibile preparare un esplosivo fatto in casa. La contromisura, anche in questo caso, è migliorare l'uso dell'intelligenza artificiale ponendo dei freni qualora le richieste dell'utente si sospetti abbiano dei fini malevoli.
- La risposta alla terza domanda è arrivata dai dispositivi senza guida umana (droni aerei, di terra e di acqua). Anche in questo caso le contromisure possono essere addestrare altri droni alla difesa ed al controllo.

Questa analisi mi ha permesso di capire che per ogni attività/tecnologia/scoperta dobbiamo sempre pensare all'uso (o agli usi) malevoli e/o agli incidenti possibili e/o ai problemi possibili che ne possono derivare e progettare meccanismi di prevenzione, contromisure e metodi per gestire le emergenze e ridurre la probabilità di accadimento in maniera tale da ridurre i rischi correlati.

Mi sono posto poi delle domande in merito a questa analisi:

- 1) Abbiamo consentito alla paura dei cyberattacchi di interrompere lo sviluppo e la ricerca nel mondo cyber?
La risposta è no. Perché no? Perché il rapporto rischi/benefici è basso.
- 2) Abbiamo consentito alla paura delle possibili conseguenze malevole dell'intelligenza artificiale di interromperne lo sviluppo e la ricerca?
La risposta è no. Perché no? Perché il rapporto rischi/benefici è basso.
- 3) Abbiamo consentito alla paura dei possibili usi malevoli dei droni di interromperne lo sviluppo e la ricerca?
La risposta è no. Perché no? Perché il rapporto rischi/benefici è basso.

L'uomo non ha mai permesso alla paura di bloccare lo sviluppo ed il progresso. Tutti i tentativi in tal senso, prima o dopo, sono falliti.

Dobbiamo controllare i pericoli, valutare le esposizioni e le vulnerabilità e calcolare le probabilità di accadimento.

Dobbiamo mettere in atto tutte le misure per ridurre il rischio.

Detto ciò, possiamo consentire alla paura degli impianti nucleari di privarci di una tecnologia che renderebbe più sostenibile l'economia dei consumatori?
La risposta è no. Perché no? Perché il rapporto rischi/benefici è basso.

Abbiamo il dovere di pensare non solo a noi, ma ai nostri figli ed ai loro figli.

Dobbiamo creare un futuro sostenibile e dobbiamo farlo anche attraverso un miglioramento della autonomia nazionale in termini di produzione energetica.

Per questo auspico, da esperto di rischi e da cittadino, che il governo vada avanti con decisione per far ripartire al più presto le attività di produzione energetica attraverso il nucleare da fissione.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Catanzaro M. (2023). “Il governo apre al rilancio del nucleare italiano”. *Nature Italy*, doi: <https://doi.org/10.1038/d43978-023-00129-1>
- [2] Poljanšek K. (2019). *Recommendations for National Risk Assessment for Disaster Risk Management in EU* Publications Office of the European Union, Luxembourg 2019, ISBN 978-92-79-98366-5, JRC114650
https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC114650/jrc114650_nrare_commendations_updatedfinal_online1.pdf
- [3] IEC-31010:2019 (2019) “Risk management, risk assessment techniques”.
<https://www.iso.org/standard/72140.html>
- [4] European Commission “Risk Assessment and Mapping Guidelines for Disaster Management”, European commission staff working paper, Brussels, 2010
https://ec.europa.eu/echo/files/about/COMM_PDF_SEC_2010_1626_F_staff_working_document_en.pdf
- [5] Poljanšek K. (2017). “Science for disaster management, DRMKC Disaster Risk Management Knowledge Centre”. Joint Research Center (JRC), Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2017, ISBN 978-92-79-60679-3, JRC102482.
<https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/science-disaster-risk-management-2017-knowing-better-and-losing-less>
- [6] United Nation Office for Disaster Risk reduction (2017). “National Disaster Risk Assessment: Governance System, Methodologies, and Use of Results”. Report 2017,
https://www.unisdr.org/files/globalplatform/591f213cf2fbe52828_wordsintoactionguideline.nationaldi.pdf
- [7] United Nations (2015). “United Nations, Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015 – 2030”. UN World Conference in Sendai, Japan.
https://www.preventionweb.net/files/43291_sendaiframeworkfordrren.pdf
- [8] The United Nations Office for Disaster Risk Reduction, Geneva, Switzerland. (2016). “UNISDR (2016), Open-ended Intergovernmental Expert Working Group on Indicators and Terminology relating to Disaster Risk Reduction: Report of the Second Session (Informal and Formal).” Report
https://www.preventionweb.net/files/50683_oiewgreportenglish.pdf
- [9] <https://www.arpalazio.it/web/guest/ambiente/radioattivita/reti-di-monitoraggio>
- [10] <https://remap.jrc.ec.europa.eu/Advanced.aspx>
- [11] <https://www.euronuclear.org/glossary/nuclear-power-plants-in-europe/>
- [12] <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/cnpp2018/countryprofiles/France/France.htm>

-
- [13] <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/CNPP-2021/countryprofiles/Switzerland/Switzerland.htm>
- [14] <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/cnpp2018/countryprofiles/Slovakia/Slovakia.htm>
- [15] <https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/cnpp2020/countryprofiles/Italy/Italy.htm>
- [16] <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2020/08/12/20G00121/sg>
- [17] <https://ourworldindata.org/grapher/death-rates-from-energy-production-per-twh>
- [18] <https://www.terna.it/it/sistema-elettrico/statistiche/pubblicazioni-statistiche>
- [19] Reinberger, D., Ajanovic, A., Haas, R. (2019). The Technological Development of Different Generations and Reactor Concepts. In: Haas, R., Mez, L., Ajanovic, A. (eds) The Technological and Economic Future of Nuclear Power. Energiepolitik und Klimaschutz. Energy Policy and Climate Protection. Springer VS, Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-25987-7_11
- [20] <https://www.sogin.it/it/chiusuradelciclonucleare/gestione-dei-rifiuti.html>
- [21] https://www.ansa.it/ansa_verified/verifica_dei_fatti/ambiente/2023/03/29/il-deposito-nazionale-dei-rifiuti-radioattivi-e-pericoloso_9aff5c92-d29f-448c-aa57-db80d100c2da.html